

**Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em**

Engenharia de Produção

**UM MODELO PARA O ENSINO DO
CONTROLE ESTATÍSTICO DA
QUALIDADE**

Tese de Doutorado

Marcelo Menezes Reis

Florianópolis

2001

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-Graduação em

Engenharia de Produção

UM MODELO PARA O ENSINO DE

CONTROLE ESTATÍSTICO DA

QUALIDADE

Marcelo Menezes Reis

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da Universidade Federal de
Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção
do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Florianópolis

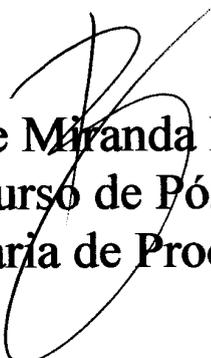
Julho de 2001

MARCELO MENEZES REIS

**UM MODELO PARA O ENSINO DE
CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE**

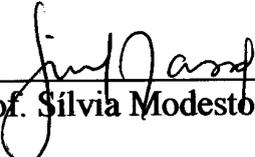
Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do
título de Doutor em Engenharia de Produção no
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, Julho de 2001

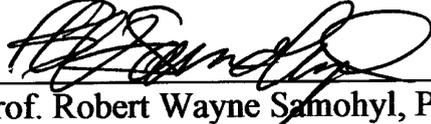

Prof. Ricardo de Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

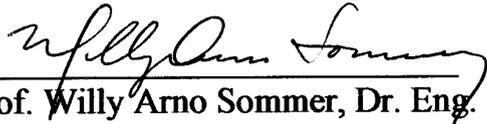
BANCA EXAMINADORA

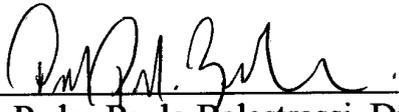

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr. Eng.
Orientador


Prof. Silvia Modesto Nassar, Dra.Eng.


Prof. Eugênio Epprecht, D. Sc.


Prof. Robert Wayne Samohyl, Ph.D.


Prof. Willy Arno Sommer, Dr. Eng.


Prof. Pedro Paulo Balestrassi, Dr. Eng.

AGRADECIMENTOS

A meus queridos pais, Maria Aparecida e Luiz Marcelino, por todo o apoio prestado ao longo de toda a minha vida.

À Giane, por me acompanhar nesta caminhada.

A meu orientador professor Edson Pacheco Paladini, por todo o apoio proporcionado, sem o qual este trabalho não seria viável .

A meu orientador durante o período de pesquisa na University of South Florida, professor Suresh Khator, cuja ajuda foi imprescindível para que este trabalho fosse concluído.

Ao professor Tapas K. Das, por permitir que eu tivesse o privilégio de ser seu aluno na disciplina Quality Control do curso de Industrial and Management Systems Engineering da University of South Florida, no primeiro semestre de 2000.

Ao Sr. Jack Doherty, coordenador do Manufacturing Training Engineering Center da University of South Florida, que prestou inestimável auxílio durante minha estadia, pondo-me em contato com as empresas que foram visitadas, e permitindo que eu assistisse como aluno ouvinte o curso “Beyond Six-Sigma”.

À minha colega e incentivadora, professora Sílvia Modesto Nassar, pelo encorajamento, inspiração ao longo de toda a minha carreira acadêmica e principalmente durante a realização deste trabalho.

Ao professor Willy Arno Sommer, pelo encorajamento e pela gentileza de compartilhar sua grande experiência como professor e especialista em Controle Estatístico da Qualidade.

Ao meu colega, professor Masanao Ohira, cuja sabedoria em Estatística muito contribuiu para a realização deste trabalho.

Ao professor Eugênio Epprecht, pelas diversas sugestões e gentileza em compartilhar sua grande experiência em Inteligência Artificial e Controle Estatístico da Qualidade.

Ao professor Robert Samohyl, pelas várias contribuições a este trabalho, e pelos conselhos preciosos em horas difíceis.

Ao professor, e sempre amigo, Pedro Balestrassi pelas diversas sugestões que muito engrandeceram este trabalho.

À professora e colega Carmen Dolores de Freitas de Lacerda, que me ensinou os primeiros conceitos de Estatística.

A meus amigos Lúcia e Renato Pacheco, Liliane e Rodrigo Cabral, que foram minha família durante o período de pesquisa na University of South Florida.

A meus colegas do departamento de Informática e de Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina, por todo o auxílio prestado.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro prestado durante o período de pesquisa na University of South Florida

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	xii
LISTA DE SIGLAS	xiv
RESUMO	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	19
1.1 – Abrangência do Trabalho.....	19
1.2 – Justificativa para o trabalho	22
1.3 – Objetivos do Trabalho.....	28
1.3.1 – Objetivo Geral.....	28
1.3.2 – Objetivos Específicos	29
1.3.2.1 – Pesquisa sobre o emprego e o ensino de CEQ	29
1.3.2.2 – Elaboração de um modelo para o ensino do CEQ.....	29
1.3.3.3 – Elaboração de um protótipo de Sistema Tutorial Inteligente para o CEQ.....	29
1.3.3.4 – Avaliação do protótipo de Sistema Tutorial Inteligente para o CEQ.....	29
1.4 – Delimitações do trabalho	31
1.4.1 – Público alvo.....	31
1.4.2 – Conteúdo do modelo	31
1.4.3 – Modos de interação com o Sistema Tutorial Inteligente	32
1.5 – Estrutura do texto.....	33
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E EMPÍRICA.....	35
2.1 - Introdução.....	35
2.2 – Conceitos da Qualidade	37
2.2.1 – Conceitos Básicos	37
2.2.1.1 - Terminologia	39
2.2.1.2 – Filosofias da Qualidade.....	40
2.2.1.3 – Padrões ISO 9000 e ISO 14000.....	43
2.2.2 – Avaliação da Qualidade.....	45
2.3 – Controle Estatístico da Qualidade - Conceitos	48
2.3.1 – Controle Estatístico de Processos	49
2.3.1.1 – Gráficos de Controle	50
2.3.1.2 – Outras Ferramentas do Controle Estatístico de Processos	58
2.3.2 – Estudos de Capabilidade do Processo.....	60
2.3.3 – Inspeção por Amostragem (Aceitação por Amostragem).....	63
2.3.4 – Planejamento de Experimentos.....	65
2.4 – Emprego do CEQ.....	68
2.4.1 – Pesquisa empírica sobre o emprego do CEQ em empresas	68
2.4.1.1 – Descrição das empresas.....	69
2.4.1.2 – Características do questionário	69
2.4.1.3 - Resultados	70
2.4.2 – Publicações sobre o emprego de CEQ em empresas.....	71
2.5 – Ensino do Controle Estatístico da Qualidade.....	73
2.5.1 – Posição no Currículo e Obrigatoriedade.....	74
2.5.2 – Conteúdos Abordados	75
2.5.3 – Diagnóstico Preliminar.....	76
2.5.3.1 - Textos.....	76
2.5.3.2 – Suporte Computacional.....	77
2.5.3.3 – Visitas às empresas	77
2.5.3.4 – Pós-Graduação.....	77
2.5.3.5 – Aspectos gerais	77
2.6 – Conceitos de Inteligência Artificial.....	78
2.6.1 – Conceitos Básicos	78
2.6.1.1 – Evolução da IA.....	78
2.6.2 – Paradigmas da Inteligência Artificial.....	79
2.6.2.1 – Inteligência Artificial Simbólica (IAS).....	80
2.6.2.2 – Inteligência Artificial Conexcionista (IAC).....	80

2.6.2.3 – Abordagem Evolucionária (Algoritmos Genéticos).....	81
2.6.2.4 – Inteligência Artificial Distribuída – IAD - Abordagem por Agentes	82
2.6.2.5 – Abordagem por Lógica Difusa.....	85
2.6.3 – Principais Aplicações de Inteligência Artificial.....	87
2.6.4 – Aplicações de Inteligência Artificial em Educação – Sistemas Tutoriais Inteligentes	89
2.6.5 – Outras Aplicações de Inteligência Artificial em Educação.....	97
2.6.6 – Aplicações de Inteligência Artificial em Controle Estatístico da Qualidade	99
2.6.6.1 – Sistemas Especialistas	99
2.6.6.2 – Aplicações de Inteligência Artificial Conexionista.....	102
2.6.6.3 – Outras Aplicações e Aplicações Híbridas de Inteligência Artificial.....	103
2.7 – Outras Aplicações de Informática no Ensino de CEQ.....	105
2.7.1 – Simulador de Llaugel e Confesor.....	105
2.7.2 – Simulador de Freeman e Evangeliou	107
2.7.3 – O simulador de Cheng e Dawson	108
2.8 – Considerações finais	110
CAPÍTULO 3 – MODELO PARA O ENSINO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA	
QUALIDADE.....	111
3.1 – Introdução	111
3.2 – Conteúdo do modelo	113
3.2.1 – Conceitos básicos da Qualidade.....	113
3.2.1.1 – Por que os conceitos básicos da Qualidade devem fazer parte?.....	113
3.2.1.2 – Filosofia adotada	113
3.2.1.3 – Tópicos sobre conceitos básicos da Qualidade.....	114
3.2.2 – Conceito de Variabilidade.....	115
3.2.2.1 – Por que o conceito de Variabilidade deve fazer parte?	115
3.2.2.2 – Tópicos sobre conceito de Variabilidade.....	116
3.2.3 – Indicações e Limitações do CEQ.....	116
3.2.3.1 – Por que as indicações e limitações do CEQ devem fazer parte?.....	117
3.2.3.2 – Tópicos sobre limitações e indicações do CEQ.....	117
3.2.4 – Pré-requisitos estatísticos do CEQ.....	117
3.2.4.1 – Por que os pré-requisitos estatísticos do CEQ devem fazer parte?.....	118
3.2.4.2 – Tópicos sobre pré-requisitos estatísticos do CEQ	118
3.2.5 – Técnicas de Controle Estatístico da Qualidade	119
3.2.5.1 – Por que as técnicas de CEQ devem fazer parte?	119
3.2.5.2 – Tópicos de técnicas de Controle Estatístico da Qualidade	119
3.3 – Metodologia do modelo	122
3.3.1 – Considerações prévias	123
3.3.1.1 – Modelos Mentais	123
3.3.1.2 – Por que integrar um ambiente computacional ao modelo?.....	126
3.3.2 – Estratégia instrucional.....	128
3.3.3 – Ambiente computacional incorporado ao modelo	130
3.3.3.1 – Por que um Sistema Tutorial Inteligente	131
3.3.3.2 – Características do Sistema Tutorial Inteligente.....	133
3.3.4 – Implementação do Sistema Tutorial Inteligente.....	135
3.3.4.1 – Abordagem por Inteligência Artificial Distribuída.....	135
3.3.4.2 – Representação do Conhecimento e Interface.....	136
3.3.4.3 – Ambiente de Desenvolvimento	137
3.4 – Considerações finais	138
CAPÍTULO 4 – SISTEMA TUTORIAL INTELIGENTE PARA CONTROLE	
ESTATÍSTICO DA QUALIDADE - STCEQ	139
4.1 - Introdução.....	139
4.2 – Descrição sucinta do STCEQ	140
4.2.1 – Descrição sucinta dos módulos.....	140
4.2.2 – Descrição das interações entre usuário e STCEQ	143
4.2.2.1 – Consulta livre de tutoriais	143
4.2.2.2 – Resolução de problemas de CEQ.....	144
4.3 – Módulo Tutorial.....	146
4.3.1 – Tutoriais abordados pelo STCEQ	148
4.3.2 – Estrutura de um tutorial.....	156
4.4 – Módulo Problema.....	162

4.4.1 – Escolha dos Problemas	164
4.4.2 – Tipos de Problemas	165
4.4.2.1 – Distribuição dos problemas por tipo	166
4.4.2.2 – Técnicas abordadas nos problemas de apenas Gráficos de Controle.....	167
4.4.2.3 – Técnicas abordadas nos problemas de Gráficos de Controle seguidos por Estudos de Capabilidade de Processos.....	169
4.4.3 – Conteúdo dos Problemas	170
4.4.4 – Estrutura de Apresentação dos Problemas	173
4.4.5 – Questões dos Problemas	179
4.5 – Módulo Simulador	187
4.5.1 – Geradores de Números Aleatórios do Módulo Simulador.....	188
4.5.1.1 – Distribuição Uniforme	189
4.5.1.2 – Outras distribuições	190
4.5.2 – Técnicas de CEQ previstas para o Módulo Simulador.....	191
4.5.3 – Forma de apresentação dos resultados na Interface.....	193
4.6 – Módulo Especialista.....	198
4.6.1 – Especialista para os problemas de apenas Gráficos de Controle	199
4.6.1.1 – Padrões Não Aleatórios em Gráficos de Controle	199
4.6.1.2 – Regras do STCEQ para identificação de padrões em Gráficos de Controle.	202
4.6.1.3 – Como o Especialista responde as questões dos problemas	207
4.6.2 – Especialista para os problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos.....	211
4.6.2.1 – Especialista para os Estudos de Capabilidade por Histogramas.....	213
4.6.2.2 – Especialista para os Estudos de Capabilidade por Índices	215
4.6.2.3 – Especialista para os Estudos de Capabilidade do Sistema de Medição.....	217
4.6.3 – Especialista para os problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos.....	220
4.6.3.1 – Especialista para Estudos de Capabilidade em problemas de Gráficos de Controle seguido de Estudos de Capabilidade – Questões 6,7 e 8.....	220
4.6.3.2 - Especialista para Estudos de Capabilidade em problemas de Gráficos de Controle seguido de Estudos de Capabilidade – Questões 9 e 10.....	227
4.7 – Módulo Tutor	231
4.7.1 – Características gerais	231
4.7.2 – Tutor para problemas de apenas Gráficos de Controle	234
4.7.3 – Tutor para problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos.....	240
4.7.4 – Tutor para problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos	244
4.7.5 – Relatórios e recomendações do módulo Tutor.....	245
4.8 – Exemplos de Interação.....	250
4.8.1 – Consulta livre de tutoriais	254
4.8.2 – Resolução de problemas de CEQ.....	256
4.9 – Considerações finais	266
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	267
5.1 – Desenvolvimento do trabalho	267
5.1.1 – Introdução.....	268
5.1.2 – Fundamentação teórica e empírica	269
5.1.3 – Modelo para o ensino do CEQ	271
5.1.4 – Descrição do sistema.....	273
5.2 – Conclusões do trabalho	275
5.2.1 – Sobre o emprego do CEQ nas organizações	275
5.2.2 – Sobre o ensino de CEQ no Brasil atualmente.....	276
5.2.3 – Sobre o modelo para o ensino do CEQ.....	278
5.2.4 – Sobre o STCEQ.....	279
5.3 – Contribuições do trabalho	280
5.4 – Dificuldades encontradas	282
5.4.1 – Dificuldades operacionais	282
5.4.2 – Dificuldades conceituais	284
5.5 – Limitações do trabalho.....	285
5.6 – Sugestões para trabalhos futuros.....	286
5.6.1 – Extensão do modelo para o ensino do CEQ.....	286
5.6.2 – Aspectos conceituais do STCEQ.....	287
5.6.3 – Aspectos operacionais do STCEQ.....	287

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	289
ANEXO A – Questionário sobre CEQ	298
ANEXO B – Ensino de CEQ no Brasil.....	299
ANEXO C – Lista completa dos tutoriais.....	318
ANEXO D – Lista completa dos problemas.....	333
ANEXO E – Gerador de números pseudo-aleatórios	344
ANEXO F – Avaliação da regra de mudança brusca de nível.....	378

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de causa e efeito - Mau uso das técnicas de CEQ	22
Figura 2 - Diagrama de Causa e Efeito para Treinamento Inapropriado em CEQ	25
Figura 3 – Fundamentação teórica e empírica do trabalho	36
Figura 4 - Estrutura de um Gráfico de Controle	51
Figura 5 – Componentes de um Sistema Tutorial Inteligente.....	92
Figura 6 – Modelo para o Ensino de CEQ	112
Figura 7 - Aspectos da estratégia instrucional.....	128
Figura 8 - Características necessárias para o sistema	133
Figura 9 – Arquitetura do STCEQ	140
Figura 10 - Tela inicial do Tutorial 36 - Conceito de Controle Estatístico de Processos	159
Figura 11 - Tela com o Índice do Tutorial 36.....	160
Figura 12 - Slide do Tutorial 36.....	161
Figura 13 - Tela inicial do Problema 11	174
Figura 14 - Tela com o Índice do Problema 11	175
Figura 15 - Slide de descrição da empresa em um problema	176
Figura 16 - Slide de descrição de um fluxo produtivo	177
Figura 17 – Slide com a apresentação do problema da Qualidade	178
Figura 18 - Slide com a descrição da tarefa do usuário	179
Figura 19 - Gráficos Xbarra e R no STCEQ.....	194
Figura 20 - Gráfico p no STCEQ	195
Figura 21 - Gráfico CUSUM para medidas individuais no STCEQ.....	195
Figura 22 - Gráfico EWMA para medidas individuais no STCEQ	196
Figura 23 - Resultados dos Estudos de Capabilidade no STCEQ	197
Figura 24 - Gráfico com Outliers superiores	199
Figura 25 - Gráfico com Outlier inferior	199
Figura 26 - Muito pontos de um lado da linha central	200
Figura 27 - Muitos pontos crescentes	200
Figura 28 – Estratificação em Gráfico	201
Figura 29 - Mistura em Gráfico	201
Figura 30 - Gráfico com Mudança Brusca de Nível.....	201
Figura 31 - Regra para identificação de mudança brusca de nível.....	205
Figura 32 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 4 e 5 de problemas de apenas Gráficos de Controle – Primeira parte	209
Figura 33 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 4 e 5 de problemas de apenas Gráficos de Controle – Segunda parte	210
Figura 34 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 1 e 2 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico	213
Figura 35 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 4 e 5 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico	215
Figura 36 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 7 e 8 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico	218
Figura 37 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questão 9 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico	219
Figura 38 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 6 e 7 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico - Estudo de Capabilidade por atributos.....	222
Figura 39 - Respostas do Especialista às Questões 9 e 10 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por histograma	227

Figura 40 - Respostas do Especialista às Questões 9 e 10 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por Índices	228
Figura 41- Respostas do Especialista às Questões 9 e 10 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos do sistema de medição	229
Figura 42- Respostas do Especialista às Questões 9 e 10 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por atributos...	230
Figura 43 - Tutor para Questões 1 e 2 de problemas de apenas Gráficos de Controle.....	235
Figura 44- Tutor para Questão 3 de problemas de apenas Gráficos de Controle	237
Figura 45- Tutor para Questões 4 e 5 de problemas de apenas Gráficos de Controle.....	238
Figura 46 - Tutor para Questões 1 e 2 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade.....	241
Figura 47 - Tutor para a Questão 3 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade	243
Figura 48 - Classificação do desempenho do usuário em um problema.....	246
Figura 49 - Classificação do desempenho do usuário por tipo de problemas.....	248
Figura 50 - Tela inicial do STCEQ	250
Figura 51 - Tela de identificação do usuário do STCEQ.....	251
Figura 52 - Tela com a trajetória prévia de um usuário no STCEQ	252
Figura 53 - Menu principal do STCEQ	253
Figura 54 - Tela com o conjunto de tutoriais do STCEQ	254
Figura 55 - Tela com os tutoriais sobre Conceitos da Qualidade e Gerenciamento Total da Qualidade	255
Figura 56 - Tela com o conjunto de problemas do STCEQ.....	256
Figura 57 - Tela auxiliar do STCEQ: resolução de problemas.....	257
Figura 58 - Tela com os resultados de um problema	258
Figura 59 - Tela com as regras heurísticas para um Gráfico de Controle.....	259
Figura 60 - Tela com questões do STCEQ	260
Figura 61 - Tela com questões do STCEQ: respostas do usuário	261
Figura 62 - Mensagem de erro do módulo Tutor.....	262
Figura 63 - Orientação ao usuário Figura 64 - Pedido para revisar respostas	262
Figura 65 - Relatório do módulo Tutor - Primeira parte.....	263
Figura 66 - Relatório do módulo Tutor - Segunda parte.....	264
Figura 67 - Relatório do módulo Tutor - Terceira parte	265
Figura 68 - Resumo do desenvolvimento do trabalho	267
Figura 69 – Histogramas (SPSS 10.0 ®) dos grupos de números aleatórios de uma distribuição uniforme entre zero e um.	362
Figura 70 - Histogramas (SPSS 10.0 ®) dos grupos de números aleatórios de uma distribuição normal com média igual a zero e variância igual a um.....	365
Figura 71 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para uma distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30%.	367
Figura 72 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 1).....	368
Figura 73 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 2).....	369
Figura 74 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 3).....	370
Figura 75 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 4).....	371

Figura 76 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 5).....	372
Figura 77 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (final).....	373
Figura 78 - Histogramas (SPSS 10.0®) dos grupos de números aleatórios de uma distribuição de Poisson com taxa igual a 4.	376
Figura 79 – Histogramas (SPSS 10.0®) dos grupos de números aleatórios de uma distribuição de Poisson com taxa igual a 4.	377

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre CEP e Planejamento de Experimentos.....	67
Quadro 2 - Tipos de Agentes, Descrição de Percepção – Ação – Objetivo – Ambiente	85
Quadro 3 - Sistemas Tutoriais Inteligentes desenvolvidos	95
Quadro 4 - Tópicos sobre Conceitos Básicos da Qualidade	114
Quadro 5 - Tópicos sobre o Conceito de Variabilidade	116
Quadro 6 - Limitações e Indicações do CEQ.....	117
Quadro 7 - Tópicos sobre Descrição/Exploração da Variabilidade	118
Quadro 8 - Tópicos acerca de Inferência sobre a Qualidade do processo.....	119
Quadro 9 - Tópicos sobre Controle Estatístico de Processos	120
Quadro 10 - Tópicos sobre Estudo de Capabilidade de Processos	121
Quadro 11 - Tópicos sobre Aceitação por Amostragem.....	121
Quadro 12 - Tópicos sobre Planejamento de Experimentos	122
Quadro 13 - Ações dos módulos na consulta livre de tutoriais.....	144
Quadro 14 - Ações dos módulos na resolução de problemas - primeira parte	145
Quadro 15 - Ações dos módulos na resolução de problemas – segunda parte	146
Quadro 16 - Informações de uma instância do módulo Tutorial.....	147
Quadro 17 - Tutoriais da Área 1 - Conceitos da Qualidade e Gerenciamento Total da Qualidade	148
Quadro 18 - Tutoriais da Área 2 - Conceitos Básicos de Controle Estatístico da Qualidade – Primeira parte.....	149
Quadro 19 - Tutoriais da Área 2 - Conceitos Básicos de Controle Estatístico da Qualidade – Segunda parte.....	150
Quadro 20 - Tutoriais da Área 3 - Aceitação por Amostragem.....	150
Quadro 21 - Tutoriais da Área 4 - Planejamento de Experimentos.....	151
Quadro 22 - Tutoriais da Área 5 – Controle Estatístico de Processos e Estudos de Capabilidade – Básico – Primeira parte	151
Quadro 23 - Tutoriais da Área 5 – Controle Estatístico de Processos e Estudos de Capabilidade – Básico – Segunda parte	152
Quadro 24 – Tutoriais da Área 6 - Gráficos de Controle - Características Gerais.....	152
Quadro 25 - Tutoriais da Área 7 - Gráficos de Controle de por Variáveis de Shewhart.....	153
Quadro 26 - Tutoriais da Área 8 - Outros Gráficos de Controle por Variáveis	154
Quadro 27 - Tutoriais da Área 9 - Gráficos de Controle por Atributos de Shewhart – Primeira parte.....	154
Quadro 28 - Tutoriais da Área 9 - Gráficos de Controle por Atributos de Shewhart - Segunda parte	155
Quadro 29 - Tutoriais da Área 10 - Outros Gráficos de Controle por Atributos	155
Quadro 30 - Tutoriais da Área 11 - Estudos de Capabilidade de Processo.....	156
Quadro 31 – Informações de uma instância do módulo Problema	163
Quadro 32 - Técnicas dos problemas de apenas Gráficos de Controle	167
Quadro 33 - Técnicas dos problemas Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade	170
Quadro 34 - Conteúdo dos problemas do STCEQ - Primeira parte	171
Quadro 35 - Conteúdo dos problemas do STCEQ - Segunda parte	172
Quadro 36 - Conteúdo dos problemas do STCEQ - Terceira parte	173
Quadro 37 - Questões dos problemas de apenas Gráficos de Controle	181
Quadro 38 - Questões dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos	183
Quadro 39- Questões exclusivas dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos.....	185
Quadro 40 - Técnicas existentes no Módulo Simulador.....	192
Quadro 41 - Regras do STCEQ para identificação de padrões em Gráficos de Controle	203
Quadro 42 - Respostas do Especialista para problemas de apenas Gráficos de Controle - Dois Gráficos	207

Quadro 43 - Respostas do Especialista para problemas de apenas Gráficos de Controle - Apenas um Gráfico.....	208
Quadro 44 - Respostas do módulo Especialista para os problemas de apenas Estudos de Capabilidade - Processo fora de controle estatístico.....	212
Quadro 45 - Respostas do módulo Especialista para a Questão 3 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade - Processo sob controle estatístico.....	214
Quadro 46 - Respostas do módulo Especialista para a Questão 6 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade - Processo sob controle estatístico.....	216
Quadro 47 - Respostas do módulo Especialista às 5 primeiras questões de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos	220
Quadro 48 - Respostas do módulo Especialista às Questões 6 e 7 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por histogramas, Índices ou do sistema de medição – Processo sob controle estatístico.	221
Quadro 49 - Respostas do módulo Especialista à Questão 8 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por histograma - Processo sob controle estatístico.....	223
Quadro 50 - Respostas do módulo Especialista à Questão 8 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por Índices - Processo sob controle estatístico.....	224
Quadro 51- Respostas do módulo Especialista à Questão 8 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos do sistema de medição - Processo sob controle estatístico.....	225
Quadro 52 - Respostas do módulo Especialista à Questão 8 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por atributos - Processo sob controle estatístico.....	226
Quadro 53 - Tutoriais recomendados de acordo com o desempenho do usuário no problema	247
Quadro 54 - Resultados do Teste de Aleatoriedade (SPSS 10.0®): distribuição uniforme entre zero e um.....	360
Quadro 55 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (SPSS 10.0®): distribuição uniforme entre zero e um.	361
Quadro 56 - Resultados do Teste de Aleatoriedade (SPSS 10.0®): distribuição normal com média igual a zero e variância igual a 1.	363
Quadro 57 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (SPSS 10.0®): distribuição normal com média igual a zero e variância igual a um.	364
Quadro 58 - Resultados do Teste de Aleatoriedade (SPSS 10.0 ®): distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30%.....	366
Quadro 59 - Resultados do Teste de Aleatoriedade (SPSS 10.0®): distribuição de Poisson com taxa igual a 4.	374
Quadro 60 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (SPSS 10.0®): distribuição de Poisson com taxa igual a 4.	375
Quadro 61 - Testes para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos de Médias, Intervalos e Desvios Padrões - Sem desvio	378
Quadro 62 - Testes para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos de Médias, Intervalos e Desvios Padrões - Com desvio na média	378
Quadro 63 - Teste para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos de Médias, Intervalos e Desvios Padrões - Com desvio na variância	379
Quadro 64 - Testes para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos p e c - Sem desvio.....	379
Quadro 65 - Testes para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos p e c - Com desvio.....	379

LISTA DE SIGLAS

CEQ	- Controle Estatístico da Qualidade
SQC	- Statistical Quality Control (Controle Estatístico da Qualidade)
CEP	- Controle Estatístico de Processos
SPC	- Statistical Process Control (Controle Estatístico de Processos)
TQM	- Total Quality Management (Gerenciamento Total da Qualidade)
LM	- Linha Média (de um Gráfico de Controle)
LIC	- Limite Inferior de Controle (de um Gráfico de Controle)
LSC	- Limite Superior de Controle (de um Gráfico de Controle)
	- Média amostral (referente ao Gráfico de Controle de média de Shewhart)
R	- Amplitude (Intervalo) amostral (referente ao Gráfico de Controle de intervalo de Shewhart)
s	- Desvio padrão amostral (referente ao Gráfico de Controle de desvio padrão)
c	- Número de defeitos em uma unidade de inspeção (referente ao Gráfico de Controle c de Shewhart, onde a distribuição dos defeitos segue uma distribuição de Poisson)
u	- Percentual ou taxa de defeitos por uma unidade de inspeção (referente ao Gráfico de Controle u de Shewhart, onde a distribuição dos defeitos segue uma distribuição de Poisson)
np	- Número de itens defeituosos em uma amostra (referente ao Gráfico de Controle np de Shewhart, onde a distribuição dos defeitos segue uma distribuição binomial)
p	- Percentual ou taxa de itens defeituosos em uma amostra (referente ao Gráfico de Controle p de Shewhart, onde a distribuição dos defeitos segue uma

	distribuição binomial)
IID	- Identicamente distribuído e independente
CUSUM	- Cumulative Sum, Soma Cumulativa (referente ao Gráfico de Controle CUSUM)
MA	- Moving Average, Média Móvel (referente ao Gráfico de Controle MA)
EWMA	- Exponentially Weighted Moving Average, Média Móvel Exponencialmente Ponderada (referente ao Gráfico de Controle EWMA)
ISO9000	- Série de padrões de Qualidade estabelecida pela ISO (International Standard Organization)
ISO14000	- Série de padrões de Qualidade ambiental estabelecida pela ISO (International Standard Organization)
QFD	- Quality Function Deployment, Desdobramento da Função da Qualidade, técnica de planejamento que permite atingir as expectativas do cliente quanto à Qualidade pela tradução delas em diretrizes e ações.
Cp, Cpk	- Índices de Capabilidade de processo.
IA	- Inteligência Artificial
IAS	- Inteligência Artificial Simbólica
IAC	- Inteligência Artificial Conexionista
IAD	- Inteligência Artificial Distribuída
CAI	- Computer Assisted Instruction (Instrução Assistida por Computador)
ICAI	- Intelligent Computer Assisted Instruction (Instrução Inteligente Assistida por Computador)
CAL	- Computer Assisted Learning (Aprendizado Assistido por Computador)
ICAL	- Intelligent Computer Assisted Learning (Aprendizado Inteligente Assistido por Computador)
CAE	- Computer Assisted Education (Educação Assistida por Computador)

ICAE	- Intelligent Computer Assisted Education (Educação Inteligente Assistida por Computador)
ITS	- Intelligent Tutoring Systems (Sistemas Tutoriais Inteligentes)
STI	- Sistema Tutorial Inteligente
SDP	- Solução Distribuída de Problemas
SMA	- Sistema Multi-Agentes
ART	- Adaptive Resonance Theory (Teoria de Ressonância Adaptativa)
ARL	- Average Run Length (Número Médio de Pontos plotados antes do Gráfico de Controle indicar que o processo está fora de Controle Estatístico)
SEstat	- Sistema Especialista de Apoio ao Ensino de Estatística
SESU/MEC	- Secretaria de Ensino Superior do Ministério da Educação

RESUMO

O Controle Estatístico da Qualidade –CEQ (constituído por Controle Estatístico de Processos, Estudos de Capabilidade de Processos, Inspeção por Amostragem e Planejamento de Experimentos) compreende um conjunto de ferramentas muito importantes para a obtenção, manutenção e melhoria da Qualidade de produtos e serviços produzidos por uma organização. Por esse motivo é imprescindível que suas técnicas sejam corretamente aplicadas, pois a Avaliação da Qualidade é crucial para a organização e o CEQ é parte importante não somente da Avaliação, mas também do processo de melhoria da Qualidade. Não obstante sua importância, o CEQ vem sendo empregado de forma inadequada em muitas empresas. Como o CEQ é ensinado nos mais diversos cursos técnicos e superiores, bem como nos setores de treinamento das empresas, possivelmente a abordagem utilizada não é totalmente apropriada, por causar o mau uso das técnicas envolvidas. O objetivo deste trabalho é tornar o ensino de CEQ realmente efetivo, através da elaboração de um modelo para o ensino do CEQ que capacite os egressos a aplicarem corretamente as técnicas. O modelo incorpora uma aplicação computacional, com uma abordagem baseada na Inteligência Artificial, que tem obtido bons resultados em aplicações educacionais.

Para desenvolver o modelo foram feitos os diagnósticos da atual forma como o CEQ é empregado nas empresas, e de como está sendo ensinado nas instituições de ensino e dentro das próprias empresas. A partir desses resultados foram definidos os conceitos a serem incluídos no modelo, e o detalhamento da abordagem de Inteligência Artificial que será utilizada na aplicação computacional.

A aplicação computacional tem características de um Sistema Tutorial Inteligente, e o protótipo foi implementado inicialmente para os conceitos de Controle Estatístico de Processos e Estudos de Capabilidade de Processos.

ABSTRACT

Statistical Quality Control – SQC (constituted by Statistical Process Control, Process Capability Studies, Acceptance Sampling and Design of Experiments) comprises a very important group of tools used to obtain, maintain and improve the Quality level in goods and services produced by an organization. Therefore, it is essential to apply SQC techniques correctly, because Quality evaluation is crucial to the organization and SQC is an important part, not only of Quality evaluation, but also of the Quality improvement process. Despite its importance, SQC has been employed incorrectly in many companies. As SQC is taught in many technical and undergraduate courses, as well as in the companies' training sectors, possibly the approach used is not totally appropriate, and therefore is the cause of an inadequate use of these techniques. The goal of this work is to make SQC teaching more effective, through the development of a model for SQC teaching that assists its learners to correctly apply the techniques. The model includes a computer application, with an Artificial Intelligence approach, which have been achieving good results in educational applications.

To develop the model, the current way in which SQC is used and taught in industry was diagnosed, and how SQC is taught in schools. Based on those results, the necessary concepts, which need to be included in the model, were defined, and also the Artificial Intelligence approach was detailed.

The computer application has Intelligent Tutorial System characteristics, and the prototype has been initially implemented for Statistical Process Control and Process Capability Studies concepts.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, os consumidores estão exigindo cada vez mais Qualidade dos produtos e serviços que pretendem adquirir: aqueles que apresentam melhor Qualidade costumam ser os preferidos. Sendo assim, a manutenção e melhoria da Qualidade são cruciais para a própria sobrevivência de uma organização. Para que seja possível melhorar a Qualidade é preciso avaliá-la de forma sistemática, realizar a Avaliação da Qualidade. O Controle Estatístico da Qualidade – CEQ (constituído por Controle Estatístico de Processos, Estudos de Capabilidade de Processos, Aceitação por Amostragem e Planejamento de Experimentos) compreende um conjunto de ferramentas muito importantes para a avaliação, manutenção e melhoria da Qualidade de produtos e processos (ASQC/AIAG,1992) (Montgomery,1997) (Paladini,1995), ou seja parte essencial não somente da Avaliação, mas também do processo de melhoria da Qualidade. É imprescindível que as técnicas do CEQ sejam corretamente implementadas, pois seus resultados somente serão confiáveis se (as técnicas) forem adequadamente escolhidas e aplicadas ao problema sob análise. Não obstante sua importância, o CEQ vem sendo empregado de forma inadequada em muitas organizações.

1.1 – Abrangência do Trabalho

As primeiras técnicas de CEQ foram desenvolvidas por volta de 1930, por W.A. Shewhart, com os primeiros Gráficos de Controle, e por Dodge e Romig, com a metodologia de Aceitação por Amostragem. A utilidade destas técnicas foi comprovada na prática, e sua aplicação disseminou-se pelas empresas dos EUA até o fim da II Guerra Mundial. Posteriormente houve uma diminuição do interesse por tais técnicas nos EUA, e graças ao

trabalho de Deming e à visão da União Japonesa para a Ciência e a Engenharia (JUSE), tais métodos popularizaram-se no Japão (Bartmann, 1986). Atualmente os produtos japoneses têm uma reputação de Qualidade, e parece razoável supor que a utilização do CEQ deve ter tido uma influência, talvez considerável, nesta conquista (Starkey et al., 1996) (Rabbitt e Bergh, 1994) (Bartmann,1986). Parece lógico inferir também que a aplicação das técnicas de CEQ foi feita de forma correta, caso contrário a magnitude do sucesso obtido seria menor.

Tem sido afirmado por diversos profissionais, que tiveram a oportunidade de conhecer as práticas de qualidade em empresas no Brasil, que o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) é utilizado de forma inadequada (Epprecht e Machado Neto,1996) (por exemplo, usa-se um Gráfico de Controle por atributos quando um por variáveis seria mais apropriado), ou, simplesmente, não é utilizado porque não se conhece seu real valor. Segundo Paladini (1995, p.195) a implantação do CEP (Controle Estatístico de Processos, parte integrante do CEQ) costuma falhar porque é usado apenas como “(...) *um demonstrativo do histórico do processo e não como um processo de análise de tendências. Como consequência, o CEP torna-se um procedimento apenas de correção, ou seja, reage às situações já ocorridas*”.

Há problemas semelhantes em outros países. Alwan e Roberts (1995) apresentam dados alarmantes sobre o emprego de Gráficos de Controle em 235 empresas da Inglaterra, uma vez que em apenas 14% dos casos as suposições estatísticas necessárias para o emprego dos Gráficos não haviam sido violadas. Deming (1990) declara que os administradores americanos, despertando para a necessidade de melhoria da Qualidade na década de 80, submeteram-se a cursos intensivos de métodos estatísticos, entre os quais CEQ, mas que, muitas vezes, os ministrantes de tais cursos não possuíam o conhecimento adequado e assim, centenas de pessoas aprenderam de forma errada, e continuam aprendendo. E em uma pesquisa de 1997 (Lee et al.,1997), das 114 empresas do setor manufatureiro de Hong-Kong

que responderam, apenas 55% usam Controle Estatístico da Qualidade, sendo que todas possuíam certificados ISO 9000 e declaravam-se comprometidas com a melhoria da Qualidade.

Embora o emprego de métodos de CEQ não seja exigido pelo padrão ISO9001 (embora métodos estatísticos sejam exigidos), muitos clientes exigem a implementação de tais técnicas para manter ou iniciar um vínculo comercial (Bränstrom-Stenberg e Deleryd,1999), o que apenas corrobora a sua importância.

No que diz respeito ao Brasil, o CEQ é ensinado principalmente nos cursos superiores de Engenharia e de Estatística. Há dezenas de cursos de Engenharia (incluindo a Industrial e a de Produção) e de Estatística no Brasil. Muitos desses cursos possuem uma ou mais disciplinas de CEQ, e seus conteúdos cobrem pelo menos os itens básicos (normalmente Gráficos de Controle e Inspeção por Amostragem), e alguns abrangem itens mais avançados. Os egressos desses cursos muitas vezes vão trabalhar diretamente nas empresas, passando a ser responsáveis pelo uso do CEQ.

Outro aspecto precisa ser mencionado. Muitas empresas dispõem de seus próprios setores de treinamento, que são responsáveis pela instrução de seus funcionários, inclusive nas técnicas de CEQ. Vários destes setores têm reconhecida competência em diversas áreas. Não obstante, talvez não consigam demonstrar claramente a importância do CEQ, ou como deve ser usado, pois não é raro que as próprias empresas usem o CEQ de forma inadequada (muitas vezes, porém, não há condições materiais para o uso adequado do CEQ, como por exemplo, quando são necessários equipamentos de medição ou calibração).

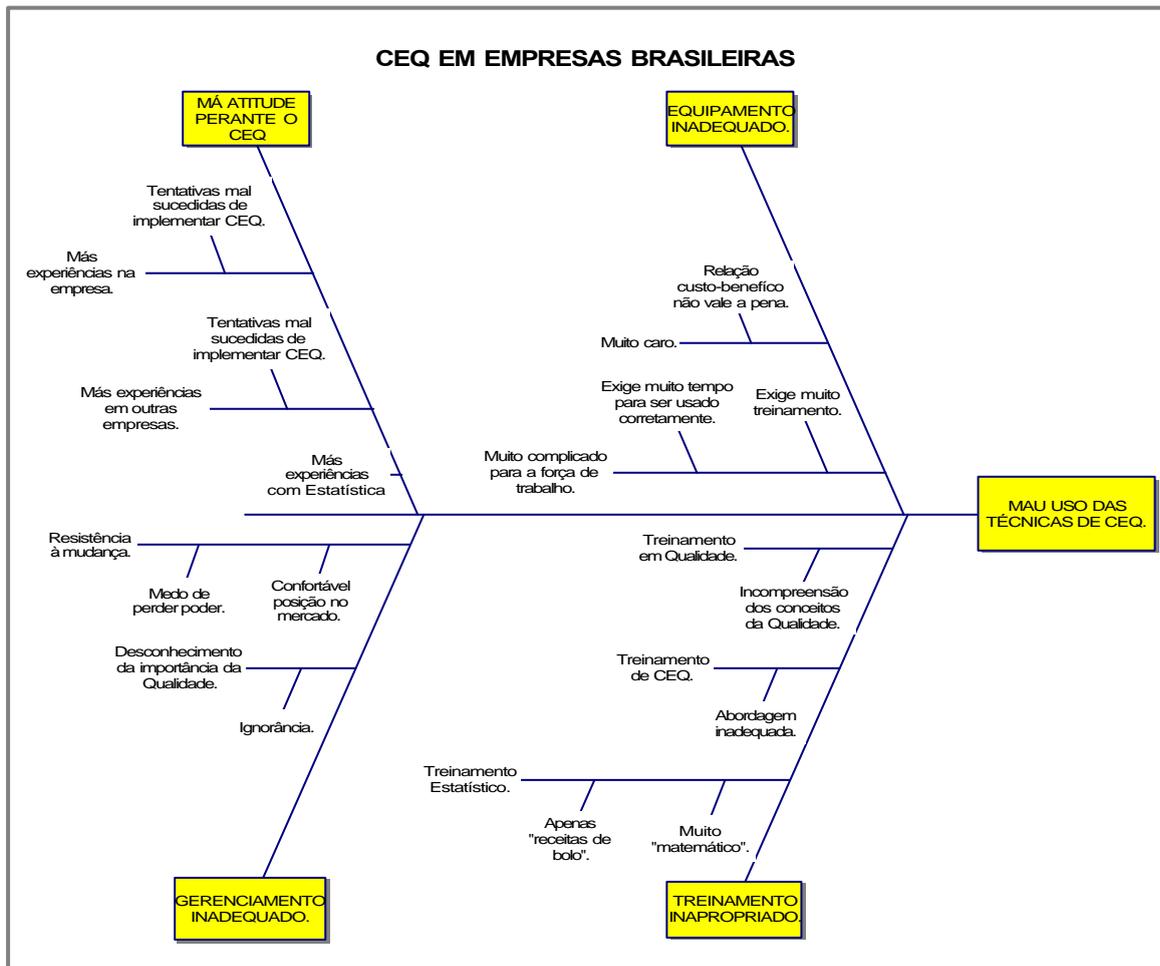
A abrangência deste trabalho compreende a correta escolha, aplicação e interpretação

dos resultados das técnicas de Controle Estatístico da Qualidade, o que pressupõe um exame das causas do emprego inadequado de tais técnicas, e a proposição de soluções.

1.2 – Justificativa para o trabalho

Apesar de exemplos contundentes sobre a sua utilidade, o CEQ continua sendo mal utilizado, ou mesmo não utilizado, por empresas brasileiras, dos mais diversos setores. Diversas causas podem ser enumeradas para tanto. Utilizando uma ferramenta empregada pelo CEQ, o diagrama de causa e efeito, ou diagrama de Ishikawa (1990) ou espinha de peixe, mostrado na Figura 1, pode-se definir algumas delas.

Figura 1 - Diagrama de causa e efeito - Mau uso das técnicas de CEQ



Seguindo a ordem apresentada na Figura 1, uma primeira causa seria uma “má atitude perante o CEQ”, provavelmente por este envolver Estatística. Este comportamento pode ter sido causado por tentativas frustradas de implementação do CEQ, seja na própria empresa, ou em outras em que os operadores e engenheiros trabalharam anteriormente. Há também o já citado problema com a Estatística, que pode ser resultado de más experiências (dificuldade de compreensão dos conceitos, reprovações) durante sua formação acadêmica.

Uma segunda possível causa seria o equipamento de inspeção inadequado. Sem os dispositivos apropriados, especialmente instrumentos de medição ou técnicas adequadas, torna-se extremamente difícil implementar o CEQ. Há muitas justificativas para não adquirir o instrumental apropriado, que pode ser considerado muito caro para os benefícios que poderá gerar, ou mesmo muito complicado para os operadores que deverão usá-lo (exigiria muito treinamento, e, portanto, muito tempo, para ser usado corretamente).

A terceira causa é provavelmente a mais séria, e talvez a mais difícil de eliminar: o gerenciamento inadequado. Em alguns casos é simplesmente a resistência à mudança (absolutamente natural, todavia), por medo de perder poder (porque o CEQ implica propiciar razoável autonomia aos operadores), ou porque a empresa desfruta de uma confortável posição no mercado (“não se mexe em time que está ganhando”). Mais grave é o desconhecimento da importância da Qualidade, e dos métodos necessários para sua monitoração e melhoria.

Resta a quarta causa, o treinamento inapropriado. E o que se entende por treinamento inapropriado? O treinamento não consegue conscientizar os treinandos sobre a importância da Qualidade e das técnicas de CEQ para Avaliação da Qualidade, e/ou transmitir corretamente os conceitos necessários para a escolha e aplicação da técnica em problemas reais, e/ou

fornecer os elementos para que os treinandos saibam interpretar corretamente os resultados obtidos. O resultado é o uso inadequado do CEQ nas organizações, ou, em alguns casos a sua “não utilização”.

Assim, o CEQ estaria sendo mal utilizado porque os operadores e engenheiros estão cometendo erros por não terem sido adequadamente treinados. Os problemas podem estar no treinamento em Qualidade, os treinandos não conseguem compreender completamente os conceitos envolvidos, dificultando a correta utilização do CEQ. Poderia ser o treinamento específico em CEQ, uma abordagem inadequada pode levar a uma incompreensão da sua importância ou uma implementação incorreta. Problemas com o treinamento em conceitos estatísticos também são comuns, em alguns casos há uma simplificação excessiva (com o objetivo de facilitar o treinamento), deixando de abordar conceitos em profundidade. Por outro lado, pode haver um aprofundamento exagerado, com demasiada ênfase em aspectos matemáticos (demonstrações, manipulações algébricas), o que pode complicar consideravelmente a compreensão do embasamento estatístico do CEQ.

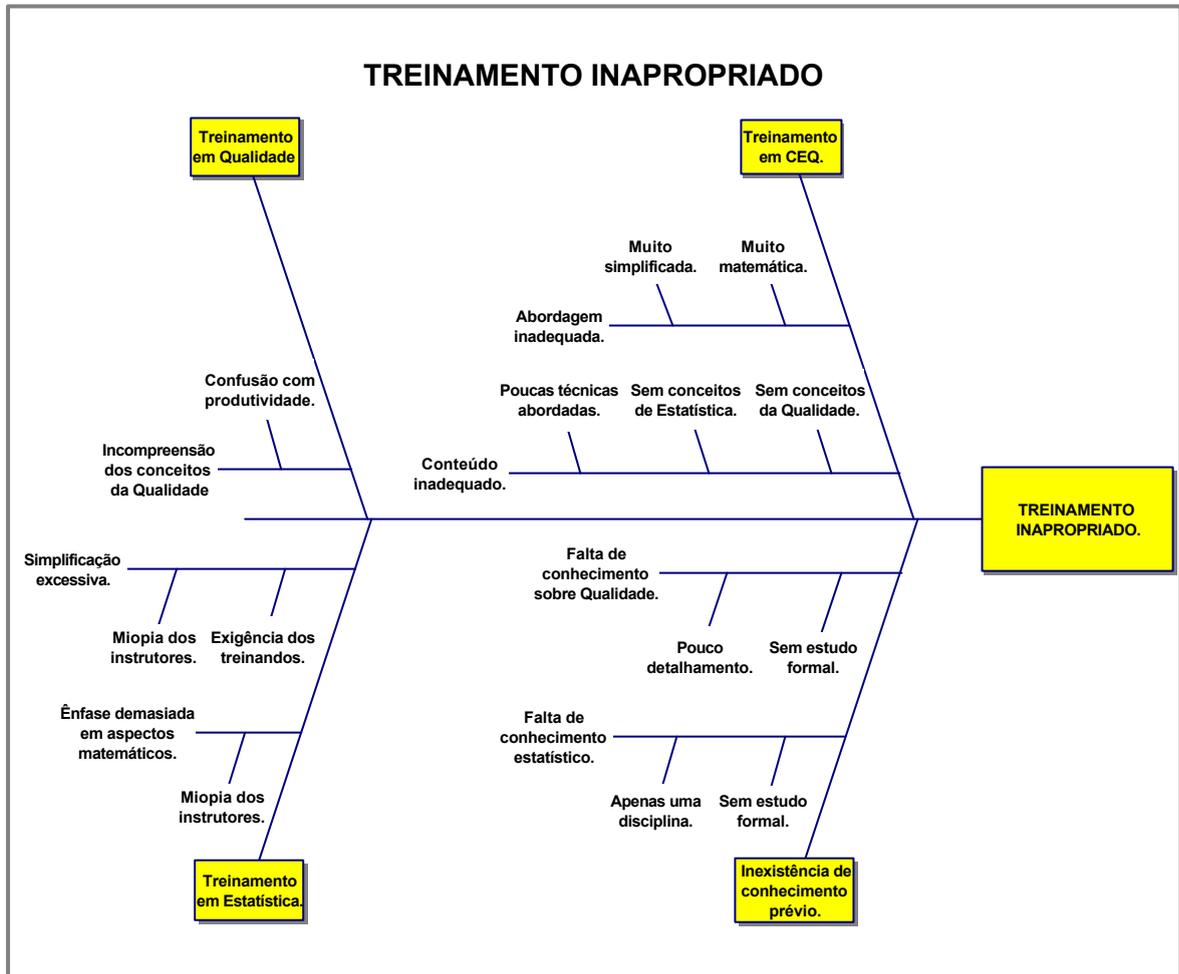
Este trabalho pretende atacar a última causa, o treinamento. Por ser o autor deste trabalho um professor de Estatística, com interesse no tema Controle Estatístico da Qualidade, e na pesquisa de maneiras de melhorar o ensino de Estatística em geral, julgou-se que seria extremamente válido o desenvolvimento de um trabalho que gerasse uma melhoria no ensino/treinamento de CEQ.

Para o treinamento inapropriado é possível aplicar, da mesma forma que para o “mau uso do CEQ”, um diagrama de causa e efeito, detalhando as suas possíveis causas na Figura 2.

Muitas vezes, o treinamento em Qualidade é deficiente. Confunde-se Qualidade com

produtividade: Deming (1990) declara que a melhoria na Qualidade acarreta uma melhoria na produtividade, mas são conceitos diferentes. O resultado prático é a subordinação das metas de Qualidade às de produção, muitas vezes com efeitos desastrosos para a organização.

Figura 2 - Diagrama de Causa e Efeito para Treinamento Inapropriado em CEQ



O treinamento em Estatística é possivelmente um dos pontos mais críticos, e em certas situações, o mais difícil de corrigir. Por um lado há a tendência de simplificação excessiva, seja por pedido expresso dos treinandos, seja por miopia dos instrutores (que algumas vezes consideram que a força de trabalho não está preparada para abordagens mais aprofundadas). Outra tendência é a ênfase demasiada em aspectos matemáticos (importantes, sem dúvida, mas cujos detalhes podem complicar a compreensão dos conceitos básicos), por exigência da administração ou por miopia dos instrutores. Nas pequenas e médias empresas este fator costuma constituir-se em uma barreira à implantação do CEQ, não somente no Brasil mas em países tão desenvolvidos como a Suécia (Delery et al.,1999).

Em um país como o Brasil a inexistência de conhecimento prévio, seja em Qualidade ou Estatística, é um fator de considerável influência. Mesmo os profissionais de nível superior, engenheiros, administradores, apresentam deficiências em seu conhecimento sobre conceitos da Qualidade: muitas vezes as disciplinas que cursaram foram pouco detalhadas, ou mesmo não cursaram disciplina alguma. Que dizer, então, dos operadores e técnicos, alguns deles sem nenhum estudo formal em Qualidade. Quando se avalia o conhecimento prévio em Estatística a situação dos engenheiros e administradores melhora um pouco (ao menos uma disciplina básica, obrigatória, eles cursaram), e piora consideravelmente para os demais integrantes da força de trabalho.

O treinamento específico em CEQ, seja acadêmico ou na própria organização, constitui outro problema. A abordagem utilizada pode ser inadequada, por ser muito simplificada, ou muito “matemática”, por não utilizar ferramentas computacionais, ou por partir diretamente para a utilização de pacotes estatísticos sem muita reflexão sobre os conceitos. O conteúdo também pode apresentar sérios problemas, por desconsiderar conceitos estatísticos e da Qualidade (ou simplificá-los em demasia), ou por concentrar-se em algumas poucas técnicas, geralmente as mais simples.

É interessante observar que os mais diversos textos, manuais e software são utilizados no ensino do CEQ. Embora alguns deles pareçam ter conteúdo semelhante, podem ser encontradas algumas diferenças. Por exemplo, alguns livros estendem-se nos conceitos básicos de Qualidade e pouca atenção dão ao CEQ (Campos,1992). Há outros que se preocupam talvez em demasia com aspectos de Estatística básica (Duncan,1986), alguns consideram os conceitos básicos de Qualidade e de Estatística como de conhecimento geral e partem direto para o CEQ (ASQC/AIAG, 1992, (Grant & Leavenworth,1980), mas, possivelmente os mais danosos são os que usam apenas “receitas de bolo”, sem maiores

preocupações com as condições do problema e/ou os conceitos necessários. Caulcutt (1995) declara que em muitos casos os usuários pensam que CEQ resume-se somente a Controle Estatístico de Processos - CEP, e que por sua vez CEP resume-se somente a Gráficos de Controle, especialmente os mais simples de Shewhart, considerados como panacéia para resolver todos os problemas, e que isso seria causado por instrução/livros inadequados). Como se não bastasse, há também grande disparidade entre a formação e a didática dos professores/instrutores. O bom senso indica que o ideal é um balanceamento dos diversos tópicos: conceitos da Qualidade (aspectos gerenciais inclusive) são imprescindíveis, os conceitos básicos de Estatística também são necessários (talvez não com a mesma profundidade de uma disciplina específica de Estatística, pressupõe-se, ao menos em um nível universitário, que os treinandos de CEQ tenham algum conhecimento prévio a respeito), os conceitos de CEQ (é claro), e alguma espécie de aplicação computacional (pois o uso da informática abriu toda uma nova gama de oportunidades de ensino e aprendizagem, além de estar se disseminando cada vez mais nas organizações).

Não obstante, em praticamente todos os casos o problema (o uso inadequado do CEQ por parte dos alunos egressos) persiste. Sendo assim, a causa do problema deve estar na *abordagem* utilizada para ensinar o Controle Estatístico da Qualidade.

O objetivo deste trabalho é contribuir para a melhoria no uso do CEQ, a partir do seu treinamento, para que os usuários do CEQ possam aplicar corretamente as técnicas para monitoração e melhoria da Qualidade. Para tanto será apresentada um modelo para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade, que possui um Sistema Tutorial Inteligente integrado.

1.3 – Objetivos do Trabalho

Os objetivos deste trabalho, geral e específicos, estão expostos abaixo.

1.3.1 – Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo geral o desenvolvimento de um modelo para o ensino do CEQ, procurando torná-lo realmente efetivo, com a integração de um sistema tutorial inteligente, para formar e qualificar seus prospectivos praticantes, o que poderá produzir uma melhoria no uso do Controle Estatístico da Qualidade.

Já existem sistemas computacionais totalmente automáticos que coletam os dados, efetuam o processamento estatístico e realizam o reconhecimento dos padrões obtidos, sugerindo (e muitas vezes executando) as ações necessárias para melhorar o nível de Qualidade. Mesmo que tais sistemas substituam em grande parte os operadores, o que no Brasil somente deve ocorrer a médio prazo, sempre haverá a necessidade de, pelo menos, uma pessoa para o gerenciamento do sistema. Operadores treinados por intermédio do modelo aqui apresentado teriam maiores condições de gerenciar corretamente, não só o CEQ mas, o próprio processo como um todo. A consequência seria a otimização dos recursos empregados.

O objetivo geral viabiliza-se através de objetivos específicos.

1.3.2 – Objetivos Específicos

Serão apresentados os seguintes objetivos específicos.

1.3.2.1 – Pesquisa sobre o emprego e o ensino de CEQ

Serão relatadas as conclusões obtidas após uma pesquisa empírica sobre o emprego das técnicas de CEQ em empresas nos EUA e no Brasil. Igualmente serão apresentados os resultados da avaliação do ensino de CEQ em instituições de ensino dos EUA e do Brasil.

1.3.2.2 – Elaboração de um modelo para o ensino do CEQ

Constatando-se quais são os problemas da atual forma de ensino/instrução do CEQ, será apresentado um modelo para o ensino do CEQ, que possibilitaria à pessoa treinada através dele, escolher e aplicar corretamente a técnica mais adequada. Isso é crucial para que o CEQ possa realmente contribuir para a obtenção, manutenção e melhoria da Qualidade.

1.3.3.3 – Elaboração de um protótipo de Sistema Tutorial Inteligente para o CEQ

Incorporado ao modelo está um protótipo de Sistema Tutorial Inteligente, que se constitui em um ambiente de aprendizagem interativo onde um usuário poderia praticar uma série de conceitos, através da solução de problemas e consulta de tutoriais, com a supervisão de um “tutor”. Este sistema foi provisoriamente batizado de Sistema Tutorial para Controle Estatístico da Qualidade: STCEQ.

1.3.3.4 – Avaliação do protótipo de Sistema Tutorial Inteligente para o CEQ

Verificar a adequação do protótipo, observando as suas características de processamento, robustez e interface, coletando opiniões de possíveis usuários.

O Sistema que será desenvolvido terá o suporte das técnicas de Inteligência Artificial. Segundo Kasabov (1996), a *“Inteligência Artificial tem por objetivo desenvolver métodos e sistemas para a resolução de problemas usualmente solucionados através da atividade intelectual de seres humanos”*. Muitos dos problemas relacionados a CEQ poderiam ter a sua resolução modelada através de técnicas de Inteligência Artificial, tais como:

- escolha da técnica mais adequada a aplicar a um determinado processo (com a explicação de como se chegou a tal escolha, o que é de especial interesse para ensino/instrução);
- interpretação dos resultados obtidos pelas técnicas estatísticas.

Devido às características do problema e dos métodos disponíveis, propõe-se a utilização de uma abordagem baseada em Inteligência Artificial (Sistemas Tutoriais Inteligentes) que possibilitará desenvolver um sistema realmente efetivo, pelos seguintes motivos:

- 1) Possibilidade de lidar adequadamente com raciocínio inexato e/ou heurístico, o que é característico de muitas das situações encontradas em problemas práticos de CEQ;
- 2) Possibilidade de representar conhecimento em forma simbólica e realizar processamento simbólico, o que é exigido em muitas situações relacionadas a CEQ;
- 3) Possibilidade de estender a interação amigável entre “instrutor” e usuário após o término do período de instrução.

No Capítulo 3 serão apresentadas, em maior detalhe, as razões que levaram a incorporação do protótipo de Sistema Tutorial Inteligente ao modelo, e porque optou-se por tal abordagem.

1.4 – Delimitações do trabalho

É importante ressaltar que algumas escolhas foram feitas durante o trabalho, sendo suas justificativas apresentadas a seguir.

1.4.1 – Público alvo

Restringiu-se à proposta neste primeiro momento a estudantes universitários, dos cursos de engenharia, por exemplo, que já cursaram as disciplinas básicas de Estatística. Por ser o autor professor universitário, do Departamento de Informática e Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina, é possível a pronta aplicação da proposta e portanto contribuir para a melhoria do ensino mais rapidamente.

Nada impede, porém, que a proposta seja estendida para outros públicos. Isso é plenamente viável, e recomendável, para que o CEQ possa ser corretamente empregado pelo maior número possível de profissionais, sendo feitas as adaptações necessárias a cada tipo de público (Cheng e Dawson, 1998).

1.4.2 – Conteúdo do modelo

O Controle Estatístico da Qualidade pode ser subdividido em Controle Estatístico de Processos - CEP, Estudos de Capabilidade de Processos, Aceitação por Amostragem e Planejamento de Experimentos (Woodall e Montgomery, 1999). O modelo para o ensino desenvolvido neste trabalho inclui todos os itens citados, mas com diferentes aprofundamentos.

O conteúdo sobre Aceitação por Amostragem pretende proporcionar apenas um conhecimento básico sobre o assunto, pois a técnica na realidade não estima a Qualidade do produto, mas apenas indica se um lote deve ser aceito ou rejeitado. Além disso autores como Deming (1990) recomendam que a sua prática deve ser reduzida em favor de outras, como melhorar o desempenho dos processos usando CEP e Planejamento de Experimentos (Montgomery, 1997). Maiores detalhes sobre Aceitação por Amostragem nas seções 2.3.3 e 3.2.5.2.

No que tange ao Planejamento de Experimentos a situação é diferente. Sua prática vem se popularizando nos últimos anos, e tem um vasto campo de aplicação nas mais diversas áreas. Justamente por sua grande abrangência, um aprofundamento em Planejamento de Experimentos tornaria o modelo excessivamente complexo. É a opinião deste autor que tal assunto merece um modelo de ensino específico, e em um ambiente de educação/treinamento, uma disciplina ou programa próprios. Sendo assim, serão apresentados apenas os aspectos mais importantes de Planejamento de Experimentos, para que o egresso tenha noções suficientes se precisar aprofundar-se no assunto.

Sendo assim, os tópicos que serão contemplados em profundidade, tanto no modelo em si quanto no Sistema Tutorial Inteligente a ele integrado, serão Controle Estatístico de Processos e Estudos de Capabilidade de Processos.

1.4.3 – Modos de interação com o Sistema Tutorial Inteligente

O usuário poderá interagir com o sistema basicamente de duas maneiras: consultando livremente tutoriais sobre CEQ ou resolvendo problemas sobre CEQ.

A consulta livre de tutoriais consiste em acessar hiperdocumentos sobre os conceitos

de CEQ cobertos pelo modelo para o ensino. Em tal situação o sistema funcionaria como uma “enciclopédia digital”.

A resolução de problemas de CEQ consiste em, a partir das informações sobre um processo produtivo, e eventualmente dos resultados gerados internamente pelo sistema, responder uma série de questões sobre o processo. Estas questões incluiriam diagnosticar se o processo está sob controle estatístico, se o processo é capaz, qual é a técnica mais apropriada para o problema, como deve ser feito o delineamento desta técnica, entre outras. De acordo com as respostas do usuário, após consultar as conclusões do especialista virtual, o sistema, através do seu módulo tutor, apresentará um diagnóstico do desempenho do usuário, e recomendará o que deve ser feito em seguida.

No atual estágio o sistema apresentará problemas envolvendo a interpretação de resultados das técnicas de CEQ. A interpretação dos resultados, de um Gráfico de Controle ou de um Estudo de Capabilidade de Processo, costuma ser um obstáculo considerável na utilização do CEQ, e é um fator crucial para possibilitar a escolha e delineamento das técnicas mais apropriadas para resolver um problema (tais problemas serão incorporados na próxima versão do STCEQ). Maiores detalhes estão listados no Capítulo 4.

1.5 – Estrutura do texto

No Capítulo 2 serão abordados os diversos conceitos que proporcionam fundamentação teórica e empírica a este trabalho. Serão apresentados conceitos de Controle Estatístico da Qualidade que deverão ser abordados pelo Sistema, bem como os conceitos de Inteligência Artificial, para que seja possível avaliar o(s) mais adequado(s) para utilizar na

implementação do Sistema. Serão descritos também o estado da arte do ensino de CEQ e da utilização de Inteligência Artificial em educação.

O Capítulo 3 apresenta o modelo para o ensino do CEQ, delineando o conteúdo necessário e a metodologia que será adotada. Também será apresentada a justificativa da integração do Sistema Tutorial Inteligente, e enumerados os seus requisitos.

No Capítulo 4 contém a descrição do Sistema Tutorial Inteligente, o STCEQ, com todos os módulos que o compõem, os relacionamentos entre eles, as limitações da versão atual e exemplos de interação.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões e contribuições do trabalho.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E EMPÍRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica e empírica da elaboração do modelo para o ensino do CEQ e do sistema tutorial inteligente integrado.

2.1 - Introdução

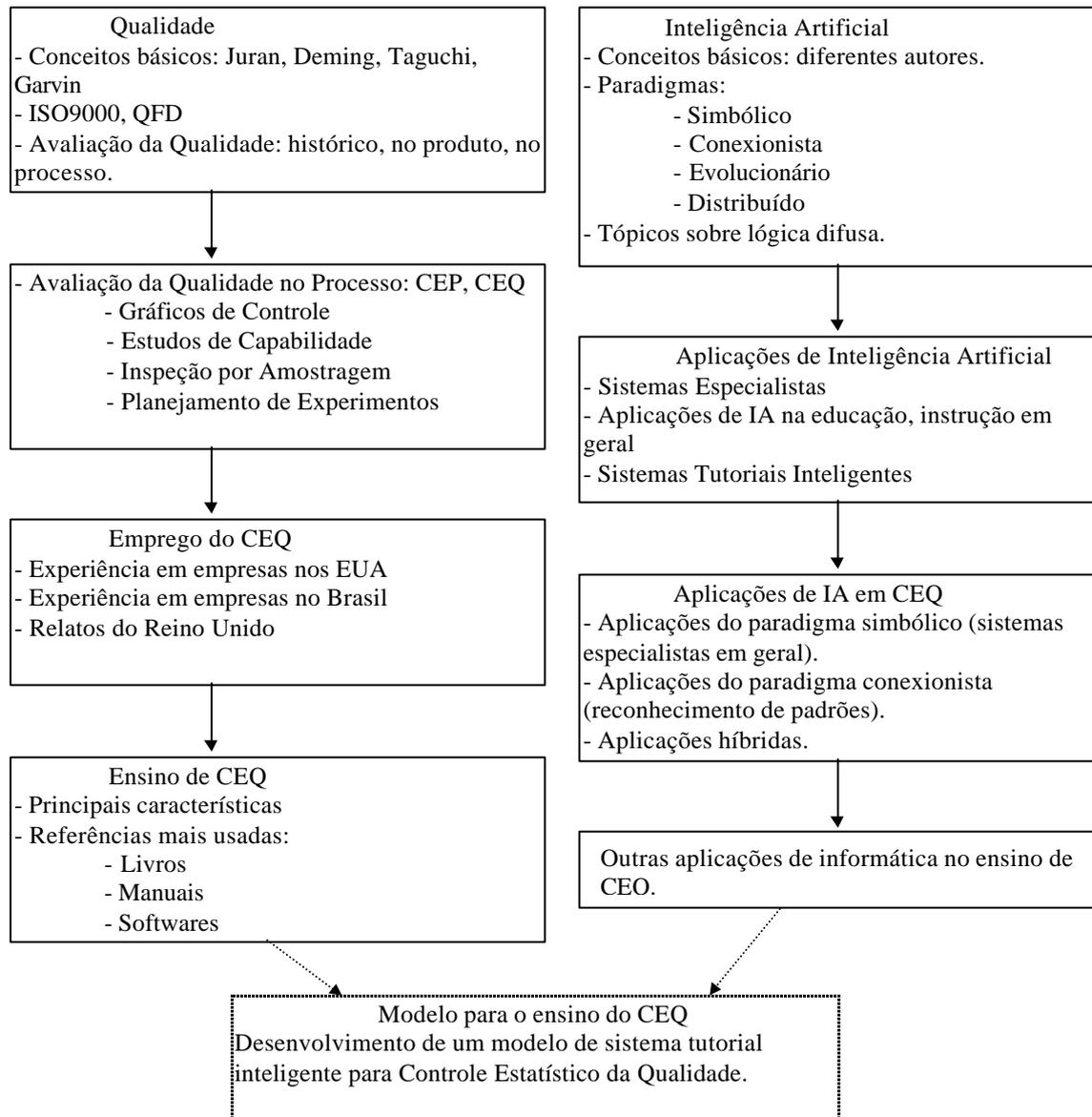
Sob o ponto de vista da Qualidade serão apresentados: definições da Qualidade; conceito e justificativa para realização da Avaliação da Qualidade; principais métodos estatísticos usados para a melhoria da Qualidade (incluindo o detalhamento das principais técnicas); características atuais do emprego e ensino de CEQ (pesquisa empírica).

Sob o enfoque da Inteligência Artificial (IA) serão estudados os principais paradigmas e as aplicações relacionadas a Ensino e CEQ: paradigmas Simbólico, Conexionista, Evolucionário, Abordagem por Agentes; tópicos sobre lógica difusa; aplicações de IA (Sistemas Especialistas, Reconhecimento de Padrões, Educacionais). Serão também abordadas aplicações de informática, não necessariamente de IA, no ensino de Controle Estatístico da Qualidade.

Uma vez analisados todos os conceitos anteriores será possível apresentar o modelo para o ensino de CEQ e o protótipo do Sistema Tutorial Inteligente integrado.

Uma panorama dos conceitos envolvidos pode ser encontrado na Figura 3

Figura 3 – Fundamentação teórica e empírica do trabalho



Conforme observado no Capítulo 1, existem problemas no ensino do Controle Estatístico da Qualidade atualmente, pois as técnicas vêm sendo empregadas de forma inadequada nas empresas, ou mesmo não têm sido empregadas de todo, parece não ter havido um “despertar para a importância da Qualidade”. Como os setores de treinamento e os cursos técnicos (faculdades, escolas técnicas) costumam utilizar materiais e referências bibliográficas semelhantes, a deficiência do ensino reside na abordagem utilizada. Tal constatação justificaria a elaboração de uma nova proposta para ensino/instrução de Controle Estatístico da Qualidade, integrando um enfoque diferente: Inteligência Artificial, por meio de Sistemas Tutoriais Inteligentes.

2.2 – Conceitos da Qualidade

Esta seção apresentará os principais conceitos de Qualidade que norteiam a utilização das técnicas de Controle Estatístico da Qualidade (CEQ). Serão apresentados conceitos básicos, conceitos de Avaliação da Qualidade, as principais técnicas de CEQ atualmente utilizadas, e uma descrição das principais características do ensino de CEQ.

2.2.1 – Conceitos Básicos

A adequada compreensão dos conceitos básicos da Qualidade é extremamente importante, para que as pessoas que irão aplicar o CEQ tenham a plena consciência da abrangência e efeitos das técnicas que serão utilizadas.

Como as pessoas percebem a Qualidade? Segundo Montgomery (1997) geralmente considera-se que a Qualidade está relacionada a uma ou mais características que um produto ou serviço deveria apresentar. Mas que características seriam essas? Garvin (1987) propõe oito dimensões da Qualidade:

- 1) Desempenho: o produto ou serviço realmente corresponderá ao que dele se espera, e o quão bem fará isso.
- 2) Confiabilidade: com que freqüência o produto ou serviço deixa a desejar (falha).
- 3) Durabilidade: por quanto tempo o produto ou serviço irá durar.
- 4) Manutenibilidade: facilidade para reparar o produto ou serviço.
- 5) Estética: qual é a aparência do produto ou serviço.
- 6) Características: o que o produto ou serviço faz, o que ele apresenta como diferencial.
- 7) Qualidade percebida: qual é a reputação da companhia responsável pelo produto ou serviço.

8) Conformidade com padrões: o produto ou serviço é exatamente igual ao que os projetistas pretendiam que fosse.

Mas como definir Qualidade? Há uma definição tradicional pela qual a Qualidade de um produto ou serviço poderia ser definida como a sua “adequação ao uso” (fitness for use) (Juran et al.,1979) e (Montgomery,1997): ou seja o produto ou serviço durante o seu uso atende aos propósitos do usuário. Quanto mais o produto ou serviço atenderem aos propósitos do usuário, maior será a sua Qualidade. Alguns autores também definem a Qualidade como atender às especificações (do usuário).

A Qualidade também pode ser definida de uma forma “indireta”, a partir de seus principais aspectos. Segundo Juran (et al,1979) a “adequação ao uso” envolve alguns aspectos, dos quais é possível enumerar os mais importantes:

- a Qualidade do Projeto do produto ou serviço, que proporcionará uma medida da adequação do projeto às necessidades de adequação ao uso; por sua vez, a Qualidade do Projeto dependerá da Qualidade da Pesquisa de Mercado (que identificará o que é “adequação ao uso” para os usuários), da Qualidade do Conceito (a escolha do produto/serviço que atenderá às necessidades dos usuários), e da Qualidade da Especificação (as especificações detalhadas do produto/serviço).

- Qualidade da “Conformação”, a extensão em que o produto atende ao projeto, e que envolve a tecnologia e mão-de-obra empregadas, gerenciamento, e outros aspectos (possivelmente neste item enquadram-se muitas das técnicas de CEQ (Montgomery,1997), como ferramentas de garantia ou segurança da Qualidade); uma reduzida variabilidade nos produtos seria uma indicação de melhor Qualidade de Conformação, causando uma redução de retrabalhos e desperdícios, aumentando a produtividade (Deming, 1990).

2.2.1.1 - Terminologia

É preciso definir uma terminologia da Qualidade que será utilizada neste trabalho, que se baseia em grande parte na proposta por Montgomery (1997).

Na Avaliação da Qualidade¹ em nível micro torna-se necessário conceituar as Características da Qualidade e os Característicos da Qualidade. Os Característicos da Qualidade são os aspectos elementares de um produto ou serviço que são as células do seu conceito da Qualidade. “*Um conjunto de Característicos, interagindo entre si, determina uma Característica do produto*” ou serviço: por exemplo “*as várias substâncias que misturadas em doses específicas (Característicos) determinam o odor de um perfume (Característica)*” (Paladini,1995, p.51). E qualquer produto apresenta dois tipos básicos de Característicos: os mensuráveis (como peso ou altura) e os que não são usualmente medidos mas apenas qualificados pelos sentidos (Paladini,1995, p.51-52). Na realidade os Característicos da Qualidade é que são avaliados: quando são mensuráveis numericamente, isto é de forma quantitativa, a Avaliação é dita desenvolver-se por Variáveis, e quando são considerados de forma qualitativa a Avaliação é dita desenvolver-se por Atributos.

A variabilidade natural, devida à aleatoriedade inerente à natureza, torna praticamente impossível a produção de dois produtos ou serviços idênticos. Se essa variabilidade for pequena, ou seja não causa impacto perceptível para o consumidor, é tolerável, caso contrário será indesejável ou mesmo inaceitável (Montgomery,1997). As fontes da variabilidade podem ser controláveis, como qualidade da matéria-prima, ajuste de máquinas, métodos utilizados, habilidade dos operadores, e outros, ou incontroláveis, devidas à causas aleatórias. Como a

¹ Uma definição formal de Avaliação da Qualidade, e por que deve ser realizada, será apresentada posteriormente neste capítulo.

variabilidade somente pode ser descrita em termos estatísticos são necessários Métodos Estatísticos para auxiliar na melhoria na Qualidade (Deming,1990).

Os Característicos da Qualidade são geralmente avaliados em relação às Especificações, medidas desejáveis para seus valores, que costumam incluir um valor nominal, um limite superior e um limite inferior aceitáveis. Produto Não Conforme é aquele que não atende uma ou mais das Especificações para um ou mais Característicos da Qualidade. Não Conformidade é um tipo específico de falha, de diferença entre o especificado e o observado no produto. Produto Defeituoso apresenta um ou mais Defeitos, que são Não Conformidades que afetam significativamente a segurança ou uso do produto.

2.2.1.2 – Filosofias da Qualidade

Embora os Métodos Estatísticos cumpram um importante papel na melhoria da Qualidade, eles devem ser usados como “parte de um sistema de gerenciamento direcionado para a obtenção e melhoria da Qualidade em todos os aspectos do negócio” (Montgomery,1997), ou seja o Gerenciamento Total da Qualidade (Total Quality Management). Há várias filosofias propostas para este Gerenciamento, todas enfatizando a importância da Qualidade como arma competitiva e a importância do papel da Administração na implantação e gerenciamento da Qualidade.

William Edwards Deming formulou uma das mais interessantes abordagens para o gerenciamento da Qualidade. Deming foi discípulo de Walther Shewhart², e após trabalhar no Departamento de Guerra e de Censo dos Estados Unidos foi consultor de muitas empresas japonesas. Deming convenceu os altos dirigentes japoneses do poder dos Métodos Estatísticos e também da importância da Qualidade para aumentar a competitividade de seus produtos. O

² Walther Shewhart desenvolveu as primeiras técnicas de CEP, os primeiros Gráficos de Controle, quando trabalhava nos Bell Laboratories na década de 20 do século XX.

resultado deste comprometimento da indústria japonesa com a Qualidade é sobejamente conhecido. Deming acreditava que a responsabilidade primária pela Qualidade reside na administração da organização: *“a maioria das oportunidades para melhorar a Qualidade requerem decisivas ações administrativas”* (Deming,1990). De acordo com essa fundamentação Deming enunciou seus famosos 14 pontos, onde são enfatizados a importância da mudança do foco administrativo para a melhoria da Qualidade, do papel da administração na condução desta mudança, envolvendo-se de fato, e da importância de um enfoque sistêmico para a organização. Para definir o que deve ser mudado, e como deve ser mudado, usam-se Métodos Estatísticos, de forma intensiva, para coletar dados sobre o processo e observar a reação do sistema às mudanças.

Joseph Juran é outro dos principais pioneiros da Qualidade. Como Deming ele também trabalhou sob a supervisão de Walther Shewhart, mas não propõe a mesma ênfase em Métodos Estatísticos. Juran é o autor da definição de que *“Qualidade é adequação ao uso”* (Juran et al.,1979), e de que a sua obtenção é resultado do gerenciamento da organização para a mudança. Um ponto comum entre a sua obra e a de Deming é o reconhecimento de que a maioria das oportunidades surgidas para melhorar a Qualidade requerem ações decisivas da administração para serem aproveitadas.

Armand Feigenbaum (Feigenbaum,1983) introduziu o conceito de que o Controle da Qualidade deveria ser de responsabilidade de toda a organização (Controle Total da Qualidade) e não apenas de um departamento específico. Da mesma forma que Juran, Feigenbaum tem uma maior preocupação com a estrutura organizacional necessária para melhorar a Qualidade do que com a aplicação intensiva de Métodos Estatísticos. A abordagem do Controle Total da Qualidade levou ao Gerenciamento Total da Qualidade (Total Quality Management – TQM).

O TQM seria a “*arte de gerenciar toda a organização para atingir a excelência*” (Besterfield et al., 1995), em que o CEQ seria apenas um integrante de um sistema mais amplo. A adoção do TQM exige uma mudança de mentalidade (Besterfield et al., 1995): do produto para o cliente, do curto para o longo prazo, de detecção para prevenção de defeitos, de operações para o sistema como um todo, da Qualidade como responsabilidade de um grupo ou departamento para responsabilidade de todos. Uma das ferramentas mais interessantes do TQM é o desdobramento da função da Qualidade (Quality Function Deployment – QFD), uma ferramenta de planejamento que objetiva traduzir as expectativas dos clientes em requisitos que para as características de um produto ou processo (Besterfield et al., 1995), em outras palavras o projeto concentrado nas expectativas do cliente. É ponto pacífico que o TQM exige um eficiente trabalho em equipe e total comprometimento da alta administração para funcionar.

Uma das abordagens mais interessantes sobre a Qualidade foi apresentada por Taguchi (Taguchi et al., 1989). A abordagem preconiza que produtos e processos devem ser projetados de forma a serem robustos em relação às fontes externas de variabilidade, através da utilização de técnicas de Planejamento Estatístico de Experimentos (durante o projeto por parâmetros e por tolerâncias). Taguchi propõe que os esforços para reduzir a variabilidade devem visar a operação no alvo (produtos com características o mais próximas possíveis dos valores nominais de Especificação), ao invés de simplesmente atender às Especificações (entre os valores superior e inferior). A razão para tal procedimento é a constatação de que qualquer produto produzido fora do seu valor nominal causará uma perda não só para a organização, mas também para a sociedade em que tal organização está inserida. Taguchi introduziu uma função quadrática para calcular a perda causada pelos desvios. Não obstante, há ainda controvérsias sobre a sua abordagem para o Planejamento Estatístico de

Experimentos e a análise dos dados (Montgomery,1997).

Embora existam diferenças entre as filosofias, há praticamente uma unanimidade em relação a um ponto: a responsabilidade pela obtenção, manutenção e melhoria da Qualidade é de todos os indivíduos da organização. Essa diretriz precisa ser enfatizada durante qualquer processo de ensino/instrução relacionado à Qualidade.

2.2.1.3 – Padrões ISO 9000 e ISO 14000

Apesar de não se constituírem exatamente filosofias ou escolas da Qualidade, o conjunto de padrões ISO9000 e ISO14000 vêm causando tamanho efeito nas práticas de gerenciamento que merecem fazer parte deste tópico.

Os padrões ISO9000 proporcionam diretrizes para um sistema da Qualidade, e representam o denominador comum aceito internacionalmente como sinônimo da Qualidade. Um certificado ISO9000 demonstra a Capabilidade de um fornecedor em controlar os processos que determinam a aceitação do produto ou serviço ofertado (Thornton,1999)(Rabbitt e Bergh,1994). Dos vários padrões os mais importantes são o ISO9001 (que envolve 20 elementos, desde o projeto, produção, instalação e serviço pós-venda), e o ISO9002 (que envolve 18 dos 20 itens do ISO9001, excluindo as etapas de projeto e serviço pós-venda) (Besterfield et al.,1995).

Dos 20 elementos da série de padrões ISO9000 há um que se relaciona diretamente com este trabalho: *técnicas estatísticas*. Devem ser usadas sempre que apropriadas e práticas para o controle e melhoria da Qualidade. Como já foi afirmado anteriormente (ver seção 1.1, p.21), os padrões não exigem a adoção de Controle Estatístico da Qualidade, e isso talvez explique porque muitas empresas certificadas não empregam sequer Gráficos de Controle.

Embora os próprios envolvidos na certificação afirmem que os certificados por si sós não criam satisfação do cliente, mas constituem um fundamento para obtê-la (Rabbitt e Bergh,1994), a obtenção de um certificado ISO9000 tornou-se uma questão de sobrevivência para muitas empresas. Há outros (Lamprecht, 1992) que são ainda mais taxativos, declarando que os certificados ISO não garantem um produto de Qualidade, apenas que há um conjunto de documentos atestando as práticas da Qualidade da organização.

Não obstante, a busca por certificados ISO9000 populariza-se no mercado internacional, em detrimento da prática do TQM. Os governos de Hong-Kong, Malásia, Cingapura e China estão incentivando as empresas instaladas em seus territórios a obterem a certificação (Zhu e Schuermann,1999). Empresas multinacionais como Exxon, DuPont, Volkswagen, Sandoz e Kodak estão implantando práticas da Qualidade em suas unidades visando a certificação, os ministérios da defesa da Grã-Bretanha e Cingapura e departamentos do governo dos EUA já estão requerendo que seus fornecedores mais importantes tenham ISO9000 (Rao et al.,1997), para alguns países a exigência está se tornando uma barreira não alfandegária à entrada de seus produtos. No Brasil a tendência não é diferente, de metalúrgicas à empresas de transportes de passageiros estão buscando a certificação.

Apesar da controvérsia, um estudo empírico realizado em quatro países bastante diferentes (EUA, México, Índia e China), com empresas certificadas, empresas que pretendem fazê-lo e outras não interessadas, revelou que as que haviam obtido o certificado ISO9000 (e implantado o sistema da Qualidade preconizado pelos padrões) obtiveram melhores resultados na Qualidade e dispõem de melhores práticas de gerenciamento da Qualidade do que as demais (Rao et al.,1997).

Já os padrões ISO14000 relacionam-se com aspectos ambientais, que estão se

tornando bastante importantes atualmente, com o aumento da conscientização do público em geral a respeito. Além dos impactos sócio-econômicos, as atividades de qualquer empresa, especialmente no setor de manufatura, têm um impacto no ambiente, e como as leis sobre o assunto estão ficando cada vez mais restritivas, nenhuma empresa pode se dar ao luxo de desprezar tais impactos. Os padrões ISO14000 fornecem ferramentas e sistemas para o gerenciamento das diversas obrigações ambientais e a avaliação de produtos, sem prescrever os objetivos que a organização deve atingir. Os integrantes dos padrões dividem-se entre aqueles que fornecem diretrizes para avaliar a organização (Sistema de Gerenciamento Ambiental, Auditoria Ambiental, Avaliação do Desempenho Ambiental), e para avaliar o produto (aspectos ambientais nos padrões dos produtos, rotulagem ambiental e verificação do ciclo de vida) (Cascio et al., 1996). Muitas empresas, inclusive no Brasil, já obtiveram ou estão procurando obter um certificado ISO14000, e alguns analistas afirmam que qualquer organização procurando reconhecimento no futuro verá a obtenção da certificação como modo de provar sua competência (Thornton,1999).

Devido ao efeito que a busca destes certificados, ou a existência prévia deles, venha a causar nas organizações, noções sobre os padrões ISO9000 e ISO14000 talvez devam fazer parte de qualquer processo de ensino/instrução relacionado à Qualidade.

2.2.2 – Avaliação da Qualidade

O Controle da Qualidade faz parte da Avaliação da Qualidade, que é algo muito mais abrangente. Segundo Paladini (1995) o Controle da Qualidade consiste na comparação dos resultados obtidos com os padrões ou objetivos pré-fixados. Besterfield (1990) considera Controle da Qualidade o uso de técnicas e atividades para atingir, manter e melhorar a Qualidade de um produto ou serviço. Juran (et al.,1979) considera o Controle da Qualidade um processo regulatório através do qual se mede a Qualidade real, compara-se essa Qualidade

com os padrões e age-se nas diferenças. De acordo com essa última definição o Controle da Qualidade envolve o CEQ além de muitos outros aspectos, tais como o acompanhamento nas tendências do mercado e a mensuração econômica dos benefícios auferidos.

Originalmente a Avaliação da Qualidade era feita apenas sobre o produto acabado. Basicamente aplicavam-se técnicas de Aceitação por Amostragem (ainda utilizadas atualmente), e dependendo dos resultados mantinha-se o processo inalterado ou realizavam-se mudanças. Os inconvenientes dessa abordagem são claros: atua-se apenas após a ocorrência do defeito (sendo consideravelmente difícil saber onde ele ocorreu), e corre-se o risco de obter perdas elevadas (com lotes de produtos devolvidos pelo consumidor, ou que necessitam de retrabalhos). Percebendo os problemas que esta abordagem causava, passou-se a fazer a Avaliação da Qualidade no processo (usando técnicas de Controle Estatístico de Processos), possibilitando um acompanhamento mais efetivo e a rápida correção de eventuais desvios, reduzindo as perdas e melhorando a Qualidade. É importante também enfatizar, embora pareça óbvio, que todos os indivíduos da organização são responsáveis pela Avaliação da Qualidade.

Por que é necessário realizar a Avaliação da Qualidade? De acordo com Paladini (1997), a própria importância da Qualidade para a sobrevivência da organização requer que se acompanhe, com cuidado, todo o seu processo de produção. Outro motivo seria o grande número de fatores que interferem na Qualidade, o que exige uma análise permanente do processo para manter os níveis desejados, e possibilitar a sua melhoria. A necessidade da Avaliação da Qualidade precisa ser decisivamente enfatizada em qualquer processo de ensino/instrução relacionado à Qualidade, especialmente CEQ.

Para realizar a Avaliação da Qualidade é preciso relembrar a terminologia apresentada

anteriormente. A Avaliação é feita nos Característicos da Qualidade (os aspectos elementares de um produto ou serviço que são as células do seu conceito da Qualidade), por Variáveis (quando medições numéricas são possíveis), ou por Atributos (quando apenas avaliações qualitativas são viáveis) (Paladini,1990):

- Avaliação por Variáveis: a variação da Qualidade pode ser medida quantitativamente, usando uma escala contínua; tipicamente a realização de testes para dimensões básicas dos produtos, determinação de Capabilidade de conduzir ou isolar correntes elétricas ou calor, medidas de propriedades físicas; requer instrumentos para sua realização, equipamentos para calibrá-los, e obviamente treinamento dos indivíduos que irão operá-los; costuma apresentar informações mais detalhadas sobre o Característico da Qualidade do que a Avaliação por Atributos.

- Avaliação por Atributos: a variação da Qualidade é observada de forma qualitativa, sendo comum a utilização de uma classificação para o Característico da Qualidade (usualmente uma classificação binária do tipo “defeituoso”, “não defeituoso”); tipicamente controle de cores, tonalidades, presença de rachaduras, testes com calibradores do tipo “passa - não passa”; geralmente apresenta um fator subjetivo na tomada de decisão (depende fortemente de quem a executa); não necessariamente indica a intensidade do defeito, apenas a sua existência ou não (os gráficos baseado no número de defeitos, c e u, ver seção 2.3.1.1 mais adiante, possibilitam ter uma idéia da intensidade do problema: maior número de defeitos, problema mais grave).

A Avaliação por Variáveis costuma exigir maior investimento inicial (instrumentação e treinamento), mas proporciona informações mais detalhadas, enquanto a por Atributos é mais simples de ser executada, porém exige maiores amostras para obter a mesma confiabilidade de um procedimento semelhante por Variáveis.

A Avaliação por Atributos deve ser adotada quando (Paladini,1990):

- Há um grande número de Característicos a controlar;
- Impossibilidade ou inconveniência de medir o Característico;
- Mensuração antieconômica devido ao baixo custo ou pequena importância da peça;
- Suficiência da inspeção baseada nos sentidos;
- Alta frequência da produção.

Já a Avaliação por Variáveis deve ser empregada quando:

- Pequeno número de Característicos a controlar;
- Característico da Qualidade é vital para a Qualidade do produto;
- Necessário associar medidas que conduzam ao controle das especificações do Característico.

Durante qualquer processo de ensino/instrução de CEQ as diferenças, vantagens e desvantagens da Avaliação por Variáveis e por Atributos precisam ser claramente apresentadas, e entendidas por aqueles submetidos ao treinamento, de modo que eles saibam quando aplicar uma ou outra ao processo, sob pena de comprometer seriamente seu desempenho futuro.

2.3 – Controle Estatístico da Qualidade - Conceitos

Conforme dito anteriormente o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) é um dos ramos do Controle da Qualidade. *“CEQ seria uma forma (ou talvez um procedimento) de estudo das características de um processo (Qualidade), com o auxílio de números - dados (Estatístico) de maneira a fazê-lo comportar-se da forma desejada (Controle)”* (Western Electric,1956). Um processo seria qualquer conjunto de condições (ou causas) que trabalham conjuntamente para produzir um certo resultado. O CEQ procura monitorar o processo e agir

sobre ele de maneira que o seu resultado contribua para atingir os padrões necessários previstos de “adequação ao uso”.

“O objetivo primário do CEQ é a redução sistemática da variabilidade nas características chave para a qualidade do produto” (Montgomery,1997), ou mais especificamente nos Característicos da Qualidade mais importantes.

Alguns autores (Woodall e Montgomery,1999) definem o CEQ como um ramo da Estatística Industrial, compondo-se basicamente dos seguintes itens: Inspeção (Aceitação por Amostragem³, Controle Estatístico de Processos - CEP (Statistical Process Control – SPC), Planejamento de Experimentos (Design of Experiments – DOE) e Estudo de Capabilidade de Processos. Cada um desses itens será descrito nas próximas seções.

2.3.1 – Controle Estatístico de Processos

O Controle Estatístico de Processos (CEP) envolve basicamente o desenvolvimento e interpretação dos resultados de Gráficos de Controle de processos e a utilização de técnicas para identificação de causas de problemas e oportunidades de melhoria da Qualidade. Os objetivos destas técnicas poderiam ser resumidos em: *“auxiliar na obtenção dos padrões especificados de qualidade e reduzir a variabilidade em torno destes padrões especificados”* (StatSoft,1995). É importante ressaltar que o CEP permite a monitoração contínua do processo, possibilitando uma ação imediata assim que um problema for detectado, encaixando-se dentro da filosofia que preconiza a construção da Qualidade dentro do processo e a prevenção de problemas. Essas características são de extrema importância, e precisam ser enfatizadas em qualquer processo de ensino/instrução de CEP.

³ É importante lembrar que a Inspeção por Amostragem não proporciona nenhum controle DIRETO da Qualidade do produto. Deve ser encarada apenas como uma ferramenta de auditoria para verificar se o processo está de acordo com os requisitos (Montgomery,1997).

O CEP justifica-se pela existência e pela necessidade de avaliar a Variabilidade (para obter, manter ou melhorar o nível da Qualidade). Sempre que houver uma série de observações ou medidas obtidas de um processo tais medidas não serão idênticas entre si. Haverá uma variação, produzindo um padrão flutuante: NENHUM processo por maior que seja a sua “Qualidade” poderá extinguir totalmente esta variabilidade. Contudo:

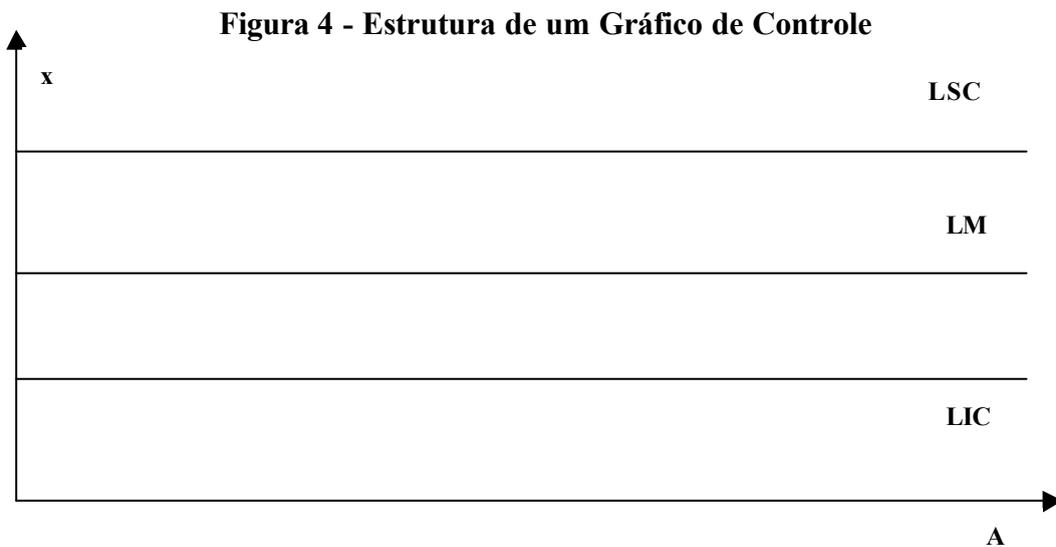
“se nada perturbar o processo essa flutuação nas medidas permanecerá dentro de limites matemáticos definidos. Se a série for suficientemente grande as medidas tenderão a formar uma distribuição previsível, permitindo que seja possível antecipar qual será a variabilidade do processo, e portanto avaliar sua qualidade” (Western Electric,1956).

Esse conceito de Variabilidade é absolutamente crucial para a compreensão de todas as técnicas não só de CEP, mas também de qualquer Método Estatístico, e não são raros os casos em que as pessoas que aplicam as técnicas de CEP não dispõem de uma clara idéia a respeito.

2.3.1.1 – Gráficos de Controle

Os Gráficos de Controle são as técnicas de Controle Estatístico de Processos mais conhecidas e utilizadas, embora nem sempre de forma adequada. Tratam-se de comparações gráficas da performance do processo (medida por algum Característico da Qualidade, como média de uma medida, número de defeituosos, e outros) com determinados limites de controle, verificando se os pontos do gráfico distribuem-se segundo padrões aleatórios (naturais). Caso isso aconteça, o processo sob análise está sob Controle Estatístico: somente Causas Comuns, devidas ao próprio sistema do processo estão atuando, a distribuição de probabilidade que está gerando os dados tem valores fixos para seus momentos. Se houver pontos além dos limites, ou padrões não aleatórios forem identificados, a Variabilidade do processo **pode não estar** se comportando mais de forma aleatória, em outras palavras, há motivo para alarme. Uma investigação imediata deve ser realizada, para verificar se tal alarme

deve-se realmente a Causas Especiais de variação: em caso positivo, algo precisa ser feito para retornar o processo à condição desejada (Juran et al.,1979). A plotagem dos dados dos Característicos da Qualidade deve ser feita de forma cronológica (ou em função do número da amostra), para que seja possível identificar, no tempo, quais as causas da variação não aleatória. O conceito de Processo sob Controle Estatístico (ou fora de Controle Estatístico) é tão importante quanto o de Variabilidade, e torna-se extremamente importante ressaltar que os critérios para a identificação de problemas compreendem a existência de padrões não aleatórios, os quais incluem, entre outros, a existência de pontos fora dos limites de controle. A maioria dos processos de ensino/instrução estabelecem como *único* critério a existência de pontos fora dos limites de controle, o que é fonte de muitas aplicações equivocadas do Controle Estatístico de Processos, e mesmo o descrédito de algumas pessoas pela técnica. Um exemplo de Gráfico de Controle é apresentado a seguir (Paladini,1990):



LSC – Limite Superior de Controle

LIC – Limite Inferior de Controle

LM – Linha Média

x – Valor observado do Característico

A – número da amostra

Independente do tipo de Gráfico de Controle algumas suposições precisam ser satisfeitas pelos dados para permitir a sua utilização, e portanto que seus resultados sejam válidos. São elas (Alwan & Roberts,1995):

- que as observações sejam independentes e identicamente distribuídas (a suposição IID), ou seja que as amostras sejam retiradas de forma aleatória e que o processo que as gerou esteja sob Controle Estatístico;
- que as observações (ou em alguns casos apenas as médias das amostras destas observações) sigam alguma distribuição de probabilidades específica, tais como a normal, binomial ou Poisson.

Sobre estas duas suposições repousa toda a essência dos Gráficos de Controle: os limites de controle calculados, e as regras para identificação de padrões não aleatórios PRESSUPÕEM que essas condições são satisfeitas, assim, caso isso não se verifique o valor de um desses Gráficos seria no mínimo questionável. É importante fazer duas reflexões acerca das suposições acima.

Caso a suposição de independência não seja satisfeita, haja autocorrelação nos dados por exemplo, torna-se necessário utilizar outros tipos de técnicas. Montgomery (1997, p.374) discute várias formas de lidar com estes problemas, sugerindo ajustar ao processo um modelo de séries temporais ARIMA (Média Móvel Autoregressiva Integrada), e aplicar os Gráficos de Controle “usuais” aos resíduos obtidos. Atienza e outros (et al, 1997), Faltin e outros (et al, 1997) também preconizam a utilização de modelos de séries temporais para tal problema. Uma aplicação destes modelos foi feita por Lago Neto (1999) em uma empresa brasileira.

Quanto à suposição sobre a distribuição seguida pelos dados há muita controvérsia. Quando desenvolveu os Gráficos de Controle, W.A. Shewhart (Shewhart⁴ apud Wheeler, 1995, p.115) definiu que os limites de controle deveriam ficar a três desvios padrões da linha central do gráfico (ver Figura 4), o que incluiria praticamente todos os dados (os que

⁴ SHEWHART, W.A. Economic Control of Quality of Manufactured Product. Princeton, NJ: D. Van-Nostrand Reinhold, 1931.

estivessem além dos limites indicariam a presença de problemas, merecendo investigação). Shewhart fixou o valor em três com base em sua experiência prática. Muitos praticantes de CEP afirmam que somente quando for possível aproximar a distribuição dos pontos no gráfico por uma distribuição normal tal regra dos três desvios será válida. Mas, Wheeler (1995, p.122) declara textualmente: *“independentemente da distribuição da estatística amostral, virtualmente todos os valores irão estar dentro dos limites de três desvios padrões, sempre que o processo estiver sob controle estatístico”*. O problema reside em como calcular o valor do desvio padrão: neste ponto é que a suposição sobre a distribuição terá que ser satisfeita para que os valores dos limites sejam consistentes.

É extremamente comum a menção rápida e casual (ou mesmo a total omissão) das suposições, citadas nos parágrafos anteriores, durante os processos de ensino/instrução de CEP, o que pode explicar em parte o grande número de violações de tais suposições em situações reais, com todos os problemas associados.

Um outro aspecto extremamente importante é o correto delineamento do Gráfico de Controle: seleção do tamanho da amostra (que pode ser uniforme ou não), frequência da amostragem, cálculo dos limites de controle, e outros aspectos. Algumas vezes os instrutores apresentam *“receitas de bolo”* que são utilizadas de maneira indiscriminada, sem levar em conta as características individuais de cada processo, que devem ser os aspectos determinantes para o delineamento. O processo de ensino/instrução de CEP precisa enfatizar isso.

A descrição pormenorizada dos diferentes tipos de Gráficos de Controle podem ser encontradas em referências, como os textos de Montgomery (1997), Grant e Leavenworth (1988), Juran (1979), Duncan (1986). Serão apresentadas apenas as principais características de cada tipo, e a importância de escolher o mais adequado para o processo sob análise.

Os tipos de Gráficos frequentemente são classificados de acordo com a forma como os Característicos da Qualidade são avaliados: por Variáveis ou por Atributos. Além disso, há uma outra distinção entre os Gráficos de Controle que foram introduzidos por Shewhart, e os apresentados por outros autores posteriormente.

Os Gráficos de Controle de Shewhart para Variáveis são (StatSoft,1995) (Montgomery,1997) (Grant e Leavenworth,1980):

- Gráfico \bar{X} , Gráfico de Média: neste Gráfico as médias do Característico da Qualidade nas amostras são plotadas de maneira a controlar o valor médio de um Característico da Qualidade (por exemplo, tamanho de anéis de pistões, resistência de materiais); supõe-se que as medidas do Característico (ou as médias amostrais dessas medidas) seguem uma distribuição Normal, e que as amostras tenham pelo menos 5 elementos⁵ (essas informações são muito importantes e precisam ser enfatizadas em qualquer processo de ensino/treinamento).

- Gráfico R, Gráfico de Intervalo: neste Gráfico os intervalos do Característico da Qualidade de cada amostra (diferença entre o maior e o menor valor da amostra) são plotados de maneira a controlar a variabilidade do Característico da Qualidade; usualmente o Gráfico R é elaborado conjuntamente com o Gráfico \bar{X} para permitir um melhor acompanhamento do Característico; por ser simples de elaborar, o Gráfico R tornou-se muito popular, mas em alguns casos não será o mais indicado para descrever a variabilidade do Característico; as mesmas suposições necessárias para o Gráfico \bar{X} também precisam ser satisfeitas.

- Gráfico S, Gráfico de Desvio Padrão: neste Gráfico os desvios padrões do Característico da Qualidade nas amostras são plotados de maneira a controlar a variabilidade do Característico da Qualidade; o desvio padrão é uma medida de variabilidade melhor do que o intervalo⁶, mas é considerado mais “difícil” de calcular (principalmente pelo pessoal de piso de fábrica),

⁵ Embora tradicionalmente seja recomendada a utilização de amostras com 4 ou 5 elementos.

⁶ Produz uma estimativa do desvio padrão do processo melhor do que a gerada pelo intervalo.

sendo por isso preterido⁷; pode-se ao invés dos desvios padrões plotarem-se as variâncias; também supõe-se que os dados originais do Característico seguem uma distribuição normal.

Os Gráficos de Controle de Shewhart para Atributos (StatSoft,1995) (Montgomery,1997) (Grant e Leavenworth,1980):

- Gráfico c: neste Gráfico são plotados os números totais de não conformidades (defeitos⁸) em cada amostra, ou unidade de inspeção; este Gráfico assume que os defeitos são *raros*, ou seja distribuem-se de acordo com a distribuição de Poisson (distribuição de eventos raros); as amostras precisam ter obrigatoriamente o mesmo tamanho.
- Gráfico u neste Gráfico são plotadas as taxas de defeitos, ou seja o número de defeitos dividido pelo número de unidades inspecionadas; supõe-se que os defeitos distribuem-se de acordo com a distribuição de Poisson, mas não há necessidade de que as amostras, ou unidades de inspeção, tenham o mesmo número de elementos.
- Gráfico np: neste Gráfico são plotados os números de itens da amostra que foram classificados como defeituoso⁹; supõe-se que os dados seguem uma distribuição binomial, ou seja a ocorrência de defeitos *não é um evento raro* (por exemplo ocorre em mais de 5% das unidades inspecionadas, fazendo com que a aproximação pela distribuição de Poisson não seja mais válida).
- Gráfico p: neste Gráfico são plotados as frações de itens defeituosos da amostra (número de itens defeituosos dividido pelo número total de itens da amostra); supõe-se que os dados seguem uma distribuição binomial, novamente a ocorrência de defeitos não é um evento raro.

Há também Gráficos de Controle para medidas individuais, que devem ser usadas em algumas situações especiais (inspeção automatizada de todas as unidades produzidas,

⁷ Este argumento não tem mais sentido atualmente, devido à disponibilidade de diversos programas computacionais para a realização dos cálculos necessários.

⁸ Riscos, pingos de tinta, bolhas de ar em um piso cerâmico, por exemplo.

⁹ A conjugação de riscos, pingos de tinta e bolhas de ar em um piso cerâmico fez com que fosse considerado defeituoso.

processos onde a taxa de produção é muito lenta, diferenças de uma medida para outra devidas apenas a erros de análise/laboratório, como processos químicos). Associados a estes gráficos de medidas individuais estão gráficos de intervalos móveis (MR – Moving Ranges), que possibilitam monitorar a variabilidade do processo (Montgomery,1997).

Os Gráficos de Controle sugeridos por Shewhart são largamente utilizados para a Avaliação da Qualidade de produtos industriais, e não obstante eventuais problemas têm obtido comprovado sucesso durante 70 anos. Contudo, algumas observações precisam ser feitas:

- se ao plotar os dados de qualquer um desses Gráficos forem encontradas evidências de Autocorrelação entre os dados, uma das suposições de uso (a suposição IID) foi violada, exigindo que a análise seja feita com a utilização de técnicas de Séries Temporais, conforme visto anteriormente (Montgomery,1997).

- a interpretação dos Gráficos de Controle consiste basicamente no Reconhecimento de Padrões Não Aleatórios na disposição dos pontos; uma descrição pormenorizada dos diferentes padrões, e das regras utilizadas para sua identificação, pode ser encontrada em Western Electric (1956); atualmente o Reconhecimento de Padrões em Gráficos de Controle é muitas vezes realizado de forma automática, através de programas computacionais implementados com técnicas de Inteligência Artificial (como por exemplo Redes Neurais) (Balestrassi,2000).

- usualmente os Gráficos de Controle de Shewhart costumam ser pouco sensíveis a pequenos desvios no processo, porque utilizam informação apenas do último ponto plotado, ao invés de toda a seqüência de pontos (Montgomery,1997).

Em um processo de ensino/instrução é *imprescindível* que tais alertas sejam feitos, para evitar a concepção errônea de que os Gráficos de Shewhart são uma panacéia capaz de

resolver todo e qualquer problema.

Além dos Gráficos de Shewhart há outros, informalmente classificados como “Avançados” (devido aos procedimentos mais sofisticados para sua construção) que são especialmente úteis quando há interesse em avaliar pequenos desvios no processo. Especialmente interessantes são as descrições apresentadas por Montgomery (1997).

O Gráfico CUSUM, Gráfico de Soma Cumulativa, foi introduzido em meados do século passado e, subsequentemente, estudado por vários autores (Hawkins e Olwell, 1998). Ao plotar a soma cumulativa dos desvios das médias do Característico da Qualidade, em relação a uma especificação alvo, em sucessivas amostras, as mudanças permanentes na média do processo, mesmo os menores desvios, levarão a um valor mensurável para a soma cumulativa dos desvios. Isso permite a detecção de pequenos desvios que passaram despercebidos pelo Gráfico \bar{X} de Shewhart. Por exemplo, se devido ao desgaste das máquinas um processo sai suavemente fora de controle, produzindo resultados abaixo ou acima das especificações alvo, o Gráfico CUSUM mostraria um aumento ou decréscimo constante na soma cumulativa de desvios da especificação. É bastante comum o uso do Gráfico CUSUM para medidas individuais.

O Gráfico MA, Gráfico de Média Móvel (Moving Average), é uma outra alternativa para a detecção de pequenos desvios no processo. Consiste em atribuir um esquema de ponderação (usar uma média ponderada, ou mesmo uma média simples) das médias do Característico da Qualidade em amostras sucessivas. Movendo essa média ao longo das várias amostras produzir-se-á um Gráfico de Média Móvel.

O Gráfico EWMA, Gráfico de Média Móvel Exponencialmente Ponderada

(Exponentially Weighted Moving Average), é uma generalização do Gráfico MA, onde a média ponderada utilizada acarreta a diminuição progressiva do peso dos resultados das amostras “antigas” à medida que novas amostras do processo são retiradas.

Além dos Gráficos citados anteriormente existem muitos outros, como por exemplo o Gráfico de Regressão, o Gráfico Multivariado de Hotelling (para quando há vários Característicos de Qualidade relacionados), entre outros.

Um processo de ensino/instrução adequado deve apresentar *cada* Gráfico de Controle, indicando suas características e a melhor forma de utilizá-los, além dos procedimentos necessários para a sua construção.

2.3.1.2 – Outras Ferramentas do Controle Estatístico de Processos

Os Gráficos de Controle e o Estudo da Capabilidade do processo costumam apresentar resultados mais efetivos quando usados em conjunto com outras ferramentas em um programa integrado de melhoria da Qualidade. Essas outras ferramentas possibilitam identificar oportunidades de melhoria e assim auxiliar na redução da variabilidade e do desperdício (Montgomery,1997).

As principais ferramentas são:

- Histograma e Ramo-e-folhas: tratam-se de duas representações gráficas das medidas de uma variável quantitativa (portanto podem ser aplicados para um Característico da Qualidade avaliado por Variáveis); o Ramo-e-folhas trata-se de uma ferramenta exploratória útil para descrever a variabilidade de conjuntos de dados, as observações são ordenadas crescentemente e “divididas” em duas partes para facilitar sua descrição (Parte inteira | parte decimal ou Centena | dezena unidade decimais); o Histograma, é um gráfico de barras justapostas, em que as áreas das barras são proporcionais às frequências de cada valor,

possibilitando um diagnóstico da forma, tendência central e dispersão dos dados (o que pode ser especialmente importante para tentar identificar qual é a distribuição de probabilidades seguida pelos dados¹⁰ (Barbetta,2001)(Montgomery,1997).

- Diagrama de Verificação: diagrama onde são registradas todas as informações relevantes sobre dados históricos ou atuais de um processo sob investigação, especialmente nos estágios iniciais de implantação do CEP; registram-se quais defeitos ocorreram, quantas vezes, em que data, entre outros aspectos, posteriormente essas anotações podem ser analisadas para identificar as causas de uma performance deficiente do processo.
- Gráfico de Pareto: trata-se de uma distribuição de frequências ou um histograma de atributos organizados por categoria; plota-se a frequência do número de defeitos pelo tipo de defeito, possibilitando a rápida identificação dos defeitos mais comuns (e a subsequente busca e eliminação das causas), mas tal análise deve ser feita em conjunto com os custos que cada defeito causará (um defeito pouco freqüente pode ter efeitos financeiros consideráveis, e portanto merece atenção prioritária – “poucos essenciais e muitos triviais”).
- Diagrama de Causa e Efeito: diagrama no qual são descritas as prováveis causas de um defeito identificado e isolado; um grupo de pessoas familiarizadas com o processo deve elaborar o diagrama, enumerando as causas e “dissecando” cada uma delas em possíveis componentes, até que haja uma noção completa de todas os eventos que podem ter causado o problema. Também chamado de “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa (1990).
- Diagrama de Concentração de Defeitos: é uma representação visual da unidade sob análise, mostrando todas as suas vistas relevantes, onde os vários tipos de defeitos são desenhados, para determinar se o local dos defeitos permite inferir algo sobre suas causas.
- Diagrama de Dispersão: gráfico muito útil para identificar um relacionamento entre duas variáveis; dados relativos a duas variáveis são coletados aos pares e posteriormente plotados em um plano cartesiano na escala adequada, a forma do diagrama permite identificar se existe

¹⁰ O que pode ser muito útil para verificar se as suposições para utilização dos Gráficos de Controle foram satisfeitas.

relacionamento entre as variáveis e qual é a sua natureza.

- Fluxograma: mostra o fluxo do produto/serviço à medida que ele se move através do processo produtivo, permitindo visualizar o sistema inteiro, identificando problemas potenciais e localizando as atividades de controle (Besterfield, 1990).

2.3.2 – Estudos de Capabilidade do Processo

Segundo Montgomery (1997) a análise da Capabilidade do Processo envolve muitas técnicas estatísticas durante todo o ciclo produtivo, com atividades de desenvolvimento anteriores à fabricação, quantificação da variabilidade do processo, análise dessa variabilidade em relação às especificações do produto, auxiliando os técnicos responsáveis a eliminar ou reduzir substancialmente tal variabilidade.

A Capabilidade do Processo refere-se à uniformidade do processo, e a variabilidade do processo é uma medida da uniformidade do resultado obtido, que, por sua vez, permitirá avaliar a sua Qualidade: “qual é a capacidade do processo de produzir itens dentro das especificações”? Quando o analista pode observar diretamente o processo e controla/monitora a aquisição dos dados (conhecendo então a seqüência dos dados no tempo) ele pode fazer inferências sobre a estabilidade do processo ao longo do tempo.

Parte da variabilidade total do processo deve-se à causas naturais, aleatórias; outra parte, não natural, precisa ser eliminada, com o intuito de obter a verdadeira capacidade do processo, a “reprodutibilidade inerente” ao processo segundo Juran. O estudo de Capabilidade mostra o que está causando a variação não natural e o que pode ser feito para eliminá-la (Juran et al.,1979)(Western Electric,1956). A medição da Capabilidade dos processos pode ser feita de diversas maneiras (Montgomery,1997) (ASQC/AIAG,1992).

A forma mais geral seria por meio de um histograma, no qual a distribuição do Característico é avaliada, procurando obter a forma e os parâmetros da sua distribuição de probabilidades, podendo ser confrontada com as especificações, embora estas não sejam imprescindíveis para esta forma de realizar Estudo de Capabilidade (Montgomery,1997).

Outra maneira é através de *índices de capabilidade*. Há vários índices disponíveis, possivelmente os mais usados sejam o Cp e o Cpk. Sem entrar em grandes detalhes, basicamente calcula-se o quociente entre a amplitude permitida pelas especificações e a amplitude obtida pelo processo (Cp), após estimar o desvio padrão do processo, e, se necessário, faz-se uma correção (Cpk) se o processo não estiver centrado na média especificada. Supõe-se que as medidas do Característico obtidas para avaliar a Qualidade do processo seguem uma distribuição normal: assim o valor dos índices indicará qual o percentual de itens que se encontram dentro das especificações. O desvio padrão do processo pode ser estimado diretamente, medindo os produtos, ou através dos resultados de Gráficos de Controle.

Uma terceira maneira, especialmente aplicável quando a Avaliação é feita por Atributos, consiste simplesmente em comparar o valor médio do Característico com um valor limite, geralmente superior (um percentual máximo de itens defeituosos, por exemplo).

Além de avaliar os Característicos da Qualidade, podem ser realizados Estudos da Capabilidade do equipamento utilizado para mensurar os valores, aplicável quando a Avaliação for por Variáveis. Tais estudos são chamados de Estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade (Estudos R&R), e visam aferir se os instrumentos utilizados (Repetibilidade) estão calibrados adequadamente, e se as pessoas que estão efetuando as medições (Reprodutibilidade), se for o caso, estão treinados e sabem produzir as medidas.

Este tópico é extremamente importante, um sistema de medição pode estar distorcendo completamente o resultado obtido, aumentando ou diminuindo “artificialmente” a variabilidade do Característico, o que pode comprometer totalmente a avaliação do processo. Basicamente conduz-se o estudo levando os operadores a medirem os mesmos itens duas ou mais vezes, calcula-se a variabilidade total, e aquela devida exclusivamente às diferenças entre as medidas sucessivas e os operadores. Se a razão entre a variabilidade devida ao sistema de medição e a variabilidade total for maior do que um certo valor, considera-se que o sistema de medição não é capaz de fornecer resultados fidedignos. Provavelmente algum ajuste precisa ser feito nos instrumentos, ou mais treinamento dado aos operadores, ou ambos (Montgomery,1997) (Jordan,1999).

Entre os principais usos da análise da Capabilidade do Processo estão (Montgomery,1997):

- prever como o processo se manterá dentro das tolerâncias;
- auxiliar na seleção ou modificação do processo;
- auxiliar no estabelecimento de um intervalo entre as amostragens para o controle do processo;
- especificar requisitos de desempenho para novos equipamentos;
- auxiliar na escolha entre fornecedores;
- planejar a seqüência dos processos produtivos quando há interação entre estes processos e as tolerâncias;
- reduzir a variabilidade em um processo produtivo.
- aferir o sistema de obtenção de medidas da Qualidade.

Como ocorre com os Gráficos de Controle, o estudo da Capabilidade dos processos nem sempre é adequadamente compreendido, e portanto muitas vezes é incorretamente

aplicado. Usualmente o estudo é implementado utilizando os resultados dos Gráficos de Controle de média e amplitude (\bar{X} e R), e, como já foi dito anteriormente, se as condições para a aplicação de tais Gráficos não forem satisfeitas, os resultados do estudo de Capabilidade também serão errôneos (a *cegueira* de alguns instrutores e/ou de alguns usuários dos Gráficos de Controle levam a danos “propagados” consideráveis).

Outro problema reside no fato de que o estudo de Capabilidade *exige* que o processo esteja sob Controle Estatístico, para que seja possível avaliar qual é a variação causada pelas Causas Comuns, em um primeiro momento, e depois, já que o processo sob controle é previsível, determinar a proporção de itens que estão dentro das especificações (ASQC/AIAG,1992). É comum encontrar estudos de Capabilidade (principalmente feitos a partir de Gráficos de Controle) *sem* preocupações a esse respeito.

2.3.3 – Inspeção por Amostragem (Aceitação por Amostragem)

Durante muitos anos a Inspeção por Amostragem foi considerada sinônimo de Controle da Qualidade ou de Controle Estatístico da Qualidade. Na realidade a Inspeção por Amostragem, com a finalidade de decidir pela aceitação ou rejeição de lotes produzidos ou vendidos por um fornecedor, *não estima* a Qualidade dos lotes, apenas determina um curso de ação: os lote serão aceitos ou não. Se todos os lotes tiverem a mesma Qualidade um plano de Inspeção por Amostragem aceitará alguns e rejeitará outros, e os lotes aceitos não serão melhores do que os lotes rejeitados (Duncan,1986). A Inspeção por Amostragem pode ser feita por Atributos (o produto é considerado bom ou defeituoso), ou por Variáveis (o produto é avaliado através de uma escala de medida).

O efeito da Inspeção por Amostragem na melhoria da Qualidade costuma ser indireto. Um fornecedor que tem seus produtos rejeitados com frequência pode investigar as causas de

tais problemas, e melhorar a Qualidade de seus produtos para evitar a perda de um cliente (ou esta mesma constatação pode levar à busca de um melhor fornecedor). Se um programa de Inspeção por Amostragem for implementado nos vários níveis do processo produtivo, ao invés apenas de no final, os custos de retrabalho e refugo poderão ser reduzidos, porque os problemas serão corretamente identificados, podendo contribuir para incrementar a mentalidade de “faça certo da primeira vez” (Duncan,1986), (Montgomery,1997), ou mesmo “faça *melhor* a cada vez” (Xie e Goh, 1999).

A Inspeção por Amostragem deve ser empregada quando o custo da inspeção total for muito elevado, quando a inspeção total for inviável tecnologicamente ou tomar um tempo excessivo, e logicamente no caso dos testes destrutivos.

Como pontos positivos da Inspeção por Amostragem, em comparação com a inspeção total, além da economia e necessidade de uso em testes destrutivos, podem ser citados:

- a menor manipulação de produtos, reduzindo o risco de danos por acidente no manuseio;
- uma menor quantidade de pessoas envolvidas no processo;
- o erro de inspeção muitas vezes é substancialmente menor do que o da inspeção total;
- a rejeição de lotes inteiros costuma ter um efeito psicológico considerável sobre quem os produziu, levando-os a melhorar a qualidade de seus produtos com maior afinco (esta constatação também é válida para a inspeção total).

Para que a Inspeção por Amostragem tenha bons resultados, supõe-se que os inspetores seguirão fielmente o plano de amostragem estabelecido e que não haverá erros na classificação dos produtos ou na medição das variáveis (Juran et al.,1979). Para que seja possível fazer previsões probabilísticas sobre a Qualidade a partir da amostra (e inclusive calcular a probabilidade de aceitar um lote ruim, e mesmo determinar o tamanho da amostra)

a amostra precisa ser retirada de forma aleatória, ou seja através de alguma forma de sorteio não viciado. Nem sempre isso é feito adequadamente (por falhas no processo de ensino/instrução), e em muitos casos, como nos produtos a granel, é virtualmente impossível.

Outro problema inerente à Inspeção por Amostragem é a menor quantidade de informação gerada sobre o produto e o processo (compara a que seria gerada no caso da inspeção total), e haverá *sempre* o risco de aceitar lotes ruins e rejeitar lotes bons (Montgomery,1997). A compreensão correta destes conceitos por todos aqueles que os aplicam é mais exceção do que regra, e costuma levar a resultados por vezes decepcionantes em termos de Qualidade, a um custo elevado, levando ao descrédito das técnicas estatísticas em geral. Novamente o problema reside no processo de ensino/instrução.

2.3.4 – Planejamento de Experimentos

O Planejamento de Experimentos (DOE – Design of Experiments) é uma técnica extremamente útil para descobrir as variáveis chave que influenciam os Característicos da Qualidade de interesse do processo.

A experimentação é largamente usada na pesquisa científica em geral e também na área industrial, nem sempre, porém, com os mesmos propósitos. Somente o resultado de um experimento adequadamente planejado e realizado poderá indicar uma *relação causal* entre duas ou mais variáveis (dois ou mais fatores), as outras técnicas permitem apenas *correlacionar* as variáveis, mas não permitem afirmar que a variação em uma variável está causando a variação na outra.

Um pesquisador científico, ao realizar um experimento, age da seguinte maneira:

- escolhe algumas variáveis *independentes* que terão seus valores controlados e variados;

- deixa outras variáveis “livres”, cujos resultados presumem-se *dependentes* dos valores das independentes;
- elimina, ou procura eliminar, todas as outras fontes de variação que poderiam influenciar os resultados;
- manipula os valores das variáveis independentes e observa os resultados causados nas variáveis dependentes, estudando suas interações.

Geralmente seu objetivo é mostrar a significância estatística do efeito que um determinado fator exerce em uma variável dependente de interesse.

Na área industrial o objetivo primário da experimentação é extrair a maior quantidade possível de informação confiável, observando os fatores que afetam um processo produtivo, do menor número possível de observações. Em geral, cada máquina usada em um processo produtivo permite que seu operador faça vários ajustes, afetando a qualidade do produto manufaturado resultante. A experimentação permite que a máquina seja preparada de maneira a descobrir quais fatores têm o maior impacto na qualidade resultante. Usando essa informação os ajustes podem ser constantemente aperfeiçoados até atingir uma qualidade ótima. Na pesquisa científica há uma preocupação muito grande com a interação entre os fatores (para melhor descrever a realidade); nos ambientes industriais tais interações podem ser consideradas “ruídos” que apenas dificultam a identificação dos fatores mais importantes (StatSoft,1995), procura-se então minimizar todas as fontes indesejáveis de variação.

Em outras palavras, o Planejamento de Experimentos permite resolver um problema específico de Qualidade. O planejamento visa garantir que todas as fontes “indesejadas” de variação serão eliminadas (ou terão seu efeito reduzido) para que somente os efeitos de interesse estejam presentes. O Planejamento de Experimentos é uma ferramenta necessária, juntamente com as ações administrativas, para obter a melhoria sistemática do processo, permitindo a remoção das causas comuns de variação (Anderson,2000).

Há vários tipos de experimentos que podem ser utilizados, todos com uma indicação específica: Experimentos fatoriais (com dois, ou três níveis), Métodos de Superfície de Resposta, Experimentos em Quadrados Latinos, Métodos de Taguchi (que vem se difundindo consideravelmente atualmente), e outros.

Muitas vezes um determinado problema é identificado através de outra técnica de Controle Estatístico da Qualidade (como um Gráfico de Controle, por exemplo). A ignorância sobre a causa, ou a necessidade de eliminar o problema podem motivar o planejamento de um experimento específico que não apenas solucione o problema mas evite a sua repetição no futuro, e ainda aumente o conhecimento sobre o processo produtivo. Apesar de ser uma ferramenta de Controle da Qualidade “off-line” o Planejamento de Experimentos é um Método Estatístico *ativo*, ao invés do CEP que apenas monitora o processo, pois realiza vários testes no processo, efetuando mudanças nas entradas e observando os resultados causados nas saídas, como pode ser visto no Quadro 1 (Anderson,2000).

Quadro 1 - Comparação entre CEP e Planejamento de Experimentos

	CEP	Experimento
Quem obtém os dados?	Operador	Engenheiro
Como se obtêm os dados?	Monitorando o processo	Mudando parâmetros do processo
Qual é o resultado almejado?	Controle do processo	Melhoria do processo
Causa da variabilidade	Especiais	Comuns (sistemáticas)

Obviamente, se o experimento for mal planejado, ou mal executado, quaisquer conclusões obtidas terão pouca validade, e as decisões por elas motivadas poderão levar a resultados desagradáveis. Por esse motivo o processo de ensino/instrução de Planejamento de Experimentos é *crucial* para que a técnica seja corretamente aplicada, com o agravante de que os conceitos necessários não são triviais.

2.4 – Emprego do CEQ

Como o CEQ é empregado atualmente nas empresas, quais as principais técnicas utilizadas, há necessidade de mudanças organizacionais, quais são as necessidades de treinamento? Nesta seção serão apresentados os resultados de uma pesquisa empírica realizada pelo autor nos EUA, e demais publicações na literatura sobre o assunto.

2.4.1 – Pesquisa empírica sobre o emprego do CEQ em empresas

Durante o período de pesquisa do autor na University of South Florida surgiu a oportunidade de realizar uma pesquisa empírica sobre o emprego de técnicas de CEQ em empresas dos EUA. Tal pesquisa não teve desde o início a pretensão de obter uma amostra representativa nem sequer da região da baía de Tampa (cidade sede da University of South Florida). Não obstante seus resultados foram usados como referência na elaboração da proposta de ensino de CEQ que será descrita no Capítulo 3.

Por intermédio do Manufacturing Training Engineering Center (MTEC) da University of South Florida, por meio de recomendação do seu diretor, Mr. Jack Doherty, o autor deste trabalho teve a oportunidade de aplicar um questionário sobre a utilização de Controle Estatístico de Processos em cinco empresas da região da baía de Tampa, no estado americano da Flórida, durante o primeiro semestre de 2000. Uma outra empresa foi visitada como parte das atividades previstas da disciplina de graduação Quality Control do curso de Industrial Management and Engineering Systems, a que o autor assistia como ouvinte, mas não foi possível aplicar-lhe o questionário.

O número de empresas foi reduzido basicamente por dois motivos:

- para possibilitar que o autor avaliasse in-loco as empresas no reduzido tempo disponível.
- para seguir a recomendação do diretor do MTEC para visitar empresas que haviam implementado práticas consistentes de gerenciamento da Qualidade.

Em algumas empresas a entrada do autor não seria permitida, por se tratarem de fornecedores de equipamentos de defesa e o autor não ser cidadão dos EUA.

2.4.1.1 – Descrição das empresas

Todas as empresas são do setor industrial, e duas dispõem de certificados ISO 9000.

Os nomes não serão revelados:

- um fabricante de equipamentos elétricos;
- um fabricante de simuladores de vôo para aeronaves civis e militares;
- um fabricante de compact discs, fitas cassete de áudio, multimídia e outros produtos;
- um fabricante de protetores contra surtos de energia;
- uma fundição em cunho de alumínio e zinco;
- um fabricante de circuitos eletrônicos utilizados por empresas como Gateway, Cisco e Intel (nesta não foi possível aplicar o questionário).

2.4.1.2 – Características do questionário

Procurando reunir elementos para a elaboração da proposta de ensino do CEQ, e considerando um estudo semelhante realizado por O’Sullivan (1995) o questionário (que está no Anexo A) cobria basicamente os seguintes pontos:

- se utiliza o Controle Estatístico de Processos (CEP)¹¹ ou não.
- caso sim, desde quando e quais as razões para adotá-lo.
- quais as técnicas usadas e como era feita a coleta dos dados.
- se houve alguma necessidade de mudança organizacional para implantar o CEP.

¹¹ Empregou-se CEP e não CEQ – Controle Estatístico da Qualidade, por ser a primeira denominação mais difundida nos EUA, e por muitos reduzirem a segunda, erroneamente, a apenas Inspeção por Amostragem.

- quais pessoas receberam treinamento, de que forma, com que frequência e duração, e qual era o conhecimento prévio exigido.
- quais os problemas encontrados na implantação, e quais os benefícios percebidos do uso.

2.4.1.3 - Resultados

Todas as empresas, com exceção da fábrica de simuladores de vôo (devido às características muito peculiares de seus produtos), empregam alguma técnica de CEQ, geralmente Gráficos de Controle, há pelo menos 3 anos, havendo uma que adotou Gráficos de Controle há 14 anos. Os motivos para implementação das técnicas foram variados: exigência de clientes, para atingir determinado padrão da Qualidade, e mesmo por iniciativa própria para melhorar a Qualidade dos seus produtos.

Apenas uma das empresas que usa CEQ coleta todos os dados de forma manual, embora algumas complementem seus sistemas computadorizados com os dados coletados pelos operadores. Todas as empresas relataram poucas mudanças organizacionais para implementar o CEQ, exigiram pouco conhecimento prévio para os que iriam passar pelo treinamento, e declararam que o treinamento visava principalmente transmitir os conceitos de CEQ julgados necessários.

Quanto à forma de efetuar o treinamento houve uma divisão clara, entre as que preferiram palestras e workshops de agências externas, e as que preferiram treinar o pessoal nas próprias estações de trabalho. Em ambos os casos, porém, a carga horária não excedeu 30 horas, ou o treinamento é repetido apenas uma vez por ano.

A maioria das empresas relatou não ter tido problemas com a implementação do CEQ, e todas relataram a percepção de benefícios, como melhoria da satisfação do cliente, obtenção do padrão de Qualidade procurado e melhoria no gerenciamento, devido ao maior

conhecimento do processo gerado pelo CEQ.

2.4.2 – Publicações sobre o emprego de CEQ em empresas

Diversos artigos da literatura especializada relatam o emprego de CEQ em várias empresas, em diferentes países.

Della (2000) relata as mudanças que a conhecida fábrica de motocicletas Harley-Davidson realizou em seu Controle Estatístico de Processos, automatizando completamente a coleta e produção de resultados (que incluem a plotagem de Gráficos de Controle e cálculo de índices de capacidade Cpk). Do ponto de vista organizacional a principal mudança foi transferir toda a responsabilidade pela monitoração da Qualidade para os operadores, proporcionando para isso treinamento apropriado.

O'Sullivan (1995) realizou estudos de caso sobre o uso do CEQ em quatro empresas da Grã-Bretanha, no início dos anos 1990. Três das empresas têm certificados ISO9000, e introduziram o CEQ por exigência dos clientes ou para atender algum padrão da Qualidade. Constatou-se que as empresas maiores adotaram um enfoque mais unificado para o CEQ, tendo também que fazer maiores mudanças organizacionais para sua implantação. Tais empresas costumam utilizar sistemas computadorizados para coleta e tratamento dos dados. Todas as quatro empresas estudadas atestaram que a implantação do CEQ foi um sucesso, pois causou benefícios palpáveis nas suas atividades, embora ainda haja alguns problemas (falta de comprometimento total dos operadores, e em alguns casos da alta administração).

Xie e Goh (1999) declaram que CEP e Planejamento de Experimentos são largamente usados pelas empresas manufatureiras da área Ásia/Pacífico como ferramentas para melhoria da Qualidade. Ressaltam porém que se torna urgente encontrar novas técnicas capazes de

fornecer informação interessante sobre processos com reduzido número de defeitos (as técnicas tradicionais costumam mostrar séries de “zeros” nos melhores processos).

Bränström-Stenberg e Deleryd (1999) relatam os resultados de uma pesquisa feita por questionários enviados pelo correio à empresas suecas, tentando identificar quais usavam CEP e Estudos de Capabilidade de processos, e como o faziam. Dos 491 questionários enviados, 155 foram respondidos, e 83 empresas declararam usar pelo menos uma das técnicas, sendo todas do setor manufatureiro. Destas empresas a maioria implementou as técnicas por vontade própria, como forma de melhorar a Qualidade de seus processos, ao invés de por exigência de clientes: os autores declaram que tais empresas auferiram maiores benefícios da implantação das técnicas do que as que o fizeram por exigência de um cliente. Do total, 55 empresas empregam CEP e Estudos de Capabilidade de processos, surgindo então uma constatação alarmante sobre como elas encaram a ligação entre tais técnicas:

- apenas 8 empresas declararam que primeiro é preciso estabilizar o processo por meio do CEP, para somente então realizar o Estudo de Capabilidade;
- surpreendentemente 20 empresas declararam que primeiramente deve ser feito o Estudo de Capabilidade para somente então ser aplicado o CEP;
- e 27 ou responderam diferente ou nada responderam.

Dahlgaard e outros (et al., 1998) relatam uma comparação entre as práticas de gerenciamento da Qualidade empregadas em empresas de alguns países ocidentais (Dinamarca, 65 empresas, Finlândia, 18, Suécia, 88, e Austrália, 62) e em alguns países orientais (Japão, 25 empresas, Coréia do Sul, 105, e Taiwan, 48), todas do setor manufatureiro e filiadas à mais proeminente organização de fomento da melhoria da Qualidade dos seus respectivos países. Constataram que apenas 41% das empresas ocidentais utilizavam o conceito de “processo sob controle estatístico” em combinação com Gráficos de Controle e

Índices de Capabilidade para compreender, monitorar e reduzir a variabilidade dos produtos (acarretando uma melhoria na Qualidade), em comparação com 88% das orientais. Estas também utilizam mais ferramentas de gerenciamento da Qualidade (como o desdobramento da função da Qualidade – QFD), e investem mais em treinamento para seu pessoal.

Lee (1997) constatou que, das 383 empresas de Hong-Kong (114 do setor manufatureiro) que responderam seu questionário, apenas 26% usam CEP (55% no setor manufatureiro), e que apenas 11% pretendem implementá-lo no futuro próximo (18% no setor manufatureiro). Um detalhe importante: todas as 383 empresas possuem certificados ISO 9000.

Pode-se ver que as técnicas de CEP são as mais populares, e em menor escala os Estudos de Capabilidade de Processos e Planejamento de Experimentos. Mesmo assim ainda há muitos problemas, especialmente no tocante ao treinamento. Os tópicos específicos sobre treinamento serão abordados na próxima seção e no Capítulo 3, quando for apresentada a proposta de ensino de CEQ.

2.5 – Ensino do Controle Estatístico da Qualidade

Uma vez analisados os principais conceitos básicos de CEQ é necessário avaliar como está o ensino destes conceitos atualmente no Brasil. Tal avaliação envolve os cursos de graduação em Engenharia (as mais diversas habilitações) e em Estatística e os cursos de pós-graduação na área tecnológica.

Uma pesquisa (cujos resultados encontram-se no Anexo B) identificou quais cursos

possuíam disciplinas com conteúdo específico de CEQ, ou que abordavam parte dos seus conceitos. As ementas destas disciplinas, suas referências bibliográficas, sua obrigatoriedade ou não, sua posição nos currículos e outras características foram levantadas, resultando nas constatações a seguir.

2.5.1 – Posição no Currículo e Obrigatoriedade

Antes de tudo, destaque-se que muitos cursos de Engenharia não possuem nenhuma disciplina que aborde os conteúdos relacionados ao CEQ, especialmente os cursos de Engenharia Civil e Engenharia Elétrica: dentre os cursos pesquisados praticamente nenhum tinha uma disciplina correlata em seu currículo.

De uma maneira geral os cursos de Engenharia que abordam o CEQ costumam fazê-lo em apenas uma disciplina, às vezes chamada de “Controle de Qualidade”, ou “Controle Estatístico de Processos”, ou “Controle Estatístico da Qualidade” e até mesmo “Estatística Industrial”. Tal disciplina costuma ser optativa (em muitos cursos de Engenharia Industrial ou Engenharia de Produção é obrigatória, porém), e geralmente tem como pré-requisito uma outra disciplina de Estatística onde foram vistos os conceitos estatísticos necessários (como Distribuições de Probabilidade, e Amostragem), embora em alguns poucos casos também apresenta como pré-requisito uma disciplina de Gerência da Qualidade (onde são apresentados os conceitos básicos de Qualidade).

Nos cursos de graduação em Estatística, o CEQ costuma ser abordado em uma disciplina obrigatória, que tem como pré-requisito outras que incluem conteúdos de Amostragem e Inferência Estatística. Nestes cursos, os conceitos básicos da Qualidade são abordados dentro da própria disciplina.

2.5.2 – Conteúdos Abordados

Os conteúdos abordados apresentam uniformidade em dois tópicos: praticamente todas as disciplinas incluem Gráficos de Controle (usualmente os Gráficos de Shewhart, mais simples) e Inspeção por Amostragem (chegando a incluir em alguns casos as normas da ABNT para planos de amostragem por atributos e por variáveis). Outra constante é a existência de alguns conceitos de Qualidade, cuja profundidade depende do fato de existir ou não outra disciplina sobre Gerência da Qualidade no currículo, e de conceitos básicos de Estatística (novamente com uma profundidade relacionada a existência ou não de disciplinas afins no currículo).

Em alguns cursos de Engenharia, e em praticamente todos os cursos de Estatística, são abordados Gráficos de Controle “avançados” (CUSUM, EWMA), Estudos de Capabilidade de Processos e Planejamento de Experimentos (em certos cursos há uma disciplina específica sobre Planejamento de Experimentos). As técnicas de Taguchi, programação evolucionária e outras metodologias avançadas são vistas em um número ainda mais reduzido de casos.

Outra característica interessante é a existência de disciplinas de “Controle da Qualidade” que mencionam o Controle Estatístico da Qualidade (ou o Controle Estatístico de Processos) muito ligeiramente, limitando-se a conceitos gerais da Qualidade, normas para condução de ensaios, ou características específicas (por exemplo, normas legais para a Qualidade de alimentos), etc. Isso é especialmente encontrado em cursos de Engenharia de Alimentos, Engenharia Metalúrgica e Engenharia Química (especialmente o primeiro deles). Há também alguma preocupação com o certificado ISO9000, Confiabilidade, Reprodutibilidade, outras ferramentas de CEP (como Diagramas de Causa e Efeito, Diagramas de Dispersão, Gráficos de Pareto), normas da ABNT para Inspeção por Amostragem, e outros aspectos.

Uma característica inquietante, mesmo nas disciplinas com conteúdo mais completo, é a reduzida carga horária (geralmente em torno de 3 ou 4 créditos, 45 a 60 horas), que são exíguas para o adequado aproveitamento do cabedal de conhecimentos envolvidos.

Naturalmente, os cursos de pós-graduação apresentam um conteúdo mais aprofundado, incluindo a aplicação intensiva de apoio computacional, e estudo do estado da arte das técnicas de CEQ (especialmente de Reconhecimento de Padrões, Diagnóstico e Ação automáticos).

2.5.3 – Diagnóstico Preliminar

Pela pesquisa realizada nesta etapa não foi possível obter maiores informações sobre a metodologia de ensino utilizada nas disciplinas. Não obstante algumas constatações foram feitas.

2.5.3.1 - Textos

Normalmente as disciplinas de CEQ utilizam um livro-texto como base para os estudantes, tais como: Montgomery (1997), Juran (1979), Grant e Leavenworth (1988), Duncan (1986), Palmer (1974), Western Electric (1956), Besterfield (1990), Ishikawa (1990), Paladini (1990), etc. Também é comum a utilização de bibliografia sobre aspectos gerenciais da Qualidade, tais como: Deming (1990), Feigenbaum (1983), Campos (1992), Paladini (1995)(1997). Outra prática bastante disseminada é a utilização de apostilas elaboradas pelos próprios professores, muitas vezes reunindo material de várias das referências citadas acima e experiência dos ministrantes em consultorias e cursos de especialização.

2.5.3.2 – Suporte Computacional

Quando possível, as disciplinas utilizam programas computacionais (pacotes estatísticos) para a implementação da parte “prática” da disciplina, podendo ser citados: Statgraphics®, Statistica®, SPSS®, Minitab®, Excel® (que embora não seja um programa estatístico permite alguns cálculos específicos). Este último é utilizado mesmo em universidades dos EUA, por “forçar o usuário a programar os cálculos, e por muito provavelmente ser encontrado nas organizações em que os alunos irão trabalhar”.

2.5.3.3 – Visitas às empresas

As disciplinas de alguns cursos incluem, pelo menos formalmente, visitas à empresas para a familiarização com a aplicação do CEQ em situações reais.

2.5.3.4 – Pós-Graduação

Os cursos de pós-graduação costumam exigir extensa pesquisa bibliográfica sobre o estado da arte do CEQ e posterior apresentação dos resultados encontrados, mediante seminários ou artigos para futura publicação.

2.5.3.5 – Aspectos gerais

A princípio não foram encontrados indícios de metodologias diferenciadas. Não se pode esquecer que ementas, planos de ensino e outros documentos são meras expressões de intenções, e que muitas vezes não conseguem ser concretizados plenamente.

2.6 – Conceitos de Inteligência Artificial

Serão apresentados os conceitos básicos de Inteligência Artificial, os principais paradigmas, as aplicações de IA em geral, as aplicações específicas em Educação, as aplicações específicas em Controle Estatístico da Qualidade (CEQ), e as aplicações em ensino de CEQ.

2.6.1 – Conceitos Básicos

Em linhas gerais observa-se que “o objetivo da IA é representar o comportamento inteligente através de modelos computacionais. Esse comportamento está fundamentado em dois temas: o conhecimento e a aprendizagem. O conhecimento é sua principal matéria prima, podendo ser representado por muitos formalismos. A aprendizagem também tem despertado muito o interesse da comunidade de IA” (Barreto, 1997)(Koehler,1998).

Se há certo consenso sobre o objetivo da IA quando se busca uma *definição* para Inteligência Artificial surge uma grande controvérsia. Segundo Barreto (1997) provavelmente a melhor definição foi apresentada por Cherniak e McDermott: “*IA é o estudo das faculdades mentais com o uso de modelos computacionais*”. Tal definição evita a discussão do que é Inteligência (comum em outras definições propostas por outros autores), relaciona-se com outras ciências (Psicologia, Lógica, Fisiologia) no que diz respeito às faculdades mentais e além disso se mostra independente de arquiteturas computacionais.

2.6.1.1 – Evolução da IA

A Inteligência Artificial surgiu oficialmente em 1956 quando o termo foi criado em uma conferência na Universidade de Dartmouth, nos EUA. O objetivo era construir computadores mais úteis para os seres humanos. Muitos esforços foram feitos no

desenvolvimento de algoritmos de busca, e no emprego de tais algoritmos para a resolução de problemas nas mais diversas áreas (Rabuske,1995).

As previsões otimistas da década de 60 não se confirmaram quando as técnicas de IA foram empregadas para a resolução de problemas complexos, e os resultados obtidos não corresponderam às expectativas. Como consequência, a pesquisa na área perdeu parte do apoio inicial. Não obstante, houve um renascimento da IA quando os pesquisadores compreenderam que as técnicas de busca por si sós eram insuficientes para construir uma máquina inteligente, sendo necessário também codificar uma fonte de conhecimento apropriada para possibilitar a resolução de problemas. Outro ponto foi a compreensão de que era preciso limitar o domínio do problema para obter resultados compensadores. Essas constatações levaram aos Sistemas Baseados no Conhecimento, entre os quais encontram-se os Sistemas Especialistas (Durkin,1994) (Russel & Norvig,1995).

Durante sua evolução, os pesquisadores da IA desenvolveram algumas correntes de pensamento, diferentes abordagens, consideradas paradigmas, que serão descritas a seguir.

2.6.2 – Paradigmas da Inteligência Artificial

Os principais paradigmas da IA são o Simbólico (Inteligência Artificial Simbólica – IAS) e o Conexionista (Inteligência Artificial Conexionista – IAC). Embora não sendo considerados exatamente paradigmas por todos os autores, serão apresentadas nesta seção a abordagem Evolucionária (por Algoritmos Genéticos), a Inteligência Artificial Distribuída – IAD (abordagem por Agentes), e a abordagem por Lógica Difusa (Conjuntos Difusos).

2.6.2.1 – Inteligência Artificial Simbólica (IAS)

Na IAS o comportamento inteligente é simulado, baseado nos princípios da psicologia cognitiva. Espera-se que um conhecimento sobre o problema particular a resolver, e das técnicas úteis para o caso, possam levar à manipulação dos conhecimentos básicos e “imitando” o modo de raciocínio dos humanos. Para isso, a IAS deve ser utilizada quando o domínio do problema é bem definido, que se tenha idéia de como ele será resolvido e que seja explícito o modo para achar uma solução (Barreto,1997).

A IAS tem sido aplicada com sucesso em programas de monitoração, previsões financeiras, diagnósticos (possivelmente onde houve maiores avanços), e outras aplicações.

2.6.2.2 – Inteligência Artificial Conexionista (IAC)

A IAC acredita na construção de neurocomputadores (computadores em que os circuitos tentam imitar o sistema nervoso), e se estes forem bastante parecidos ao cérebro humano ele apresentará um comportamento inteligente (Koehler,1998). Esse paradigma costuma ser rotulado de “abordagem por Redes Neurais”, ou “abordagem por Redes Neurais Artificiais” (pois tenta-se reproduzir no computador as redes neurais existentes no sistema nervoso humano).

A IAC vem atraindo a atenção dos pesquisadores por apresentar uma melhor performance do que a IAS quando o problema não é bem definido (falta o conhecimento explícito de como realizar a tarefa). Isso é especialmente adequado para Reconhecimento de Padrões (por exemplo, padrões de voz, imagem), uma função que ainda não se sabe exatamente como o cérebro realiza (e portanto torna-se difícil de abordar pela IAS) (Bittencourt,2001).

Reconhecimento de Padrões é provavelmente uma das mais interessantes aplicações

de IAC (Redes Neurais), pois ao contrário dos Métodos Estatísticos e Sintáticos¹², o enfoque conexionista pode lidar com situações em que os relacionamentos entre as variáveis são dinâmicos ou não lineares, quando as suposições necessárias para as outras técnicas não são satisfeitas. Trata-se, então, de uma alternativa que permite modelar fenômenos que dificilmente poderiam ser explicados de outra forma.

A utilização de IAC em sistemas de Reconhecimento de Padrões em Gráficos de Controle é uma prática que vem se disseminando recentemente, e que será estudada posteriormente neste texto.

2.6.2.3 – Abordagem Evolucionária (Algoritmos Genéticos)

Embora não seja exatamente considerado um paradigma por muitos autores, a abordagem Evolucionária (ou Computação Evolucionária) é uma área da Inteligência Artificial que vem se expandindo consideravelmente nos últimos anos. Ao contrário da abordagem tradicional de processamento de dados, a abordagem evolucionária não exige o conhecimento prévio de uma maneira para encontrar uma solução para um determinado problema (Bittencourt,2001). Como seria de se esperar a abordagem baseia-se na teoria de Darwin acerca da evolução das espécies.

A abordagem evolucionária baseia-se em algumas idéias básicas que, quando implementadas, permitem simular em um computador o processo de passagem de gerações da evolução natural (Bittencourt,2001):

- criação de uma população de soluções na qual os indivíduos tenham registrado, de modo intrínseco, os parâmetros que descrevem uma possível solução para o problema proposto;

¹² É feita uma decomposição recursiva dos padrões mais complexos em subpadrões mais simples, da mesma forma que uma sentença pode ser decomposta em palavras e estas em letras, baseando-se na teoria das linguagens formais. Os padrões são descritos por subpadrões primitivos e por regras sintáticas (a gramática do padrão), especificando como os padrões podem ser combinados para formar um padrão da classe de interesse (Devijver e Kittler, 1982). Maiores detalhes sobre a abordagem sintática em Fu (1982), e sobre a aplicação em Controle Estatístico de Processos em Cândido (1994).

- criação de uma entidade, a função de avaliação, capaz de julgar a aptidão de cada um dos indivíduos, sem precisar ter o conhecimento de como solucionar o problema, mas apenas atribuir uma “nota” ao desempenho de cada um dos indivíduos da população;
- criação de uma série de operadores, baseados nos fenômenos que ocorrem na evolução natural, os quais serão aplicados à população de uma geração para obter os indivíduos da seguinte -
- Seleção: escolher um indivíduo ou um par deles para gerar descendência (indivíduos bem classificados pela função de avaliação);
- Recombinação: operador que simula a troca de material genético entre os ancestrais que, por sua vez, determina a carga genética dos descendentes;
- Mutação: operador que realiza mudanças aleatórias no material genético.

Uma população inicial de soluções evolui ao longo das gerações em direção a soluções mais bem adaptadas (com maior valor na função de avaliação) por meio dos operadores. Um Algoritmo Genético é um programa computacional que implementa tal processo. Inicialmente relacionados apenas a modelos de aprendizado automático (ou aprendizado reforçado) (Russel & Norvig,1995) sua ênfase mudou para a otimização (Goldberg,1989), permitindo sua aplicação nas mais diversas áreas.

2.6.2.4 – Inteligência Artificial Distribuída – IAD - Abordagem por Agentes

A IAD estuda o conhecimento e as técnicas de raciocínio que podem ser necessárias ou úteis para que agentes computacionais participem de sociedades de agentes (Bittencourt,2001).

Ao contrário da Inteligência Artificial clássica, em que um Sistema Inteligente é composto por apenas um foco de atenção e apenas uma base de conhecimento (simulando o comportamento humano individual), a IAD é baseada no comportamento social, sendo a

ênfase colocada nas ações e interações (Vavassori,1998). A IAD combina técnicas tradicionais de Inteligência Artificial com processamento distribuído, para desenvolver sistemas mais flexíveis, objetivando a resolução de problemas (Cechinel e Moreira,1998).

Há vários motivos para distribuir sistemas inteligentes (Bittencourt,2001), como por exemplo:

- melhorar a adaptabilidade, confiabilidade e autonomia do sistema;
- reduzir os custos de desenvolvimento e manutenção;
- aumentar a eficiência e velocidade do sistema;
- permitir a integração de sistemas inteligentes para aumentar a eficiência na solução de problemas;
- a própria complexidade do problema a resolver, que além de um certo nível torna a IAD a única técnica indicada para implementar a solução.

As duas principais abordagens da IAD são a Solução Distribuída de Problemas (SDP) e os Sistemas Multi-Agentes (SMA) (Vavassori,1998) (Bittencourt,2001):

- na SDP, o foco principal é o problema a resolver; os agentes cooperam uns com os outros, dividindo e compartilhando conhecimento sobre o problema e sobre o processo para obter uma solução; geralmente os agentes envolvidos são projetados para resolver problemas específicos, não tendo uma visão completa do objetivo global; é comum também um agente controlador único responsável pelo gerenciamento do sistema.
- nos SMA, o foco está na coordenação do comportamento inteligente de um conjunto de agentes autônomos, para obter a solução de um problema apresentado; o controle do sistema geralmente é feito de forma distribuída.

Os Sistemas Multi-Agentes, bem como qualquer aplicação de IAD, tem alguns

problemas de difícil resolução (Pozo,1996):

- como descrever e decompor uma tarefa complexa em subtarefas, e como alocá-las?
- como será feita a interação/comunicação entre os agentes (protocolo, linguagens)?
- como assegurar a coordenação, controle e comportamento coerente do conjunto de agentes?
- como resolver situações de conflito e incerteza entre os agentes?
- que linguagens de programação devem ser utilizadas?

Uma das principais controvérsias sobre a IAD reside justamente na definição de Agentes. Tais Agentes recebem percepções do ambiente através de *sensores*, e atuam sobre o mesmo ambiente através de “efetores” (effectors) (Russel & Norvig,1995), e costumam ter apenas uma informação incompleta sobre o ambiente (Pozo,1996). O Agente deve ser projetado de maneira a atuar racionalmente, ou seja, “fazer a coisa certa” no seu ambiente (a “coisa certa” é a ação que fará com que o agente tenha o maior sucesso possível). O problema é definir critérios para este sucesso: é preciso estabelecer uma Medida de Performance (que pode ser simplesmente o alcance de um objetivo pré-fixado).

Um Agente Racional Ideal é aquele que para qualquer seqüência de percepções realiza uma ação que irá maximizar sua Medida de Performance com base nas evidências apresentadas pela seqüência de percepções seja qual for o conhecimento embutido no agente. A tarefa da IA é procurar fazer com que o agente se torne ideal, projetando o Programa do Agente, uma função que irá relacionar as percepções com as ações necessárias para maximizar a Medida de Performance, enquanto atualiza o estado interno do Agente. Assume-se que esse programa será executado em algum dispositivo computacional, chamado de Arquitetura. O Agente é composto pela Arquitetura e pelo Programa (Russel & Norvig,1995).

O Programa do Agente pode ser implementado através de regras, Redes Neurais

artificiais, ou outros métodos. Sua complexidade dependerá da percepção que o Agente tem do ambiente, das ações que se espera que ele realize, dos seus objetivos e do próprio ambiente no qual o Agente deve atuar. No Quadro 2 é possível observar a interação destes fatores:

Quadro 2 - Tipos de Agentes, Descrição de Percepção – Ação – Objetivo – Ambiente

Tipo de Agente	Percepções	Ações	Objetivos	Ambiente
Sistema de diagnóstico médico	Sintomas, observações, respostas do paciente	Perguntas, testes, tratamentos	Curar o paciente, minimizar custos	Paciente, hospital
Sistema de análise de imagens de satélite	Pixels de intensidade variável, cor	Imprimir uma categorização do cenário.	Categorização correta	Imagens de um satélite em órbita
Controlador de uma refinaria	Leituras de temperatura e pressão	Abrir, fechar válvulas; ajustar temperatura	Maximizar pureza, rendimento e segurança	Refinaria
Tutor interativo de inglês	Palavras digitadas	Imprimir exercícios, correções, exercícios	Maximizar o desempenho do estudante no teste	Conjunto de estudantes

Fonte: (Russel & Norvig, 1995)

O processo de tomar decisões através do raciocínio com conhecimento é crucial para a IA, e para o projeto bem sucedido de um Agente representar adequadamente o conhecimento é extremamente importante. Naturalmente alguns ambientes tornarão o projeto mais difícil de implementar (Russel & Norvig, 1995).

A IAD vem sendo utilizada para resolver problemas nas mais diversas áreas (robótica, **tutores inteligentes**, sistemas de automação industrial, simuladores, telecomunicações, entre outras.

2.6.2.5 – Abordagem por Lógica Difusa

A Lógica Difusa, baseada na teoria de Conjuntos Difusos, desenvolvida por Zadeh em 1965, não é propriamente um paradigma de Inteligência Artificial mas uma nova maneira de tratar Incerteza. Contudo, como a Lógica Difusa tenta imitar o trabalho do cérebro humano, sendo aplicada em processos que se modelam de forma semelhante a do pensamento humano (Kosko, 1994)(De Ré, 1995), foi incluída neste texto como uma abordagem de Inteligência

Artificial.

Quando as Incertezas são provenientes do comportamento aleatório de um sistema físico podem ser tratados por modelos matemáticos e métodos probabilísticos (De Ré,1995). Quando, porém, não há possibilidade de definir os problemas através de modelos matemáticos práticos, principalmente nos casos em que a Incerteza é descrita de forma semântica, de maneira um tanto vaga, por uma declaração em linguagem natural (linguagem falada ou escrita). Isso ocorre em fenômenos que surgem a partir do pensamento humano, do raciocínio, do conhecimento e de processos de percepção em geral. Os métodos probabilísticos falham ao lidar com esse tipo de Incerteza, para lidar com declarações em linguagem natural uma boa solução é a Lógica Difusa.

A Lógica Difusa permite obter conclusões e gerar respostas baseadas em informações qualitativas, incompletas ou imprecisas, semelhante ao que os seres humanos fazem. Lotfi Zadeh desenvolveu a teoria dos Conjuntos Difusos, da qual derivou a Lógica Difusa. Na Lógica Clássica (Aristotélica) há apenas dois resultados possíveis para uma premissa lógica: completamente verdadeira ou completamente falsa. Na Lógica Difusa uma premissa lógica pode ter um “grau de verdade” variando de 0 a 100%, permitindo que os eventuais conjuntos de elementos sejam nomeados qualitativamente (“alto”, “quente”, “ativo”) e os elementos destes conjuntos apresentarão diferentes *graus de pertinência* a eles. Um homem de 1,70 m e outro de 1,85 m podem pertencer a um conjunto de homens “Altos”, mas o de 1,85 m terá um grau de pertinência maior ao conjunto. Além disso qualquer ação ou saída resultante de uma premissa verdadeira terá uma “força” refletindo o grau em que aquela premissa é verdadeira (seu grau de pertinência) (Viot,1993).

A Lógica Difusa e a teoria de Conjuntos Difusos possibilitaram a modelagem de

diversos fenômenos e a solução de problemas que seriam praticamente impossíveis através de outras técnicas. Atualmente são utilizadas em grande variedade de aplicações, que vão de câmeras de vídeo a controle de sistemas de metrô, passando por equipamentos de controle de temperatura.

2.6.3 – Principais Aplicações de Inteligência Artificial

Serão apresentadas a seguir as principais aplicações de Inteligência Artificial, primeiramente de forma generalizada, e posteriormente particularizando para Educação e Controle Estatístico da Qualidade.

Uma das aplicações mais importantes da Inteligência Artificial, em grande parte responsável pelo seu “renascimento” são os Sistemas Especialistas¹³. São sistemas que fornecem conclusões peritas acerca de assuntos especializados (Rabuske,1995). Segundo Durkin (1994) Sistema Especialista é um programa computacional desenvolvido para modelar a habilidade de resolução de problemas de um especialista humano. Os dois componentes principais de um Sistema Especialista são a Base de Conhecimento (conhecimento especializado sobre o problema provido por um ou mais especialistas) e a Máquina de Inferência (processador de conhecimento, modelado de acordo com o raciocínio do especialista). Há basicamente duas razões para construir um Sistema Especialista: para substituir o especialista (para tornar seus conhecimentos disponíveis em outros locais, porque o ambiente em que ele trabalha é hostil, porque os seus custos são elevados), ou para auxiliar o especialista (automatização de uma tarefa rotineira, facilitar o acesso a informações).

¹³ Uma descrição mais completa acerca de Sistemas Especialistas será apresentada posteriormente neste trabalho, por enquanto serão introduzidas as definições básicas.

Os Sistemas Especialistas costumam ser utilizados com os mais diversos objetivos (Controle, Diagnóstico, Projeto, Instrução, Interpretação, Monitoração, Planejamento, Simulação) nas mais diversas áreas: medicina (onde o mais conhecido provavelmente é o MYCIN), prospecção mineral (como o PROSPECTOR), configuração de computadores (por exemplo o XCON), finanças (para aconselhamento na concessão de empréstimos bancários), setor manufatureiro, e mesmo em Educação (que será abordada posteriormente neste texto).

Outra aplicação importante da Inteligência Artificial é o Processamento de Linguagem Natural, a implementação desta linguagem em computador, seja de forma escrita (mais simples), seja de forma falada. Grandes avanços já foram feitos nesta área, em alguns países já existem tradutores automáticos de uma língua para outra (Rabuske,1995), mas persistem os problemas no tocante à linguagem figurada, dupla interpretação e outros.

Considerada por muitos como uma das áreas mais promissoras da Inteligência Artificial, o Reconhecimento de Padrões é sem dúvida um campo muito vasto: reconhecimento de impressões digitais, leitura e digitalização de um texto escrito, busca de anormalidades que indiquem doenças em radiografias e tomografias, mapeamento de solo, reconhecimento de padrões não aleatórios em Gráficos de Controle (que será abordado posteriormente neste texto) são apenas alguns exemplos.

A Inteligência Artificial é aplicada à Robótica quando complementa a parte mecânica dos robôs com dispositivos de suporte (eletrônicos), onde são armazenados certos conhecimentos que podem dar um certo grau de *autonomia* a estes engenhos. Tais robôs podem ser utilizados para executar tarefas em ambientes hostis ao ser humano, como no espaço, fundo dos oceanos, entre outras (Rabuske,1995).

A importância da aquisição da informação no mundo moderno não é contestada, mas também não se pode negligenciar a manipulação e recuperação dessa informação, que precisa ser feita da melhor maneira possível. Se for associada a um Sistema de Administração de Bases de Dados uma Base de Conhecimento capaz de fazer raciocínios, produzindo resultados impossíveis de ser obtidos por outra forma, o resultado será uma Base de Dados Inteligente. As técnicas de Inteligência Artificial permitem a implementação de tal base, que possibilita um aumento considerável na produtividade e funcionalidade dos sistemas de informação, facilitando em muito a tomada de decisões, pesquisa, e outras tarefas (Rabuske,1995).

A Inteligência Artificial também é aplicada em Prova de Teoremas (com as técnicas desenvolvidas sendo aplicadas também em outras áreas), e em Jogos (muitos jogos de computador vendidos comercialmente incorporam dispositivos de Inteligência Artificial, e em alguns casos, como no xadrez, já foram produzidos programas e computadores capazes de derrotar grandes mestres humanos).

2.6.4 – Aplicações de Inteligência Artificial em Educação – Sistemas Tutoriais Inteligentes

Quando se menciona a aplicação de Inteligência Artificial em educação e treinamento logicamente imagina-se uma aplicação em Instrução Assistida por Computador (CAI – Computer Assisted Instruction), ou Educação Assistida por Computador (CAE – Computer Assisted Education), ou Aprendizado Assistido por Computador (CAL – Computer Assisted Learning)¹⁴. Neste caso tais sistemas tornariam-se “Inteligentes”, caracterizando os Sistemas Tutoriais Inteligentes (ITS – Intelligent Tutoring Systems, ou ICAI, ICAE, ICAL dependendo da nomenclatura utilizada).

¹⁴ Há substancial controvérsia com relação aos termos CAI, CAE e CAL, alguns autores defendem que CAI prioriza a instrução, e CAL o aprendizado. Neste trabalho, correndo o risco de criar mais controvérsia, todos esses nomes serão considerados “sinônimos”, uma vez que o objetivo primordial é o aprendizado do usuário de tais sistemas.

A aplicação de computadores em educação vem se disseminando nos últimos anos devido ao dramático progresso da informática, havendo várias vantagens em sua utilização em instrução/ensino (Curilem,1998):

- maior capacidade, velocidade e confiabilidade na execução de instruções e cálculos;
- possibilidade de processar dados e conhecimento (e portanto experiências);
- permitem a utilização de interfaces muito interativas (com vídeo, gráficos, som, simulações), facilitando a comunicação com os alunos.
- permitem a ajuda de um número maior de estudantes, possibilitando diversificar as estratégias de ensino e individualizar o processo.

Uma pergunta bastante razoável surge: “por que aplicar Inteligência Artificial nas áreas de educação e treinamento”? Há vários motivos (Curilem,1998):

- busca de ferramentas mais poderosas para a construção de sistemas educacionais;
- oportunidade de desenvolver e testar novas técnicas e novos modelos, aplicando ferramentas de ensino inovadoras que cumprem funções de explicação, diagnóstico, entre outras, esperadas em um sistema de instrução;
- capacidade da Inteligência Artificial de modelar conhecimento, o sistema pode resolver problemas que o próprio aprendiz tem que resolver (o sistema consegue “entrar” no problema junto com o aluno, discutindo os passos intermediários) e baseia-se no conhecimento do domínio a ser ensinado;
- possibilidade de produção de interações bidirecionais entre o usuário e o sistema, que são especialmente importantes na obtenção de habilidades para a resolução de problemas complexos (justamente os de aprendizado mais difícil).

Talvez uma das melhores razões apontadas para pesquisas em Sistemas Tutoriais

Inteligentes esteja na citação a seguir (Kearsley¹⁵ apud Pozo,1991) :

“Uma das principais motivações para pesquisas na área de ICAI é o potencial que representam nos sistemas educacionais, visto que se trata de uma instrução individualizada, equivalente a ter um professor particular para o aluno, adaptando-se aos conhecimentos e necessidades detectados dinamicamente num determinado aluno. Simula-se, assim, o comportamento de um bom professor. Portanto, o projeto e desenvolvimento de programas de ICAI reúne Ciência da Computação, Psicologia Cognitiva e Pesquisa Educacional”.

Um Sistema Tutorial Inteligente (STI, nomenclatura usada deste ponto em diante) poderia ser definido como um programa computacional que utiliza técnicas de Inteligência Artificial para ajudar as pessoas a aprender os conceitos relativos a uma determinada especialidade (Nievola,1995). Geralmente um STI é implementado de maneira que o usuário realize o aprendizado dentro de um cenário específico (relacionado à metodologia pedagógica adotada), dos quais os mais comuns são (todos se orientam no sentido de que o processo deve ser do tipo “aprenda fazendo”) (Pozo,1991) (Nievola,1995):

- Ambientes de jogos, projetam-se jogos para ensinar habilidades que serão aplicadas a eles;
- Diálogos com iniciativa mista, diálogo natural com o estudante que pode responder a perguntas do Sistema, ou iniciar uma linha de perguntas;
- Método de ensino socrático, resolução de problemas reais;
- Método do treinador, treinador observa desempenho do estudante e fornece informações que o ajudarão a melhorá-lo;
- Sistemas especialistas articulados, que permitem um aprendizado experimental, acompanhando todo o processo de tomada de decisões (algumas vezes são sistemas especialistas aplicados para resolver problemas adaptados para ensino);

¹⁵ KEARSLEY, G. Artificial Intelligence and Instruction Applications and Methods. Addison-Wesley, June, 1987.

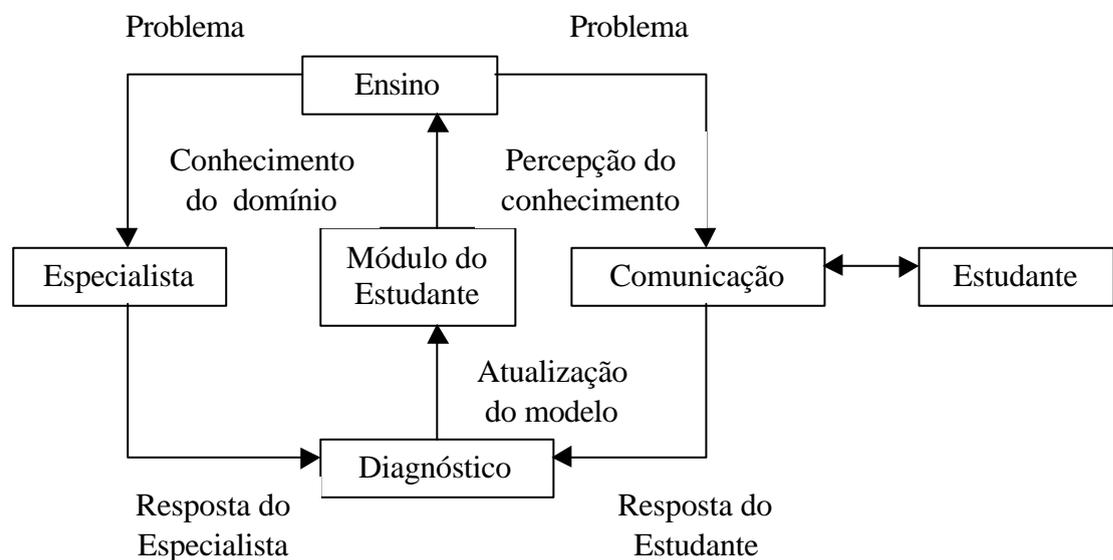
- Microuniversos, em que o estudante explora com grande liberdade o domínio do problema, usualmente com emprego de simulação.

Um STI, como qualquer tutor (humano ou máquina) precisa ter quatro tipos de conhecimento:

- sobre o domínio a ensinar (conhecimento de especialista);
- sobre o estudante (como ele aprende, seu desempenho);
- pedagógico (metodologia de ensino, técnicas adequadas para a transmissão do conteúdo);
- comunicação (como transmitir adequadamente o conteúdo e observar a resposta dos estudantes, para recomendar novos passos ou mesmo a repetição de algum conteúdo).

Um STI típico teria a seguinte estrutura (que teria módulos dedicados a cada um dos tipos de conhecimento descritos acima):

Figura 5 – Componentes de um Sistema Tutorial Inteligente



Fonte: Goldstein¹⁶ apud Pozo (1996).

¹⁶ GOLDSTEIN, I. The Genetic Graph: a Representation for the Evolution of Procedural Knowledge. International Journal of Man-Machine Studies, 11, pp. 51-77, 1979

O Sistema funciona gerenciado pelo módulo de Ensino. Este propõe um problema tanto para o Estudante como para o Especialista. O módulo do Estudante é mantido permanentemente atualizado, para que possa ser usado como modelo das capacidades e habilidades do Estudante, sendo a base para avaliação das suas respostas e para a seleção de um novo tópico a tratar. Com essas informações o módulo de Ensino seleciona os novos conteúdos para apresentação. A comunicação (interface) do sistema com o Estudante faz-se através do módulo de Comunicação (Pozo,1991).

Muitas vezes, o módulo Especialista realmente é um Sistema Especialista, projetado para resolver problemas no Domínio do STI, consistindo de uma Base de Conhecimentos (onde o conhecimento pode ser representado das mais diferentes formas, por regras, por frames), cujo desempenho é comparado ao do Estudante. Este especialista pode ter a capacidade não só de resolver problemas mas de apresentar as razões por que chegou aquelas conclusões (especialista “caixa de vidro”), ou apenas de resolver problemas (especialista “caixa preta”). O especialista “caixa preta” costuma ser mais eficiente na avaliação dos movimentos do Estudante, mas o “caixa de vidro” consegue apontar as diferenças entre a solução ideal e a do Estudante, sendo assim é comum combinar ambos (Pozo,1991) (Nievola,1995).

O módulo de Comunicação, a Interface, é crucial para o sucesso do STI. Atualmente, com a ampla disponibilidade de recursos multimídia tende-se a enfatizar a preocupação com o aspecto amigável e mesmo atrativo do Sistema. Não obstante, é importante ressaltar que uma Interface amigável e cheia de recursos somente se justifica pelo incremento que causará na aprendizagem (fato este negligenciado em muitos softwares educacionais) (Squires & Preece,1996).

Na elaboração de um STI possivelmente os passos mais difíceis são justamente os dois pontos chave, e sua dificuldade tem sido um grande limitador na disseminação dos STI's:

- modelo do Estudante, modelar como o estudante aprende, representar o seu conhecimento atual para que seja possível determinar o progresso do processo de ensino aprendizagem (modelar como uma pessoa aprende um conteúdo ou habilidade específica);
- módulo de Ensino, verifica as respostas do Estudante para determinar qual é o melhor método a ser utilizado na seqüência e como isso deve ser feito (modelar como um bom professor conduz/facilita o processo de ensino).

É importante ressaltar que ainda há muita controvérsia a respeito de como se dá o aprendizado. Basicamente há duas teorias (Curilem,1998):

- na teoria Comportamentalista se uma operação (resposta) realizada implica em uma recompensa (estímulo positivo), então o indivíduo associa a operação com a recompensa e isso chama-se aprendizado; a teoria original não conseguia lidar com um aprendizado que não apresentasse resposta observável; mesmo assim os primeiros sistemas de Instrução Assistida por Computador basearam-se na teoria Comportamentalista, o ensino, então deveria ser programado para causar determinadas respostas nos alunos.
- na teoria Construtivista o aprendiz é um participante ativo do processo de ensino e constrói seu conhecimento através de experiências individuais; é possível construir o conhecimento dentro de situações reais; os novos softwares educacionais procuram basear-se na teoria Construtivista.

É importante ressaltar que os STI's poderiam ser classificados dentro do paradigma de Inteligência Artificial Distribuída: um problema de grandes proporções é resolvido cooperativamente por vários módulos, sendo cada módulo responsável por parte da resolução.

O Quadro 3 apresenta alguns STI's (Pozo, 1996)

Quadro 3 - Sistemas Tutoriais Inteligentes desenvolvidos

Sistema	Área	Base de Conhecimento ¹⁷	Modelo do Estudante	Modelo do Tutor
SCHOLAR	Geografia	Rede Semântica	Sobreposição ¹⁸ com pesos	Gerenciar diálogo socrático
WHY	Causas de chuvas	Scripts	Identificação de enganos	Diálogo socrático
WEST	Expressões aritméticas	Regras	Sobreposição	Ambiente reativo com treinador
SOPHIE	Eletrônica	Rede semântica com simulador de circuito	Sobreposição	Ambiente reativo com interações dirigidas
BUGGY	Subtração	Rede procedural	Identificação de enganos	Ambiente reativo com aviso
BIP	Programação em BASIC	Regras	Sobreposição	Ambiente reativo c/ rede curricular de aviso
SPADE	Programação em LOGO	Regras	Sobreposição	Ambiente reativo com treinador
KBSimulator	Doenças cardiovasculares	Regras	Sobreposição	Diálogo de iniciativa mista
STASEL	Princípios de estilo sintático	“Frames”	Diálogo baseado em regras	Ambiente reativo com aviso (sem função tutora)
SIAETCE	Traumatologia crânio-encefálica	“Frames”	Sobreposição	Ambiente reativo com aviso

Fonte: Pozo (1996)

Além dos resumos no Quadro 3, outros Sistemas Tutoriais Inteligentes merecem especial atenção.

Clarkson e outros (et al., 1994) apresentaram um STI para Estatística, chamado VITAL. O sistema utiliza uma abordagem chamada instrução baseada em “facets”, que já obteve bons resultados no ensino de física. Um “facet” é uma *“unidade conveniente de pensamento, entendimento ou raciocínio; um tópico de conhecimento ou uma estratégia aparentemente usada por um estudante em uma situação particular”*. Os “facets” podem ser classificados em “novatos” (conceitos que um iniciante utilizaria) e “especialistas” (os conceitos que se espera que o estudante venha a adquirir). Os autores coletaram um catálogo de “facets” sobre Estatística Introdutória (assumida como a parte mais difícil do trabalho).

¹⁷ Forma de representação do conhecimento do domínio.

¹⁸ Sobrepor solução do especialista e do estudante para sugerir mudanças.

A inteligência no VITAL reside na estratégia de seleção do material que será apresentado para guiar o estudante, baseado em um modelo deste estudante (que consiste em avaliar a probabilidade de que, de acordo com o desempenho do estudante, ele tenha um determinado “facet”). Os autores não haviam completado a estratégia instrucional quando da publicação do trabalho, e aparentemente a pesquisa não prosseguiu, pois não foram mais encontradas referências a respeito. Em comunicação eletrônica pessoal (Clarkson,1999) um dos autores disse que a pesquisa pouco progrediu desde 1994.

Reinhardt e Schewe (1995) sugerem uma “shell” para construção de STI’s, reduzindo os altos custos com a elaboração de sistemas dedicados. Apresentaram um STI para reumatologia, construído a partir de uma outra “shell”, a D3, para construção de sistemas especialistas.

Reye (1995) declara que a arquitetura de um STI deve estar centrada nos objetivos pedagógicos que se pretende atingir, para a partir deles escolher as ações mais adequadas para atingi-los, possibilitando uma tutoria flexível. Argumenta que os STI’s usualmente propõem uma seqüência de ações, *esperando* que após cumpri-las os objetivos sejam atingidos.

Um conceito extremamente interessante, e que pode ser usado para a construção de Sistemas Tutoriais Inteligentes foi o ambiente SIMPLE, proposto por Marcy e Hagler (1996): Simplified Implementations of Multi-Media Peripatetic Learning Environments (Implementação Simplificada de Ambientes Peripatéticos Multimídia de Aprendizagem). Trata-se de uma ferramenta para construção de ambientes de aprendizagem, em praticamente qualquer domínio de conhecimento, desenvolvida em Visual Basic para plataformas IBM-PC, com custo zero para aplicações educacionais. O SIMPLE permite combinar softwares existentes, construir questões e apresentá-las aos usuários, os passos seguidos pelos usuários

podem ser gravadas e avaliadas posteriormente (este mecanismo, porém, apresenta alguns inconvenientes operacionais). A chave para isso é uma filosofia “direcionada para os dados”, tudo que compõe a estrutura do ambiente de aprendizado está contido em uma base de dados relacional, que contém apenas as referências aos programas e arquivos, facilitando muito a manutenção do ambiente. Na época em que o artigo foi publicado os autores estavam modificando o sistema para torná-lo praticamente uma “shell” para construção de Sistemas Tutoriais Inteligentes. Não obstante, em comunicação eletrônica pessoal (Marcy,2000), um dos autores afirmou que após o advento de ferramentas de autoria para a construção de ambientes interativos na INTERNET, a implementação em Visual Basic foi abandonada.

2.6.5 – Outras Aplicações de Inteligência Artificial em Educação

Há outras aplicações interessantes de IA em educação além dos STI's.

O Sistema Especialista “Understanding Statistics” (Roberts¹⁹ apud Nassar,1995) é um curso introdutório de Estatística destinado a principiantes, com seis módulos apresentando conteúdo para uma variedade de cursos introdutórios de Estatística. Dispõe de gráficos expositivos, simulação e animação, além de facilidades para a análise de dados a ser realizada pelo usuário.

Recentemente foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina um Sistema Especialista para apoio ao ensino de Estatística, que recebeu o nome de SEstat (Cechinel e Moreira,1998) (Cechinel et al., 1999). O Sistema é uma continuação do trabalho iniciado no Sistema Inteligente para Apoio a Pesquisas Médicas (Nassar,1995).

¹⁹ ROBERTS, D. Understanding Statistics: A Computer Package for Teaching and Learning Statistics. The American Statistician, Vol.47, No.1, pp. 40-47, 1993.

O SEstat tem como principal objetivo oferecer apoio ao ensino da análise estatística de dados, dentro de um ambiente de ensino/aprendizagem, e foi implementado utilizando Inteligência Artificial Distribuída. O conhecimento estatístico foi dividido e distribuído entre módulos (objetos), dando assim a cada módulo uma característica e uma tarefa específica. Os módulos possuem a capacidade de se comunicarem entre si e de decidir qual módulo é mais capaz de executar determinada tarefa. A partir de uma Base de Dados (em formato .dbf) fornecida pelo usuário, o SEstat faz um conjunto de perguntas a ele, e fornece ao mesmo suporte para que essas perguntas sejam respondidas corretamente. Ao longo da interação do usuário com o sistema, o caminho a ser percorrido nesta interação é escolhido através das respostas dadas pelo usuário às perguntas referentes a análise estatística que se está realizando. No final da interação, o sistema escolhe e aplica uma técnica de análise estatística para os dados fornecidos pelo usuário, e explica ao mesmo porquê aquela técnica foi escolhida, bem como apresenta explicações que possibilitam a interpretação dos resultados estatísticos encontrados. O SEstat foi introduzido na disciplina de Métodos Estatísticos oferecida para os cursos de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, a partir do primeiro semestre letivo de 1999, e faz parte do Projeto Piloto de Apoio à Informatização do Ensino de Graduação em Engenharia da SESU/MEC, sendo os resultados extremamente animadores.

Outra aplicação interessante foi apresentada pela North Dakota State University (Slator et al.,1999). Foi desenvolvido um ambiente virtual, chamado planeta Oit, onde são dados os meios e os equipamentos para os estudantes realizarem a exploração do planeta como geólogos, dentro de um jogo educacional com as seguintes características:

- exploração de um mundo virtual orientado espacialmente;
- planejamento de uma expedição e tomada de decisões com orientação eminentemente prática;

- resolução científica de problemas.

O sistema estava em fase final de protótipo e deverá incluir aspectos de multimídia para facilitar a interação com os usuários.

2.6.6 – Aplicações de Inteligência Artificial em Controle Estatístico da Qualidade

O número de aplicações de Inteligência Artificial em CEQ é bastante expressivo. Há aplicações de Inteligência Artificial Simbólica (basicamente Sistemas Especialistas), Inteligência Artificial Conexionista (especialmente Redes Neurais para Reconhecimento de Padrões), Lógica Difusa, e Sistemas Híbridos (utilizando dois ou mais paradigmas).

2.6.6.1 – Sistemas Especialistas

Dentre as principais aplicações de Inteligência Artificial Simbólica destacam-se Sistemas Especialistas (SE's) para auxiliar na escolha de técnicas de CEQ para a resolução de um problema específico.

Ewans e Lindsay (1988) afirmam que as atividades baseadas no conhecimento encaixam-se no desenvolvimento e uso de um sistema de CEP em basicamente dois pontos: interpretação dos Gráficos de Controle e determinação das causas dos padrões não naturais encontrados (que indicam processo fora de Controle Estatístico). Sistemas automáticos de inspeção e detecção de padrões podem ser implementados, e as eventuais alterações necessárias no processo podem ser implementadas manual ou automaticamente. Os autores preconizam a utilização de um Sistema Especialista para combinar Inspeção, Detecção e Correção de uma forma automática, e também declaram que o problema de escolha e interpretação de Gráficos de Controle pode ser resolvido através de Inteligência Artificial também por um Sistema Especialista. Defendem a utilização de uma “shell” para o

desenvolvimento de tais Sistemas, pois isso evitaria a necessidade de programar a máquina de inferência, podendo manter o foco na aquisição, representação e manipulação do conhecimento.

Em trabalho que é quase um clássico Dagli e Stacey (1988) sugerem um Sistema Especialista para a escolha de Gráficos de Controle. O CEP é uma ferramenta muito importante para a melhoria da Qualidade e conhecimento do processo produtivo sob análise. Mas a solução de problemas nos processos não é determinística, e há muitos cursos de ação, um dos problemas é justamente a escolha do Gráfico de Controle mais adequado para avaliar um processo: neste ponto a habilidade de um especialista poderia ser modelada por um Sistema Especialista, auxiliando a resolução do problema, determinando o Gráfico mais adequado e fornecendo recomendações para o seu uso.

Chen (1991) propõe um Sistema Especialista para auxiliar no Planejamento de Experimentos industriais. O SE poderia contribuir muito para a disseminação das técnicas de Planejamento de Experimentos, uma vez que o principal obstáculo à sua utilização generalizada é a pouca familiaridade dos engenheiros com os conceitos necessários. A partir de informações sobre o processo fornecidas pelo usuário (a partir de questões apresentadas pelo SE) são recomendadas as diretrizes para o experimento. O autor também declara ser viável, com alguma adaptação a utilização do SE como tutorial (uma vez que a cada pergunta do SE o usuário pode perguntar “por que” ela está sendo feita e “o que” ela significa).

Cheng e Hubele (1992) declaram que há poucas aplicações de Sistemas Especialistas em Controle Estatístico de Processos –CEP (ou pelo menos havia até a data do seu trabalho). A resolução de problemas em CEP envolve a interpretação de dados, diagnóstico de causas e correção de eventuais problemas encontrados, e muitas vezes é difícil reunir o conhecimento

necessário para todas essas tarefas em uma única pessoa: seria possível, porém, codificar esse conhecimento em um SE. Os autores propõem um SE para analisar Gráficos de Controle \bar{X} e R, com as seguintes características: um algoritmo convencional em linguagem C avalia os gráficos, procurando por padrões não aleatórios; uma vez encontrado um padrão um SE baseado em regras, implementado em linguagem PROLOG, determinará se tal padrão sugere que o processo está fora de Controle Estatístico (para que as devidas correções sejam efetuadas). Alertam também que o conhecimento oriundo da experiência em CEP precisa ser adequadamente organizado para possibilitar uma busca eficiente, e sugerem um método de “clusterização” (semelhante ao utilizado no Sistema Especialista PROSPECTOR de prospecção mineral), mas com uma nova medida de similaridade mais eficiente. Devido à adição de um mecanismo de explanação das decisões tomadas os autores acreditam que o Sistema Especialista poderia ser empregado para apoiar processos de ensino/instrução de CEP.

Epprecht e Machado Neto (1996) desenvolveram um protótipo de Sistema Especialista com diversos objetivos: selecionar o Gráfico de Controle para um Característico da Qualidade, determinar tamanho das amostras, determinar frequência da amostragem, determinar o critério de formação de subgrupos, calcular os parâmetros para Gráficos de Controle, etc. A interação entre o usuário e o SE é feita através de perguntas e respostas, e o conhecimento foi representado através de um paradigma orientado a objetos (o Sistema foi implementado através da “shell” Kappa-PC®). O que foi realmente implementado até o momento foi a escolha de Gráfico de Controle e a determinação de tamanho de amostra, bem como um mecanismo de explicação permitindo que o usuário saiba “por que” cada pergunta está sendo feita, e “o que” ela significa (quais os conceitos envolvidos). Os autores preconizam a expansão do SE e a sua integração com outros programas para a interpretação de resultados de Gráficos de Controle, melhoria da interface, etc. Os autores sugerem ainda o

desenvolvimento de um Sistema de ensino de CEQ assistido por computador, para auxiliar no aprendizado dos principais conceitos envolvidos que parecem não ser dominados com a profundidade que seria desejável dentro das empresas.

2.6.6.2 - Aplicações de Inteligência Artificial Conexionista

As aplicações de Inteligência Artificial Conexionista em CEQ são as mais numerosas, especialmente em Reconhecimento de Padrões em Gráficos de Controle (onde este paradigma vem substituindo as tradicionais regras heurísticas). Serão enumeradas algumas das mais recentes.

Guo e Dooley (1992) aplicaram Redes Neurais e técnicas Bayesianas para identificar mudanças na média ou na variabilidade de um Característico da Qualidade. Para testar sua abordagem utilizaram métodos de simulação numérica para gerar os diferentes padrões e concluíram que os dois métodos testados são mais eficientes na identificação de mudanças do que as regras heurísticas comumente utilizadas.

Pham e Oztemel (1994) desenvolveram um sistema para Reconhecimento de Padrões em Gráficos de Controle usando Redes Neurais de Kohonen. Nas simulações realizadas concluíram que os resultados são melhores do que os obtidos com Redes Neurais que usam “backpropagation”, ou do que aqueles obtidos com regras heurísticas.

Smith (1994), porém, utiliza Redes Neurais com “backpropagation” para Reconhecimento de Padrões, detectando amostras que apresentam mudanças tanto em média quanto em variabilidade do Característico da Qualidade. Os resultados obtidos (por meio de simulação) foram comparáveis aos Gráficos de Controle \bar{X} e R para grandes desvios e superiores para os casos de pequenos desvios.

Hwarng (1995) propôs o Reconhecimento Automático de Padrões Cíclicos através de várias Redes Neurais (perceptrons) multi-camadas, que trabalham de forma conjunta, cada uma responsável por Ciclos de determinado período. Estudos de simulação indicaram resultados semelhantes aos de um Reconhecedor de Padrões não especializado, sendo superior quando lidando com Ciclos (como era de se esperar).

Hwarng e Chong (1995), propuseram a aplicação da Teoria de Ressonância Adaptativa (Adaptive Resonance Theory – ART). Desenvolveram um Reconhecedor de Padrões em Gráficos de Controle com ART, capaz de aprendizado rápido e cumulativo (as Redes Neurais com “backpropagation” não permitem tal performance).

Cheng (1997) propõe uma abordagem para a análise de padrões em Gráficos de Controle. É feito o Reconhecimento Automático de Padrões não naturais através de dois tipos de Redes Neurais: um perceptron multi-camadas treinado por “backpropagation” e uma Rede Neural Modular. Novamente, por meio de simulação, concluiu-se que ambos os tipos tiveram boa performance, mas a Rede Modular apresentou melhor desempenho quando há interferências (ruídos) nos padrões.

2.6.6.3 – Outras Aplicações e Aplicações Híbridas de Inteligência Artificial

No que tange à Lógica Difusa e Sistemas Híbridos o número de aplicações é mais limitado. Serão citados os mais interessantes.

Chacon Reinoso (1989) propôs um Sistema Especialista Difuso para a Monitoração, Análise, Diagnóstico e Supervisão de um processo de manufatura. Na Monitoração seriam coletados dados e plotados Gráficos de Controle de Shewhart e EWMA, na Análise seria avaliada a existência de instabilidade no processo (através de testes heurísticos clássicos, onde cada teste é um conjunto difuso com um grau de pertinência para a instabilidade), no

Diagnóstico o relacionamento entre “sintomas” e causas de problemas é modelado por matrizes relacionais difusas. Chuang (1992) estendeu esse trabalho para processos em que vários Característicos da Qualidade precisam ser monitorados simultaneamente (CEP Multivariado – múltiplos parâmetros de processo).

Wang e Raz (1990) propõem a construção de Gráficos de Controle por Atributos utilizando variáveis lingüísticas, onde cada variável lingüística seria representada por Conjuntos Difusos. Seriam eliminados então todos os problemas decorrentes da classificação binária usada na Avaliação por Atributos (“Bom”, “Defeituoso”) que pode não ser a mais apropriada em muitas situações.

Um sistema híbrido interessante foi sugerido por Chang e Aw (1996): um Gráfico de Controle Neuro-Difuso para identificar desvios na média do Característico da Qualidade. Uma Rede Neural multi-camada é treinada por “backpropagation” para detectar vários tipos de desvios na média do processo. Uma vez treinada a Rede o sistema é submetido aos dados em tempo real do processo, os resultados da Rede são então classificados através de Conjuntos Difusos para determinar a magnitude e direção do desvio. Através de estudos de simulação os autores concluíram que o Gráfico Neuro-Difuso apresenta melhor performance do que os Gráficos \bar{X} e CUSUM em termos de ARL (*Average Run Length* – Número Médio de Pontos plotados antes do Gráfico de Controle indicar que o processo está fora de Controle Estatístico²⁰), e ainda permitem identificar a magnitude dos desvios. Como inconveniente o Gráfico Neuro-Difuso utiliza apenas dados normalizados, admite apenas amostras de cinco elementos (a camada de entrada da Rede Neural tem apenas cinco nós), e não é analisada a variabilidade do processo.

²⁰ Há dois objetivos: detectar perturbações no processo assim que possível (pequeno ARL quando estiver fora de controle), mantê-lo em operação pelo maior tempo possível quando estiver sob controle (grande ARL quando estiver sob controle).

Balestrassi (2000) propôs um sistema utilizando redes neurais e modelagem por séries temporais para identificar padrões em Gráficos de Controle. Os dados podem ser tanto independentes e identicamente distribuídos, quanto autocorrelacionados, pois são modelados através modelos AR (Autoregressivos), ARMA (Média Móvel Autoregressiva) ou ARIMA (Média Móvel Autoregressiva Integrada). Os resíduos obtidos da modelagem são plotados em Gráficos de Controle, e sobre estes atua uma rede neural, que faz o reconhecimento de padrões em *tempo real*. O sistema foi testado em relação a ferramentas convencionais e os resultados foram superiores.

2.7 – Outras Aplicações de Informática no Ensino de CEQ

Como não poderia deixar de ser, muitos pesquisadores procuraram informatizar o ensino/instrução de CEQ, da mesma forma que em muitos outros campos de conhecimento. As técnicas utilizadas não podem ser enquadradas como Inteligência Artificial, por isso mereceram um tópico específico. Algumas destas aplicações foram escolhidas para um estudo mais aprofundado.

2.7.1 – Simulador de Llaugel e Confesor

Llaugel e Confesor (1997) apresentaram um simulador de um processo, para desenvolver as habilidades dos estudantes no reconhecimento de padrões em Gráficos de Controle de médias. Os autores procuraram fazer uma aproximação entre a sala de aula e um processo produtivo real.

O processo produtivo modelado consiste em encher frascos com um medicamento

líquido, controlado por uma válvula. O conteúdo do medicamento deve ser mantido dentro das especificações: se houver excesso há um custo associado, se houver falta o cliente pode devolver um lote inteiro de frascos (o que acarretará um custo ainda maior). O estudante deve controlar o processo decidindo o quanto a válvula deve ser fechada ou aberta, de acordo com a sua percepção de como está o desempenho do processo naquele momento. Para poder mensurar o desempenho do processo o estudante define a frequência com que serão retiradas amostras aleatórias de 10 frascos e medir o seu conteúdo (cada retirada de amostras também tem um custo associado). O programa calcula o custo total decorrente das decisões do estudante, e este custo deve ser mantido mínimo.

O público alvo do simulador são estudantes de graduação em engenharia e operários de piso de fábrica. A interação seria conduzida da seguinte forma:

- o instrutor passa parâmetros para o programa, indicando se a variação na média será crescente ou decrescente, mas o valor do desvio é definido de forma aleatória pelo próprio programa.
- equipes de estudantes avaliam o processo e devem identificar os desvios antes que os problemas tornem-se mais sérios.
- o programa gera um alarme quando há excesso de líquido nos frascos, ou quando um cliente retorna um lote.
- para verificar o desempenho do processo a equipe pede uma amostra aleatória de 10 frascos, o programa calcula o conteúdo de cada uma, a média, intervalo e desvio padrão da amostra e plota o valor em um gráfico de médias.
- a equipe analisa o gráfico e decide o quanto a válvula deve ser fechada ou aberta.
- a equipe que obtiver a maior Qualidade e o menor custo recebe a maior nota.

Os autores reconhecem que o simulador era limitado, e que seria aconselhável incluir

desvios na variabilidade, variar o número de pontos em cada Gráfico de Controle, e implementar outros tipos de Gráficos. Não obstante, relatavam sucesso na utilização. Uma nova versão estava em desenvolvimento, incluindo componentes multimídia.

Apesar de interessante, o simulador proposto não contempla alguns aspectos importantes:

- não há referências sobre como escolher e delinear a técnica mais adequada.
- não há referências sobre outras técnicas de CEQ, como Estudos de Capabilidade de Processos.
- não há como acompanhar as ações dos estudantes quando da interação, para que fosse possível orientá-los (os próprios autores reconhecem isso e sugerem como melhoria).

2.7.2 – Simulador de Freeman e Evangeliou

Freeman e Evangeliou (1996) propuseram um simulador, chamado SQCC_ATT, para Gráficos de Controle por Atributos apenas. A interface do simulador é baseada em menus, que permitem que o usuário escolha demonstrações ou testes.

As demonstrações podem incluir a comparação do desempenho entre Gráficos de Controle p e CUSUM para p, observando seus ARLs, ou a observação do efeito de diferentes desvios nos ARLs dos Gráficos.

Nos testes os usuários avaliam Gráficos de Controle p, e decidem se houve algum desvio, quando tal desvio ocorreu, e a sua magnitude. Suas decisões são registradas e seus desempenho calculados, o que permitiria identificar necessidade de mais treinamento.

O principal inconveniente deste simulador é a sua limitação aos Gráficos de Controle

por Atributos, especialmente os derivados da fração de defeituosos. Não há previsão de acompanhamento das ações do usuário quando da realização do teste, e também não está muito claro de que forma o sistema seria utilizado dentro de um programa de treinamento.

2.7.3 – O simulador de Cheng e Dawson

Cheng e Dawson (1998) realizaram uma pesquisa sobre a prática, problemas e necessidades de treinamento do Controle Estatístico de Processos (CEP), em dez empresas britânicas. Identificaram como necessidades prementes: entendimento conceitual do CEP, habilidades de solução de problemas, interpretação de Gráficos de Controle, e percepção da relevância do CEP para os produtos e processos da empresa. Como consequência, os fatores necessários para um pacote de treinamento ideal para CEP seriam:

- o sistema deveria ter adaptações para os diferentes níveis da organização, modificando o conteúdo e metodologia de acordo com o tipo de usuário.
- orientação eminentemente prática, conteúdo especialmente planejado para a organização.
- utilização de um enfoque baseado em projetos, que parece ser o mais bem sucedido em treinamentos “convencionais”.

Com base nos resultados de tal pesquisa um dos autores (Cheng) propôs um ambiente de treinamento interativo, chamado SPC-ITE (Statistical Process Control – Interactive Training Environment) (Cheng,1998). O ambiente permite a simulação de um processo produtivo que o usuário controla interativamente através de Gráficos de Controle de \bar{X} e R. Ao final de cada ciclo de produção o usuário recebe informações sobre a Qualidade, custo e tempo obtidos, e ao comparar diferentes esquemas de controle espera-se que ele compreenda o papel do CEP.

O sistema apresenta as seguintes características :

- adaptabilidade, o instrutor pode fazer o sistema simular cenários para diferentes ramos de indústria e circunstâncias.
- possibilidade de variar tamanhos de lotes de produção e de amostras, bem como frequências de amostragem.
- possibilidade de variar a forma das causas comuns de variação.
- possibilidade de escolher diferentes tipos de causas especiais de variação.
- possibilidade de definir se os períodos entre as ocorrências das causas de variação serão regulares ou variáveis.
- possibilidade de que o usuário execute ações para remover as causas especiais de variação.
- inclusão de funções de custo da Qualidade.
- possibilidade de calcular os custos e tempos necessários para produzir os itens, mensurá-los e tomar atitudes corretivas.

Infelizmente o projeto encontra-se estagnado desde abril de 1998, pois é necessário que alguma empresa interesse-se em avaliar o sistema.

Embora o SPC-ITE tenha diversos pontos positivos há alguns inconvenientes na sua abordagem:

- apenas um tipo de Gráfico de Controle é abordado.
- a avaliação do desempenho do usuário é feita após o término da interação, não havendo a previsão de que algum módulo tutor viesse a auxiliá-lo durante o processo, evitando a repetição de erros.
- não está suficientemente claro como o SPC-ITE será utilizado em um programa de treinamento, se como uma ferramenta a mais ou como único componente.

2.8 – Considerações finais

Este Capítulo apresentou a fundamentação teórica e empírica da proposta de ensino para o Controle Estatístico da Qualidade - CEQ, que será apresentada no Capítulo 3, e do Sistema Tutorial Inteligente que dela fará parte, que será apresentado no Capítulo 4.

No que tange aos conceitos da Qualidade e CEQ foram apresentadas suas principais características, as quais deveriam constar do conteúdo de qualquer programa de ensino/instrução de CEQ.

Quanto às técnicas de CEQ empregadas nas empresas, basicamente resumem-se ao Controle Estatístico de Processos – CEP e Estudos da Capabilidade de Processos. Uma inferência razoável seria priorizar o ensino de tais tópicos, fazendo-o mais detalhado e prático, devido à sua maior disseminação.

Quanto ao ensino de CEQ, foram observados os currículos e metodologias utilizados em instituições de ensino superior no Brasil, e as aplicações existentes de informática (incluindo Inteligência Artificial) no ensino de CEQ. Não se encontrou nenhum Sistema Tutorial Inteligente para CEQ, e as diversas aplicações existentes apresentam algumas limitações que comprometem seu uso, seja pelo limitado número de técnicas, seja pela forma como acompanham os passos do usuário.

Conclui-se que é oportuno o desenvolvimento de uma nova proposta de ensino de CEQ, que permita que o estudante tenha acesso a todos os conceitos necessários, e possa praticar tais conceitos em um ambiente interativo supervisionado.

CAPÍTULO 3 – MODELO PARA O ENSINO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE

No Capítulo 2 foram examinados os fundamentos teóricos e empíricos deste trabalho. Com base nas conclusões obtidas anteriormente este Capítulo apresentará o modelo para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade, incluindo o conteúdo e a metodologia, com as justificativas para tal. O modelo integrará também um Sistema Tutorial Inteligente - STI, cujas principais características também serão discutidas, e o próprio STI será apresentado em detalhe no Capítulo 4.

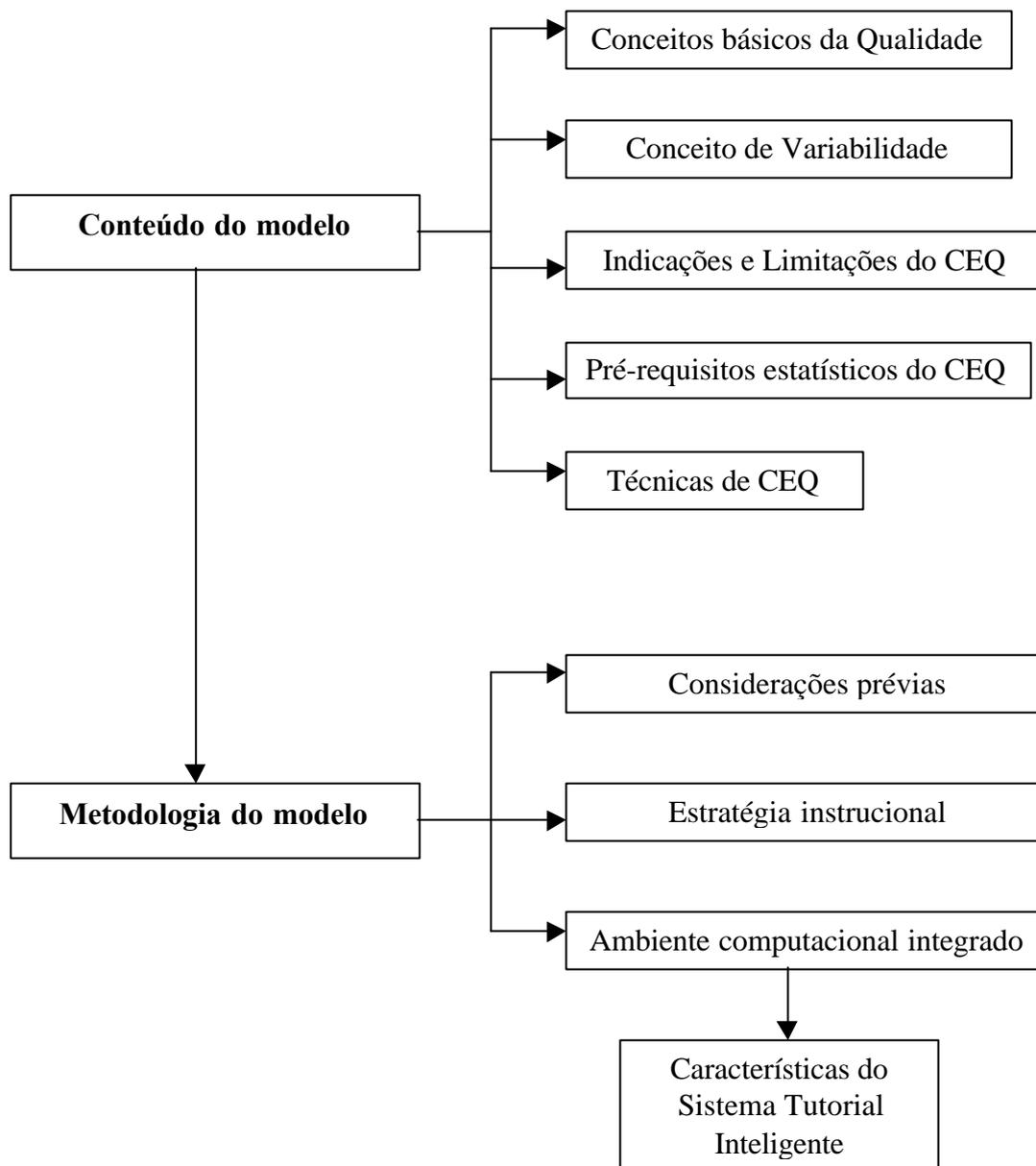
3.1 – Introdução

O modelo para o ensino que será apresentado não pretende esgotar completamente o assunto Controle Estatístico da Qualidade. Trata-se de um campo de conhecimento por demais vasto para ser resumido em um único modelo, que possa vir a se materializar em uma disciplina regular de graduação ou programa de treinamento.

Os itens que serão apresentados foram considerados como os mais importantes para que o modelo, uma vez implementado, contribua para uma melhor compreensão do CEQ, e portanto melhor utilização de suas técnicas nas organizações. Tais itens são o conteúdo do modelo e a metodologia sugerida. Adotou-se esta divisão para facilitar a construção do modelo, e também para possibilitar que eventuais adaptações para outros públicos alvo (que não os estudantes de Engenharia) pudessem ser feitas sem maiores problemas: modificações no conteúdo não afetariam demasiadamente a metodologia, e vice-versa.

O teor deste Capítulo pode ser expresso pela Figura 6.

Figura 6 – Modelo para o Ensino de CEQ



O conteúdo do modelo será dividido em cinco seções: Conceitos básicos da Qualidade, Conceito de Variabilidade, Indicações e limitações do CEQ, Pré-requisitos estatísticos do CEQ e Técnicas de CEQ. A metodologia incluirá algumas considerações prévias (que orientaram o seu desenvolvimento), a estratégia instrucional proposta e o ambiente computacional integrado, um Sistema Tutorial Inteligente, que terá suas principais características descritas, incluindo a abordagem de Inteligência Artificial e a ferramenta

escolhida para o desenvolvimento.

3.2 – Conteúdo do modelo

Cada seção conterá uma das subdivisões apresentadas na Figura 6, e também as justificativas para a inclusão dos conceitos. Grande parte dos tópicos já foram apresentados no Capítulo 2, sempre que necessário serão enumerados os itens para consulta.

3.2.1 – Conceitos básicos da Qualidade

Este tópico incluirá as definições sobre a Qualidade, toda a terminologia utilizada, e referência às filosofias da Qualidade, especialmente à filosofia adotada para a proposta.

3.2.1.1 – Por que os conceitos básicos da Qualidade devem fazer parte?

Não seria exagero afirmar que é praticamente impossível entender os conceitos e aplicar as técnicas e interpretar corretamente os resultados do CEQ sem dominar o básico sobre Qualidade. É preciso ter uma noção apropriada do papel do CEQ dentro da política da Qualidade de uma organização.

3.2.1.2 – Filosofia adotada

Na seção 2.2.1.2 foram apresentadas as filosofias da Qualidade, destacando-se alguns autores como Deming, Juran, Feigenbaum e Taguchi. O autor deste trabalho acredita que, sem desmerecer nenhuma das outras, a filosofia mais interessante, e que norteia este trabalho é a de Deming. O grande mérito da filosofia deste autor é a sua abrangência: é mais do que uma forma de aplicar métodos de CEQ, ou mesmo de avaliar a Qualidade, é uma nova teoria de administração, em que a organização é compreendida como um sistema, e que um ambiente “ganha-ganha” de busca da melhoria contínua da Qualidade é a melhor solução (Anjard,

1995). Os resultados falam por si: quando Deming iniciou suas palestras no Japão em 1950 o parque industrial estava arrasado pela guerra, e os produtos tinham uma lendária reputação de má Qualidade, em menos de uma década a situação estava revertida, e já em 1951 foi instituído o prêmio Deming para recompensar a empresa japonesa que obtivesse a melhor Qualidade (ASQC,1999).

3.2.1.3 – Tópicos sobre conceitos básicos da Qualidade

Os tópicos que farão parte dos conceitos básicos da Qualidade são descritos no Quadro

4.

Quadro 4 - Tópicos sobre Conceitos Básicos da Qualidade

Tópico	Conteúdo	Justificativa
Abordagem da Qualidade	Centrada no cliente (Garvin ²¹ apud Paladini,1995), sistêmica (Paladini,1995).	O estudante precisa compreender que a organização existe para os clientes e que deve ser encarada como um sistema.
Necessidades do cliente	Descobertas por pesquisa de mercado, traduzidos em Característicos e Características da Qualidade (ver Capítulo 2) ²² . Avaliação da Qualidade	O estudante precisa perceber a importância de identificar as necessidades dos clientes e em avaliar os aspectos que determinam se são atendidas ou não.
Definições e terminologia da Qualidade	Tal como apresentadas nas seções 2.2.1 e 2.2.1.1.	Necessário para que o estudante compreenda os diversos tópicos posteriores.
Qualidade de projeto e Qualidade de Conformação	Tal como apresentadas na seção 2.2.1 (Paladini, 1995)	Necessário para a compreensão do papel do CEQ na avaliação da Qualidade.
Noções sobre TQM	Tal como apresentada na seção 2.2.1.2	O estudante precisa perceber que todos os integrantes da organização têm que estar comprometidos com a Qualidade para que o CEQ seja mais do que uma ferramenta de monitoramento.
Noções sobre ISO9000 e ISO14000	Tal como apresentadas na seção 2.2.1.3	O estudante precisa conhecer o efeito destes padrões no gerenciamento da Qualidade, pois há grande chance de ser envolvido em um processo de certificação no futuro.

²¹ GARVIN, D. What does “Product Quality” really mean? Sloan Management Review, p.25-43, Fall 1984.

²² Neste processo poderia ser usada um diagrama da função de desdobramento da Qualidade (QFD).

Embora todos os tópicos sejam importantes, o aprofundamento em cada um deles estaria fora do escopo deste modelo. O ideal seria a existência de uma disciplina e/ou treinamento específicos para os aspectos gerenciais da Qualidade, mas na impossibilidade de tal solução caberia ao instrutor avaliar a oportunidade de detalhar ou não os itens descritos no Quadro 4.

3.2.2 – Conceito de Variabilidade

Este tópico conterà as definições de variabilidade, por que deve ser descrita e controlada, e a classificação das causas de variação.

3.2.2.1 – Por que o conceito de Variabilidade deve fazer parte?

O conceito de Variabilidade é absolutamente indispensável para o entendimento e aplicação correta do Controle Estatístico da Qualidade, e a compreensão do que é a Variabilidade é uma das chaves para definir ações para a melhoria da Qualidade (Dahlgaard et al., 1998) (Starkey et al., 1996).

Todas as técnicas que compõem o CEQ têm como ponto pacífico que o conceito de Variabilidade seja compreendido pelos praticantes: que estes saibam definir quais são as causas de variação de um processo, quando tal processo pode ser considerado sob ou fora de controle estatístico, e quais ações podem ser tomadas para identificar as causas de variação. É preciso que fique claro também quais ações são cabíveis para cada tipo de causa: de nada adianta culpar os operadores por uma partida de matéria-prima ruim, ou máquinas que não sofrem manutenção adequada porque resolveu-se cortar custos “supérfluos”, entre outros problemas.

3.2.2.2 – Tópicos sobre conceito de Variabilidade

Os tópicos que farão parte do Conceito de Variabilidade são descritos no Quadro 5.

Quadro 5 - Tópicos sobre o Conceito de Variabilidade

Tópico	Conteúdo	Justificativa
Definição de Variabilidade	Tal como nas seções 2.2.1.1 e 2.3.1, deixando claro que sempre existirá.	O estudante precisa compreender que os valores dos Característicos comportam-se como variáveis aleatórias.
Causas da Variabilidade	Causas especiais e comuns, tais como na seção 2.3.1.1, deixando claro que procura-se obter a estabilidade do processo (apenas causas comuns atuando), para poder fazer previsões sobre seus resultados.	O estudante precisa entender as diferenças entre os tipos de causas, e que somente poderá opinar sobre a capacidade de um processo quando este for estável.
Descrição e controle da Variabilidade	Descrição sistemática da Variabilidade é necessária para controlá-la e reduzi-la: métodos estatísticos precisam ser usados (Deming,1990)	O estudante precisa conhecer os efeitos da Variabilidade excessiva sobre os Característicos da Qualidade (e sobre a organização como um todo), para que possa perceber a necessidade de controlá-la, e a importância dos métodos estatísticos para descrevê-la.

Este tópico deve deixar claro que “não há como fugir da Estatística”, métodos estatísticos precisam ser usados para descrever a Variabilidade, pois proporcionam a única forma sistemática de descrevê-la, pois as decisões precisam ser baseadas em fatos. Outro aspecto que precisa ficar claro é que uma vez que apenas causas comuns estejam atuando sobre o processo muito provavelmente ações administrativas, fora do alcance dos operadores, serão necessárias para melhorar a Qualidade.

3.2.3 – Indicações e Limitações do CEQ

Basicamente este tópico apresentará o que o CEQ pode e o que não pode fazer pela melhoria da Qualidade, descrevendo especificamente os objetivos de cada uma das suas subdivisões.

3.2.3.1 – Por que as indicações e limitações do CEQ devem fazer parte?

É imprescindível que o estudante tenha uma idéia exata do potencial e limitações das técnicas, para que possa futuramente escolher e delinear a técnica mais apropriada para a resolução de um problema, ou mesmo apenas interpretar os resultados que lhe forem apresentados.

3.2.3.2 – Tópicos sobre limitações e indicações do CEQ

Os tópicos que farão parte deste item estão descritos no Quadro 6.

Quadro 6 - Limitações e Indicações do CEQ

O que o CEQ NÃO pode fazer!	O que o CEQ PODE fazer!
Não pode substituir ou remediar uma pesquisa de mercado deficiente, que não soube identificar corretamente as necessidades dos clientes.	Monitorar a Qualidade de Conformação do produto, pela descrição sistemática da Variabilidade dos seus Característicos, indicando quando há suspeitas de não ser aleatória, e possibilitando encontrar as causas e oportunidades de melhoria (CEP).
Não pode substituir ou remediar um projeto de produto deficiente que não soube traduzir as necessidades dos clientes em um produto apropriado e claras especificações.	Avaliar se os Característicos da Qualidade, uma vez estabilizado o processo, atingem os valores estabelecidos nas especificações (Estudos de Capabilidade de Processos).
Não pode substituir ou remediar um projeto de processo deficiente que não soube viabilizar econômica e tecnologicamente a produção do produto.	Testar diferentes valores das variáveis do processo, observando seus efeitos nos Característicos da Qualidade, de modo que seja possível reunir elementos para sugerir melhorias no processo (Planejamento de Experimentos).
Não pode contribuir para a melhoria da Qualidade quando não há comprometimento de toda a organização, especialmente da alta administração com a Qualidade.	Avaliar se uma amostra do produto atende aos padrões para, a partir disso, recomendar a aceitação ou rejeição de um lote do produto (Aceitação por Amostragem).

3.2.4 – Pré-requisitos estatísticos do CEQ

Alguns conceitos básicos de Estatística precisam ser incluídos no modelo para o ensino do CEQ, a título de revisão.

3.2.4.1 – Por que os pré-requisitos estatísticos do CEQ devem fazer parte?

Para modelar a Qualidade de um processo é preciso descrever a sua Variabilidade. O único modo sistemático de fazer isso é através de métodos estatísticos (e as técnicas de CEQ exigem a compreensão dos conceitos básicos), portanto é preciso revisar os conceitos básicos de Estatística. Não obstante, supõe-se que os alunos já cursaram alguma disciplina de Estatística e Probabilidade, ver seção 1.4).

3.2.4.2 – Tópicos sobre pré-requisitos estatísticos do CEQ

Os tópicos podem ser subdivididos em dois grupos: os relacionados à Descrição/Exploração da Variabilidade, e aqueles relativos a Inferências sobre a Qualidade do processo, expostos nos Quadros 7 e 8.

Quadro 7 - Tópicos sobre Descrição/Exploração da Variabilidade

Tópico	Conteúdo	Justificativa
Ferramentas tabulares e numéricas de sumarização estatística	Distribuição de frequências, média, mediana, moda, variância, desvio padrão.	É preciso avaliar a tendência central e dispersão da distribuição do Característico.
Ferramentas gráficas de sumarização estatística	Histograma, ramo e folhas, diagrama de pontos (ver seção 2.3.1.2).	Necessárias para obter uma idéia da distribuição do Característico
Distribuições discretas de probabilidade	Bernoulli, binomial, Poisson, hipergeométrica	Necessárias para compreender as técnicas do CEQ quando a avaliação é por Atributos.
Distribuições contínuas de probabilidade	Exponencial, normal, uniforme	Necessárias para compreender as técnicas do CEQ quando a avaliação é por Variáveis, e por que é possível fazer certas aproximações.
Regra dos 3 desvios padrões	Identificar qual o percentual de dados da distribuição que se encontra a ± 3 desvios padrões da média.	Necessária para compreender como são estabelecidos os limites em Gráficos de Controle

Quadro 8 - Tópicos acerca de Inferência sobre a Qualidade do processo

Tópicos	Conteúdo	Justificativa
Estatísticas e Parâmetros	Estatísticas: medidas amostrais, Parâmetros: medidas populacionais de valores de média, variância, proporção, número de defeituosos.	Definições necessárias para compreender as técnicas.
Distribuições amostrais	Da média, variância, proporção e número de defeitos	Necessárias para que a inferência sobre os parâmetros, a partir das estatísticas, possa ser feita.
Estimação de parâmetros	Por ponto e por intervalo.	Necessária para fazer inferências sobre a Qualidade do processo.
Testes de hipóteses	De médias, variâncias e proporções. Probabilidade de erro tipo I e erro tipo II.	Necessários para facilitar a compreensão dos Gráficos de Controle, e dos erros associados a eles.

3.2.5 – Técnicas de Controle Estatístico da Qualidade

É preciso apresentar e detalhar as subdivisões do Controle Estatístico da Qualidade: Controle Estatístico de Processos, Estudos de Capabilidade de Processos, Aceitação por Amostragem e Planejamento de Experimentos.

3.2.5.1 – Por que as técnicas de CEQ devem fazer parte?

Trata-se do ponto central do conteúdo do modelo, a descrição das técnicas mostrando as suas características para que o estudante possa empregá-las corretamente.

3.2.5.2 – Tópicos de técnicas de Controle Estatístico da Qualidade

Os tópicos indicarão qual das grandes subdivisões deve ser usada para resolver o problema (ver Quadro 6, Limitações e Indicações do CEQ), bem como as diversas técnicas que fazem parte de cada subdivisão e suas respectivas indicações. É importante ressaltar que não haverá grande aprofundamento em Aceitação por Amostragem, por que tal técnica não

estima a Qualidade do produto e por ser desaconselhada sua prática generalizada por Deming (Deming,1990): CEP e Planejamento de Experimentos são técnicas mais apropriadas para uma filosofia de “fazer certo da primeira vez” ou “fazer melhor a cada vez” (Xie e Goh, 1999). Planejamento de Experimentos também não será visto em detalhe porque merece uma disciplina/programa próprios, dada a extensão do seu conteúdo (ver seção 1.4.3).

Os tópicos serão apresentados nos Quadros 9, 10 e 11. Onde for apropriado, serão apresentadas as referências ao Capítulo 2.

Quadro 9 - Tópicos sobre Controle Estatístico de Processos

Tópico	Conteúdo	Justificativa
Filosofia do CEP	Relação com a avaliação da Qualidade, e descrição da Variabilidade, seção 2.3.1.	Para que se compreenda como o CEP pode auxiliar na melhoria da Qualidade.
Gráficos de Controle X Ferramentas de Oportunidade	Quando utilizar Gráficos de Controle (monitoração do processo) e ferramentas de oportunidade (identificar causas de variação).	Necessário para que o estudante possa decidir qual dos dois tipos de técnica deve utilizar, e qual a seqüência em que isso deve ser feito.
Princípios de Gráficos de Controle	Tal como na seção 2.3.1.1, deixando claro seu relacionamento com séries temporais (Alwan e Roberts, 1995) (Montgomery,1997).	Indispensável para que o estudante possa compreender o potencial da técnica, o correto delineamento e interpretação dos resultados.
Diferentes tipos de Gráficos de Controle	Gráficos de controle por Variáveis e por Atributos (tal como na seção 2.3.1.1), enfatizando que se deve iniciar o monitoramento com gráficos que detectam grandes desvios, e à medida que o processo se estabiliza passar para que os detectam pequenos desvios. Diretrizes para delineamento e interpretação, exemplos.	Imprescindível para que o estudante possa selecionar e delinear o Gráfico de Controle mais apropriado para um problema e interpretar corretamente os resultados.
Ferramentas de Oportunidade	Diagramas: causa e efeito, verificação, concentração de defeitos, Pareto, dispersão, fluxograma (seção 2.3.1.2), enfatizando a importância do trabalho em equipe e comprometimento com a Qualidade.	O estudante precisa saber quais são e como utilizar as ferramentas que permitem identificar oportunidades de melhoria na Qualidade.

Quadro 10 - Tópicos sobre Estudo de Capabilidade de Processos

Tópico	Conteúdo	Justificativa
Filosofia do Estudo de Capabilidade de Processos	Pré-requisitos para realização, objetivo, formas de implementação, interpretação dos resultados.	O estudante precisa saber quando pode realizar o Estudo de Capabilidade, e o que os resultados obtidos significam.
Realizado por Histograma	Tal como na seção 2.3.2 e como previsto em Montgomery (1997)	Trata-se do método mais simples, útil quando se quer conhecer a distribuição do Característico ou não há especificações para o estudo.
Realizado por Índices de Capabilidade	Índices de Capabilidade Cp e Cpk, tal como na seção 2.3.2, Montgomery(1997) e AIAG /ASQC (1992).	O estudante precisa conhecer a forma mais usual de avaliação da Capabilidade de processos, muitas vezes exigida por clientes.
Estudo de Capabilidade quando a avaliação é por Atributos	Procedimento, tal como na seção 2.3.2 e AIAG/ASQC (1992).	Necessário para lidar com situações em que o Característico da Qualidade for avaliado por Atributos.
Estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade (Sistema de Medição)	Tal como na seção 2.3.2 e Montgomery (1997).	O estudante precisa saber como verificar se o sistema de medição do Característico está operando corretamente.

Quadro 11 - Tópicos sobre Aceitação por Amostragem

Tópico	Conteúdo	Justificativa
Definição de Aceitação por Amostragem	Aplicação típica, vantagens e desvantagens, aspectos estatísticos, tipos de planos de amostragem.	O estudante precisa conhecer o básico, pois a técnica ainda é usada em algumas organizações.
Aceitação por Amostragem – por Atributos	Plano de amostragem simples, curva característica de operação, MIL-STD 105, planos de amostragem dupla, múltipla, seqüencial.	Trata-se da implementação mais comum de Aceitação por Amostragem, é necessário que o estudante saiba do que se trata.
Aceitação por Amostragem – por Variáveis	Comparação com a por Atributos, plano de amostragem simples, MIL-STD 414.	O estudante precisa saber quando usar este tipo ao invés do procedimento por Atributos.

A referência para este quadro é Duncan (1986).

Quadro 12 - Tópicos sobre Planejamento de Experimentos

Tópico	Conteúdo	Justificativa
Definição de Planejamento de Experimentos	Objetivos, conceitos básicos (variável, resposta, fatores), aplicação na pesquisa em geral.	O estudante precisa compreender quando deve ser usado e a abrangência das aplicações.
Experimentos com um fator	Quando utilizá-los, etapas de delineamento, interpretação dos resultados.	É o tipo de experimento mais fácil de implementar e de interpretar os resultados.
Experimentos fatoriais	Quando utilizá-los, etapas de delineamento, interpretação dos resultados.	Tipo de experimento usado quando há muitos fatores de interesse, situação bastante comum em processos produtivos.
Outros experimentos	Experimentos 2^k , fatoriais fracionados, superfície de resposta, Taguchi (incluindo as críticas contrárias).	Tratam-se de casos especiais, seja por facilitarem a análise dos resultados, ou por representarem uma nova abordagem.

A referência para este quadro é Montgomery(1991).

Os tópicos descritos nesta seção farão também parte do Sistema Tutorial Inteligente integrado ao modelo para o ensino do CEQ.

3.3 – Metodologia do modelo

A seção 3.3 basicamente descreve como o conteúdo (listado na seção anterior, 3.2) será apresentado e discutido, as ferramentas que serão usadas para mostrá-lo e assim tentar obter o aprendizado.

Não há a intenção de definir protocolos de ação detalhados, mas apenas diretrizes, para que a implementação do modelo possa ser feita de forma flexível e adaptada às particularidades de cada disciplina/programa de treinamento.

Algumas considerações prévias precisam ser feitas antes de se passar à estratégia instrucional e às características do ambiente computacional (Sistema Tutorial Inteligente).

3.3.1 – Considerações prévias

Esta seção (3.3.1) destina-se à apresentação das razões para a escolha da estratégia instrucional, que será descrita na seção 3.3.2, e também por que motivos decidiu-se integrar um ambiente computacional ao modelo. Para tanto, é preciso examinar alguns conceitos relativos à aprendizagem, incluindo modelos mentais e construtivismo, entre outros.

3.3.1.1 – Modelos Mentais

Segundo Hong e O'Neil (1992) um modelo mental é a representação interna que uma pessoa tem de um domínio específico, sendo que tal representação pode ser incompleta ou instável. Um modelo mental será considerado relevante se auxilia a pessoa à subseqüentemente entender e resolver problemas naquele domínio. Um processo de ensino/treinamento teria como um dos objetivos melhorar tais modelos mentais, e auxiliar os aprendizes a construí-los por conta própria (O'Sullivan,1995).

Mayer (apud²³ Hong e O'Neil, 1992, p.150) concluiu que a utilização de modelos conceituais (com palavras e diagramas) especificamente desenvolvidos para auxiliar os aprendizes a construir modelos mentais do domínio sob estudo melhorava a retenção de informação e a habilidade subseqüente de resolução de problemas. White e Frederiksen (apud²⁴ Hong e O'Neil, 1992, p. 150) preconizam que a concepção qualitativa do domínio deve ser obtida antes da introdução de modelos quantitativos, para que a relação causal do domínio seja óbvia.

²³ MAYER, R.E. Models for understanding. Review of Educational Research, Vol. 59, pp. 43-64.1989.

²⁴ WHITE, B.Y.,FREDERIKSEN,J.R. Progressions of qualitative models as a foundation for intelligent learning environments (Report No. 6277). Cambridge, MA: Bolt, Beranek and Newman Laboratories.

Hong e O'Neil (1992) realizaram uma pesquisa para determinar quais seriam os modelos mentais relevantes no contexto de Introdução a Testes de Hipóteses (Inferência Estatística), e quais as estratégias instrucionais poderiam ajudar os aprendizes a construir tais modelos relevantes. Os passos da pesquisa foram os seguintes.

- 1) Procuraram identificar os modelos mentais de quatro especialistas (professores e pesquisadores universitários experientes) sobre o domínio.
- 2) Identificaram que metade dos especialistas possuía modelos cujos conceitos e regras eram expressos com uma representação diagramática e nos modelos dos demais não havia expressão com representação diagramática.
- 3) Em seguida procuraram identificar os modelos mentais de “intermediários” (alunos de doutorado), pessoas que não são especialistas como os do passo 1, mas já passaram do estágio de novatos em Testes de Hipóteses.
- 4) Concluíram que os “intermediários” cujos modelos mentais continham representações diagramáticas dos conceitos e regras saíram-se melhor do que os que não as tinham em um teste padrão.
- 5) Com base na conclusão acima, e supondo que os modelos mentais relevantes dos “intermediários” seriam os mais apropriados para ensinar os novatos, os autores concluíram que para ensinar os novatos seria necessário primeiramente apresentar todos os conceitos e regras, usando uma representação diagramática, para somente então apresentar os procedimentos matemáticos.
- 6) Em seguida realizaram outro estudo, cuidadosamente planejado e executado (inclusive do ponto de vista estatístico) para testar se as estratégias instrucionais que auxiliam os aprendizes na construção de modelos mentais relevantes podem melhorar *significativamente* seu desempenho no contexto de Introdução a Testes de Hipóteses.
- 7) Testaram duas *seqüências* de apresentação (separada: conceitos antes e procedimentos matemáticos depois; combinada: conceitos e procedimentos simultaneamente), e duas formas

de apresentação (diagramática: com extensivo uso de diagramas; descritiva: com pouco ou nenhum uso de diagramas), resultando em quatro combinações possíveis.

8) Cinquenta e seis alunos de graduação e pós-graduação, que estavam matriculados em um curso de Estatística Introdutória (que inclui Testes de Hipóteses) em uma universidade dos EUA participaram do estudo, sendo agrupados em blocos por escolaridade e designados para cada combinação aleatoriamente.

9) Foi aplicado um pré-teste, em ambiente computacional, para avaliar os conhecimentos dos alunos nos conceitos necessários para compreender Testes de Hipóteses (cálculo de probabilidades, distribuição normal, sendo os resultados usados como covariante).

10) O material sobre Teste de Hipóteses foi apresentado, em ambiente computacional, com o mesmo conteúdo apresentado nas quatro diferentes estratégias instrucionais.

11) Foi aplicado um pós-teste, com lápis e papel, a todos os alunos, contendo 17 problemas sobre os principais conceitos ou regras acerca de Testes de Hipóteses.

12) As conclusões do estudo foram bastante interessantes:

- os alunos que receberam a seqüência separada de apresentação do material obtiveram resultados melhores do que os da combinada na solução de problemas de Testes de Hipóteses, confirmando uma das hipóteses originais dos autores.

- os alunos que receberam a apresentação diagramática obtiveram resultados melhores do que os da descritiva, confirmando outra hipótese dos autores.

- o uso de diagramas na resolução do pós-teste foi diferente dependendo da forma como o conteúdo foi apresentado, os que receberam a apresentação diagramática usaram mais diagramas, mais uma hipótese dos autores confirmada.

- além disso, os alunos que receberam a seqüência separada e a apresentação diagramática saíram-se melhor do que os de todas as outras três combinações possíveis.

As conclusões de Hong e O'Neil (1992) coincidem com a experiência empírica do

autor deste trabalho, após seis anos de experiência com cursos de Estatística que incluíam Testes de Hipóteses.

Como os Gráficos de Controle, que são parte do Controle Estatístico de Processos (por sua vez parte do CEQ), relacionam-se com os Testes de Hipóteses (Montgomery, 1997, p.133), decidiu-se adotar a combinação mais bem sucedida no trabalho de Hong e O’Neil (1992) como estratégia instrucional modelo para o ensino apresentado neste trabalho. Acredita-se que pelo fato de as técnicas de CEQ basearem-se nos mesmos conceitos, e exigirem habilidades semelhantes para aplicação e interpretação aos Testes de Hipóteses, a estratégia instrucional de apresentação separada e realizada de forma diagramática seja a mais apropriada. Os detalhes da estratégia instrucional serão apresentados na seção 3.3.2.

3.3.1.2 – *Por que integrar um ambiente computacional ao modelo?*

A abordagem construtivista pode ser um modo efetivo de melhorar o aprendizado nos mais diversos domínios de conhecimento. De acordo com esta abordagem, o conhecimento nunca é adquirido passivamente e somente pode ser interpretado por uma assimilação a uma estrutura cognitiva que o sujeito da aprendizagem já tenha (Piaget²⁵ apud O’Sullivan, 1995, p.11). O sujeito é exposto a uma situação que causa uma *perturbação*, para atingir uma *acomodação* o sujeito constrói uma nova estrutura de conhecimento com sua experiência atual e a prévia. Apenas praticando a solução de problemas uma pessoa será capaz de desenvolver uma “heurística da descoberta”, e construir modelos mentais capazes de explicar e prever o ambiente. A aprendizagem exploratória permite adquirir novas informações através de atividades iniciadas e controladas pelo aprendiz, sendo os ambientes computacionais especialmente apropriados para tal abordagem. Parece razoável imaginar que esta conclusão pode ser estendida para o ensino de Controle Estatístico da Qualidade.

²⁵ PIAGET, J. La construction du réel chez l’*enfant*. Delachaux et Niestlé, 1937.

Segundo O'Sullivan (1992) um ambiente computacional permite combinar o conceito de modelos mentais e a abordagem construtivista da aprendizagem com a melhoria dos métodos naturais de raciocínio para construir modelos mentais relevantes, que irão facilitar a futura solução de problemas de Estatística, incluindo os de Controle Estatístico de Processos – CEP (e por conseguinte os de CEQ). Entre as principais vantagens dos ambientes computacionais estão:

- possibilidade de implementação de simulações, usando números pseudo-aleatórios, permitindo “sentir” o comportamento aleatório.
- possibilidade de experimentar diferentes soluções, devido à velocidade de apresentação dos resultados (aprendizagem exploratória).
- possibilidade de representação gráfica dinâmica dos conceitos e processos.

O CEP exige basicamente de seus praticantes a habilidade para interpretar resultados apresentados graficamente (como nos Gráficos de Controle) e resolver problemas com base em informações estatísticas. Um ambiente computacional com enfoque construtivista permitiria atender a essas exigências, constituindo-se em uma ferramenta muito útil para a aprendizagem do CEP (O'Sullivan, 1995).

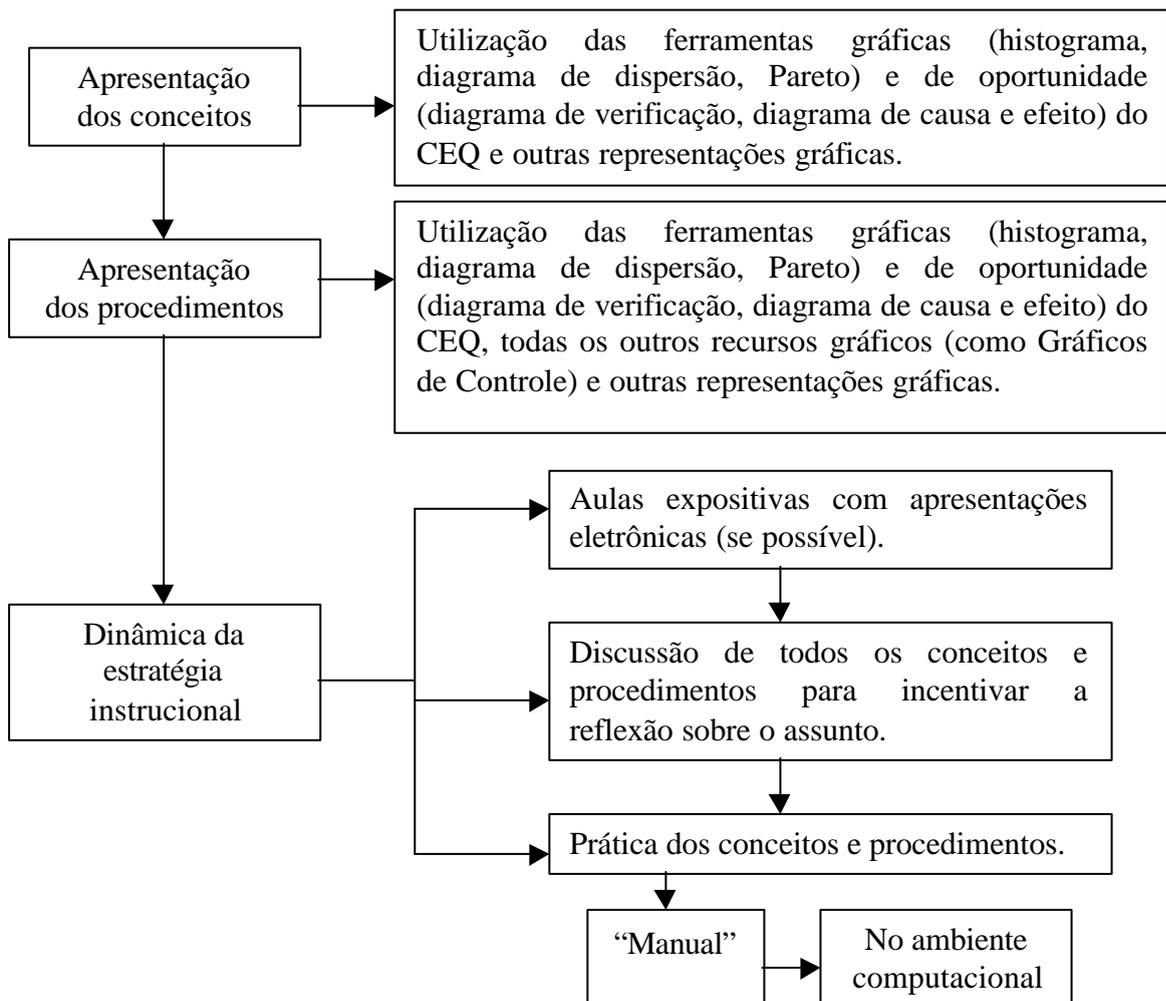
Como o CEP faz parte do Controle Estatístico da Qualidade, e as outras técnicas do CEQ também têm exigências semelhantes, decidiu-se que um ambiente computacional deveria ser integrado ao modelo para o ensino do CEQ apresentado neste trabalho. Os detalhes do ambiente serão apresentados na seção 3.3.3.

3.3.2 – Estratégia instrucional

Conforme visto na seção 3.3.1.1 escolheu-se uma estratégia instrucional de apresentação separada dos conceitos de CEQ (primeiramente os conceitos e posteriormente os procedimentos porventura necessários), realizada de forma diagramática (utilizando intensivamente diagramas e figuras para apresentar os conceitos e procedimentos).

Mas como operacionalizar a estratégia instrucional? Conforme declarado no início da seção 3.3 não há a intenção de apresentar um protocolo detalhado, uma “receita” pronta, o que impediria talvez a adoção do modelo em ambientes distintos do universitário, mas alguns aspectos podem ser enumerados, e estão resumidos na Figura 7 a seguir:

Figura 7 - Aspectos da estratégia instrucional



Em primeiro lugar a apresentação dos conceitos (realizada primeiro e com a utilização de diagramas) deve incluir as próprias ferramentas gráficas utilizadas no CEQ (ver seção 2.3.1.2) fazendo com que o aprendiz acostume-se desde o início com a sua utilização e construa seus modelos mentais com o seu auxílio. Quando da apresentação dos procedimentos das técnicas de CEQ tais ferramentas gráficas deveriam ser utilizadas mais uma vez, em alguns casos o aprendizado será mais rápido devido à familiarização prévia com a própria técnica que está sendo explicada.

Em segundo lugar, é preciso definir claramente como será a dinâmica do processo de ensino. Poderiam ser utilizadas aulas expositivas, utilizando recursos como projetores “data-show” e apresentações eletrônicas por computador (recomendável, pois permitiria a realização de simulações e explorações gráficas), ou transparências e retroprojetores se aquela não for possível. Parece contraditório a sugestão de aula expositiva, mas é preciso lembrar que muitos dos aprendizes estão tendo o primeiro contato com os conceitos de CEQ: é preciso que haja a exposição por parte do professor/instrutor (Anastasiou,1995a) (Anastasiou,1995b). Mas aqui cabe um adendo muito importante: o processo precisa incluir uma discussão que leve ao processo de “perturbação/acomodação” previsto na abordagem construtivista, especialmente quando os conceitos estiverem sendo apresentados.

O terceiro ponto da estratégia é a prática dos conceitos, ou a sua melhor assimilação, ou mesmo a sua aquisição se os pontos anteriores não foram bem sucedidos. Isso é especialmente importante para os procedimentos de obtenção dos resultados das técnicas e deve ser feito em duas etapas.

Na primeira etapa o aprendiz resolve um problema realizando “manualmente” os cálculos e plotagem dos gráficos (com o uso de uma calculadora, ou programando as

expressões em uma planilha eletrônica, por exemplo). Tal prática permitirá sentir todas as dificuldades envolvidas, o que pode ser especialmente útil se o aprendiz passar a instrutor no futuro, e ganhar uma percepção crítica sobre os valores envolvidos (facilitando a identificação de valores aberrantes, sendo eles provenientes de problemas reais ou erros de cálculo, plotagem ou coleta de dados). A experiência prática do autor deste trabalho mostrou que essa abordagem, embora pareça arcaica costuma dar bons resultados, e é adotada por outros instrutores (Jordan,1999), e em universidades dos EUA.

Na segunda etapa da prática o aprendiz pode praticar ou rever os conceitos em um ambiente computacional, no qual ele resolverá problemas que incluem a interpretação de resultados de técnicas de CEQ, a enumeração de recomendações do que fazer em função de tais resultados, entre outras tarefas. Segundo O'Sullivan (1992) um ambiente computacional, para incluir os benefícios da descoberta deve ter, entre outros requisitos, um tutor para prover aconselhamento e ajuda durante o processo de aprendizagem. Pensando nisso cogitou-se a hipótese de que o ambiente computacional fosse um Sistema Tutorial Inteligente (ver definição na seção 2.6.4) e cujas características serão apresentadas na próxima seção.

3.3.3 – Ambiente computacional incorporado ao modelo

Na seção 3.3.1.2 foram apresentadas as razões para a integração de um ambiente computacional ao modelo para o ensino do CEQ que está sendo apresentada, e na seção anterior (3.3.2) foi descrito como o ambiente participará da estratégia instrucional, e que se cogitava a hipótese de implementá-lo como um Sistema Tutorial Inteligente, portanto uma abordagem baseada em Inteligência Artificial. Nesta seção serão enumeradas as razões para tal escolha, e as principais características do sistema.

3.3.3.1 – Por que um Sistema Tutorial Inteligente

Um Sistema Tutorial Inteligente é uma aplicação que utiliza Inteligência Artificial em educação. As razões para o uso da Inteligência Artificial em tal situação foram explicitadas na seção 2.6.4 (ver Capítulo 2). Mas por que um Sistema Tutorial Inteligente?

Embora muitos avanços pedagógicos tenham ocorrido, o ensino nas mais diversas áreas costuma seguir um enfoque predominantemente Comportamentalista, e onde os alunos são deixados em uma posição *passiva*, como meros receptores do conteúdo. Podem ser arroladas as seguintes características para este enfoque:

- apresentam-se conteúdos considerados pertinentes aos alunos, em uma seqüência linear, de acordo com o grau de complexidade;
- prioriza-se as habilidades lingüísticas e lógico-matemáticas dos alunos, supõe-se que todos aprendem da mesma forma;
- a avaliação da aprendizagem é baseada na aplicação periódica de testes e exames, nos quais os alunos serão aprovados dependendo de quanto conteúdo retiveram (em suma há uma ênfase maior na memorização).

Embora provavelmente nunca tenha havido unanimidade a respeito de tal modelo, o seu emprego era defendido, pois não havia as condições para tentar uma abordagem diferenciada: primeiramente pela não existência de uma alternativa à teoria Comportamentalista, e por razões de ordem prática (a única forma de individualizar a assistência ao estudante era por meio da dedicação do professor, que obviamente não tinha todo o tempo disponível para isso, situação ainda mais difícil para turmas com grande número de alunos).

O desenvolvimento da teoria Construtivista, a descoberta de que os seres humanos aprendiam de diferentes formas (Felder e Silverman,1988), e que não havia nada de errado

nisso, e que mesmo a inteligência de uma pessoa não era *única*, mas poderia ser *múltipla* (Gardner,1995) forçaram a uma reflexão sobre o modelo tradicional. A utilização dos computadores foi percebida como uma grande oportunidade para implementar todas essas descobertas em um ambiente de ensino, para realmente obter uma aprendizagem real, principalmente a aprendizagem da habilidade da resolução de problemas complexos, resultado que o antigo paradigma tinha dificuldade em alcançar.

Para ser efetivo, o ensino de CEQ deve levar o estudante a construir seu conhecimento sobre o assunto, de modo que possa resolver problemas em situações reais, independentemente das suas características individuais de aprendizagem.

Um Sistema Tutorial Inteligente (STI) implementado em computador, com o auxílio de técnicas de Inteligência Artificial, pode propiciar um ambiente de aprendizado do tipo “aprenda – fazendo”, no qual há maior possibilidade de que o estudante realmente desenvolva habilidades e construa um conhecimento para toda vida. Além disso, pode permitir uma assistência individualizada ao estudante, além de viabilizar o aprendizado no ritmo do aluno, uma vez que acompanha cada um dos seus passos e de acordo com estes aplica diferentes estratégias de ensino. A citação abaixo é bastante esclarecedora:

Um estudante encontra-se resolvendo um problema de alguma aplicação. Ele encontra-se concentrado nesta atividade, recebendo todas as atenções durante o seu processo de resolução. O professor, por outro lado, recebe a análise do desempenho do estudante, imediatamente após o término da tarefa do estudante. O professor encontra-se livre do dever de atender os estudantes e repetir o mesmo assunto uma e outra vez. Ele pode identificar os estudantes com maiores aptidões e tem agora tempo para outorgar maior atenção aos que a requerem. Este cenário é possível com o uso do computador e softwares apropriados (Du Plessis et al., 1995).

Um STI também proporciona ao estudante a oportunidade de resolver problemas:

- com acompanhamento/aconselhamento caso necessário;
- sem o constrangimento de estar atuando frente ao professor;
- sem os eventuais riscos de uma situação real.

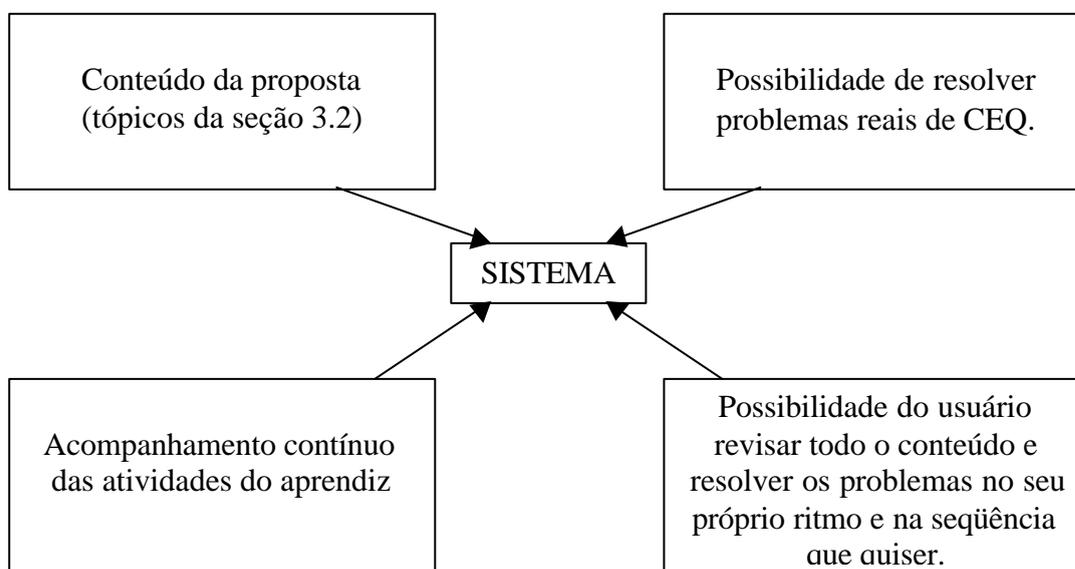
Sendo assim, um STI permite elaborar uma abordagem de ensino mais interessante para o estudante, fazendo com que este tenha participação ativa no processo de aprendizagem, possibilitando que o ensino realmente torne-se efetivo.

Como o objetivo geral deste trabalho é a apresentação de um modelo que gere uma melhoria na efetividade do ensino de CEQ, e que um ambiente computacional deve ser integrado ao modelo, decidiu-se implementar o ambiente na forma de um Sistema Tutorial Inteligente.

3.3.3.2 – Características do Sistema Tutorial Inteligente

O sistema integrado ao modelo precisaria cumprir alguns requisitos, que serão traduzidos em características, apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Características necessárias para o sistema



O primeiro aspecto importante é a inclusão de todos os tópicos que fazem parte do conteúdo do modelo, tal como descritos na seção 3.2. Isso é necessário porque uma das funções do sistema é possibilitar ao usuário a revisão e consulta sobre os conceitos e procedimentos do CEQ. Os conceitos foram incorporados através de tutoriais, implementados dentro do sistema em documentos multimídia.

O sistema deveria possibilitar a resolução de problemas reais de CEQ, aproximando a realidade de um processo produtivo do ensino/aprendizagem (Llaugel e Confesor, 1992), e permitindo que tais problemas tenham significado para os usuários do sistema, o que influenciará positivamente o aprendizado (Cheng e Dawson, 1998) (O'Sullivan,1995). Decidiu-se “imersão” o aprendiz no problema, descrevendo a organização, o processo produtivo e os problemas da Qualidade, sempre procurando fazê-lo de forma diagramática, mas incluindo outros elementos também (maiores detalhes na seção 4.3.2). Como já foi citado anteriormente, um dos requisitos para a boa aplicação do CEQ é a correta interpretação dos resultados das técnicas, o que poderá ser simulado nos problemas. As conseqüências da interpretação, o que deve ser feito em função dos resultados, também devem ser abordadas pelo problema. Um outro aspecto que pode ser explorado é a escolha e delineamento da técnica para resolver o problema, mas que não será implementado na atual versão do sistema, pelos motivos a seguir.

Alguns autores (Cheng e Dawson,1998) (O'Sullivan,1995) declaram que a interpretação dos resultados (gráficos) é um aspecto muito importante, possivelmente o mais importante, para qualquer programa de ensino/treinamento de CEP (e portanto de CEQ). Assim, resolveu-se priorizar os problemas de interpretação de resultados, ao menos na atual implementação do sistema.

Uma outra característica que o sistema deve apresentar é a possibilidade de acompanhamento contínuo das atividades do aprendiz. O sistema deve apresentar recomendações ajustadas ao desempenho de cada usuário.

E a última característica é a que permite a concretização do paradigma de aprendizagem exploratória, a possibilidade do usuário revisar o conteúdo e resolver os problemas no seu próprio ritmo, com supervisão, e na seqüência que lhe aprouver. Para tanto decidiu-se que o usuário terá sempre a possibilidade de escolher qual tutorial quer consultar, qual problema quer resolver, e uma vez consultando os tutoriais ou resolvendo os problemas, possa sempre acessar outros tutoriais ou rever passos anteriores da resolução.

3.3.4 – Implementação do Sistema Tutorial Inteligente

Nesta seção será descrita a abordagem de Inteligência Artificial que foi utilizada para o desenvolvimento do Sistema Tutorial Inteligente, a representação de conhecimento adotada, as características da interface, bem como a ferramenta escolhida para o desenvolvimento do protótipo.

3.3.4.1 – Abordagem por Inteligência Artificial Distribuída

A abordagem de Inteligência Artificial que foi utilizada é a Inteligência Artificial Distribuída (IAD). Usa-se IAD quando o problema a resolver apresenta uma complexidade tal que surge a necessidade de dividi-lo em subproblemas, que seriam resolvidos por cada um dos agentes do sistema, de forma coordenada (Barreto,1997), e isso justifica-se plenamente para o ensino de CEQ:

- a atividade de ensino é extremamente complexa, e devido à decisão de implementar um STI, que usualmente se apresenta estruturado em módulos, a escolha da abordagem por IAD surge como a melhor opção;

- o ensino de CEQ (seja na escolha da técnica mais adequada para resolver um problema real, ou no delineamento desta técnica, ou na interpretação dos seus resultados) é igualmente complexo, tornando atrativa a aplicação de IAD.

Dentre as abordagens de IAD disponíveis decidiu-se implementar o STI de acordo com o paradigma de Sistemas Multi-Agentes (SMA):

- é uma abordagem mais ampla, que envolve as outras;
- é adequada para a complexidade do problema (ensino), propiciando uma maior flexibilidade.

De acordo com Pozo (1996) o uso de uma arquitetura completamente distribuída pode causar alguns problemas, devido à necessidade de duplicação de mensagens entre os agentes, o que levaria a uma queda na performance do sistema. Sugere-se então, a criação de um Módulo Global, onde são apresentadas as informações de “interesse geral” dos agentes, podendo ser lida por todos simultaneamente, mas podendo ser atualizada apenas por um agente, por vez.

3.3.4.2 – Representação do Conhecimento e Interface

Um ponto crítico de qualquer sistema baseado em conhecimento, especialmente um STI, é a maneira como o conhecimento vai ser representado. No sistema proposto resolveu-se representar o conhecimento dos agentes por meio de um formalismo orientado a objeto:

- tal representação facilitará a construção do sistema, pois os mecanismos de classes, heranças e métodos permitem representar tanto conhecimento declarativo quanto procedural;
- devido à modularidade inerente ao formalismo orientado a objeto as alterações, que serão certamente necessárias durante o desenvolvimento do sistema poderão ser feitas com facilidade;
- como foi desenvolvido um protótipo do sistema, naturalmente são prevista futuras expansões da base de conhecimento, que poderão ser implementadas sem problemas com o formalismo

orientado a objeto.

Outra decisão importante diz respeito à maneira como foi construída a Interface do Sistema. Como toda a comunicação entre o usuário (estudante ou treinando) e o sistema será feita através do Módulo Interface, este deveria ser implementado com muito cuidado, tendo em vista não somente o aspecto amigável da interação, mas também o impacto no aprendizado. Escolheu-se implementar o Módulo Interface usando ferramentas de hipermídia:

- possibilita a apresentação de imagens, vídeos, sons, simulações, que são importantes para o ensino de CEQ (diversas ferramentas de CEQ utilizam imagens, como Gráficos de Controle, Curvas Características de Operação para Inspeção por Amostragem; alguns conceitos como variabilidade podem ser melhor entendidos através de simulação);
- a hipermídia permite criar uma estrutura curricular completa na qual o estudante navega escolhendo livremente os assuntos que lhe interessam (Pozo,1996), proporcionando assim uma maior liberdade ao estudante, e contribuindo para a implementação de uma filosofia construtivista de ensino.

3.3.4.3 – Ambiente de Desenvolvimento

O desenvolvimento do STI pode ser feito através de uma linguagem de programação (obviamente uma linguagem de programação orientada a objeto, uma vez que este foi o formalismo escolhido para a representação do conhecimento), ou através de uma “shell”. Ambas opções têm vantagens e desvantagens, mas decidiu-se desenvolver o sistema dentro de uma “shell”, no caso o ambiente de desenvolvimento de Sistemas Especialistas Kappa-PC®. Há várias razões para esta escolha:

- pretendeu-se desenvolver um *protótipo* de STI para CEQ, o que foi feito de forma consideravelmente mais rápida através de uma “shell”;
- o Kappa-PC® permite representar conhecimento em diferentes paradigmas, como regras, e “frames” (orientado a objetos, que é o formalismo escolhido para representar o conhecimento

do Sistema, com propriedades de herança, passagem de mensagens entre objetos, etc.);

- possibilidade de implementar uma Interface com hipermídia, gráficos, de uma maneira talvez mais rápida do que em uma Linguagem de Programação.

- possibilidade de interação com outros programas computacionais, característica que foi utilizada na apresentação dos problemas e tutoriais.

3.4 – Considerações finais

O presente capítulo apresentou o modelo para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade, com seu conteúdo e metodologia, arrolando todas as justificativas para as escolhas feitas.

O conteúdo do modelo inclui conceitos básicos da Qualidade, conceito de Variabilidade, indicações e limitações do CEQ, os pré-requisitos estatísticos do CEQ, e as técnicas de CEQ propriamente ditas. A metodologia do modelo identificou que a estratégia instrucional mais adequada seria a apresentação separada de conceitos e procedimentos, realizada de forma diagramática, a qual foi detalhada indicando como seria operacionalizada a metodologia. Decidiu-se também incorporar ao modelo um ambiente computacional, para que fosse possível realizar uma implementação de aprendizagem exploratória, optando-se pelo desenvolvimento de um Sistema Tutorial Inteligente.

As principais características do ambiente computacional foram enumeradas, incluindo a abordagem de Inteligência Artificial selecionada, a representação de conhecimento e ambiente de desenvolvimento escolhidos. A apresentação do sistema desenvolvido, com todos os módulos e componentes, será feita no Capítulo 4, a seguir.

CAPÍTULO 4 – SISTEMA TUTORIAL INTELIGENTE PARA CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE - STCEQ

Este capítulo irá descrever os módulos que fazem parte do STCEQ: Sistema Tutorial Inteligente para Controle Estatístico da Qualidade²⁶, e como eles se relacionam entre si para atingir os requisitos estabelecidos no Capítulo 3. Além disso serão apresentados exemplos das interações possíveis entre usuário e sistema.

4.1 - Introdução

No Capítulo 3 foram apresentadas as razões para a incorporação de um Sistema Tutorial Inteligente ao modelo para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade. Foram também discutidas a forma de implementação, usando Inteligência Artificial Distribuída, e as principais características que o sistema teria que apresentar, e como seria feita a representação do conhecimento e a construção da interface. Tais considerações influenciaram a arquitetura do sistema, que foi estruturada em módulos, e o relacionamento entre estes módulos foi projetado para atender a um dos dois modos possíveis de interação entre o usuário e o STCEQ: a consulta livre de tutoriais ou a resolução de problemas de Controle Estatístico da Qualidade.

A descrição da arquitetura do STCEQ, e dos relacionamentos entre os módulos, é basicamente o teor deste Capítulo. Primeiramente serão apresentadas descrições sucintas dos

²⁶ Nome provisório.

módulos do sistema, e de como eles se relacionam nos dois tipos de interação possíveis: consulta livre de tutoriais e resolução de problemas. Posteriormente cada módulo será descrito detalhadamente, e exemplos dos dois tipos de interação serão apresentados.

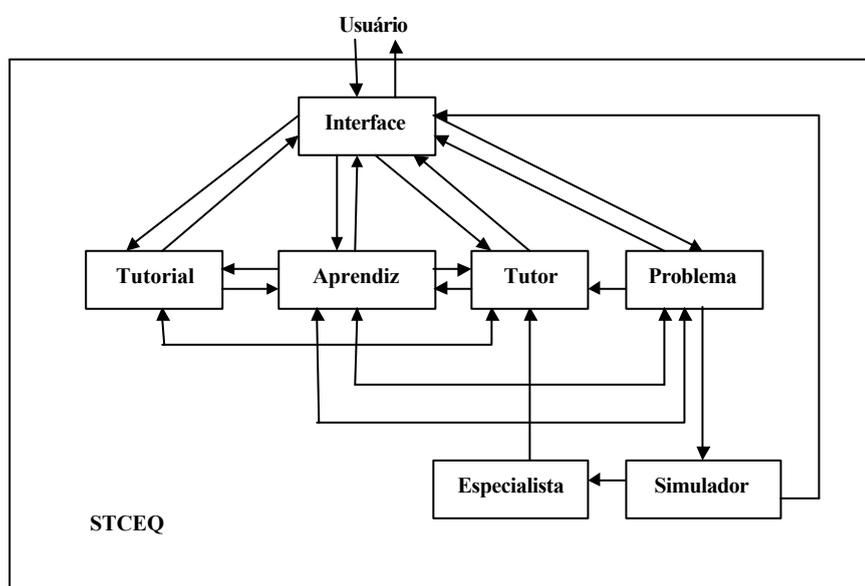
4.2 – Descrição sucinta do STCEQ

O STCEQ apresenta basicamente oito módulos²⁷ que se relacionam de forma diferenciada dependendo do tipo de interação escolhida pelo usuário.

4.2.1 – Descrição sucinta dos módulos

A arquitetura do STCEQ pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 – Arquitetura do STCEQ



Todo o contato entre usuário e STCEQ se dá através do módulo Interface: todas as informações necessárias para que o usuário continue a interação, e para que o STCEQ possa

²⁷ Poderiam ser chamados de agentes, mas preferiu-se a denominação módulo.

auxiliá-lo são apresentadas e/ou requeridas por este módulo. Como foi mencionado no Capítulo 3 procurou-se utilizar técnicas de hipermídia na sua implementação.

O módulo Aprendiz contém todas as informações sobre todos os usuários que já acessaram o STCEQ previamente. Em termos de representação orientada a objeto trata-se de uma classe cujas instâncias são os usuários cadastrados previamente. São armazenados todos os tutoriais consultados pelo usuário até o momento (seja de forma livre, ou por recomendação do sistema), todos os problemas resolvidos e os desempenhos em cada tipo de problemas. Quando o usuário inicia uma interação com o STCEQ o módulo Aprendiz verifica se o usuário acessou previamente o sistema, caso seja a primeira vez cria uma instância para o novo usuário e emite uma mensagem de boas vindas. Caso o usuário tenha acessado o STCEQ previamente o módulo apresenta um relatório, via Interface, com toda a sua trajetória prévia (todas as informações armazenadas) para que o usuário possa planejar adequadamente como conduzir a interação. Por sua simplicidade não será descrito em profundidade.

O módulo Tutorial contém as informações sobre os oitenta e dois tutoriais implementados na atual versão do STCEQ, que incluem todos os tópicos previstos no modelo descrito no Capítulo 3 (ver seção 3.2). Em termos de orientação a objeto trata-se de uma classe cujas instâncias são os oitenta e dois tutoriais previstos na atual versão. São armazenados os títulos e números de cada tutorial, além dos nomes dos arquivos que contém suas descrições resumidas (arquivos texto) e os tutoriais propriamente ditos (arquivos de apresentação PowerPoint). Os tutoriais estão agrupados em onze áreas.

O módulo Problema contém as informações sobre os trinta e seis problemas implementados na atual versão do STCEQ. Em termos de orientação a objeto trata-se de uma classe cujas instâncias são os trinta e seis problemas previstos na atual versão. As informações

incluem: os nomes dos arquivos que contêm a descrição resumida (arquivo texto) e a apresentação do problema (arquivo de apresentação PowerPoint), o tipo de problema, a(s) técnica(s) envolvida(s), os parâmetros necessários para gerar os resultados, e as características que auxiliarão o módulo Especialista a resolver o problema, e o Tutor a comparar as respostas de usuário e Especialista.

O módulo Simulador gera os resultados para os problemas do STCEQ. Em termos de orientação a objeto trata-se de uma classe cujas instâncias são os diferentes tipos de problema que a atual versão prevê²⁸. Recebe informações do módulo Problema, e através de algoritmos de geração de números pseudo-aleatórios, apresenta os resultados (Gráficos de Controle, Estudos de Capabilidade de Processos) para que o usuário possa resolver o problema.

O módulo Especialista contém o conhecimento de CEQ do sistema. Em termos de orientação a objeto trata-se de uma classe cujas instâncias são os diferentes tipos de problema que a atual versão prevê (com as heurísticas necessárias para resolvê-los). Sua função é gerar uma resposta, considerada correta, para o mesmo problema que o usuário escolheu resolver. Tal resposta será usada como parâmetro de comparação pelo módulo Tutor, para que este possa avaliar o desempenho do usuário.

O módulo Tutor detém o conhecimento pedagógico do STCEQ. Trata-se de uma classe que contém todos os métodos necessários para comparar as respostas do usuário e do módulo Especialista ao mesmo problema. Com base nas diferenças encontradas apresenta recomendações ao usuário. Estas recomendações variam de avisos para revisar as respostas consideradas incorretas, a sugestões de tutoriais que deveriam ser consultados (que poderiam esclarecer o usuário e evitar os mesmos erros). O módulo Tutor também é responsável pelo

²⁸ Gráficos de Controle de Shewhart por Variáveis e por Atributos, Gráficos CUSUM por variáveis e por Atributos, Gráficos de EWMA, e Estudos de Capabilidade de Processos na atual versão (maiores detalhes na seção 4.4).

cálculo e análise do desempenho final do usuário no problema, emitindo um parecer a respeito e recomendando que problema o usuário deveria tentar resolver em seguida.

O módulo Global exerce a função descrita na seção 3.3.4.1, armazenando as informações de “interesse geral” dos módulos do STCEQ: qual tutorial está sendo consultado, qual problema está sendo resolvido, qual o nome do usuário que está utilizando o sistema no momento. Essas informações são importantes para os outros módulos realizarem suas tarefas. Por sua simplicidade também não será descrito em profundidade.

Todos os módulos do STCEQ (com exceção de Aprendiz e Global) serão descritos pormenorizadamente em seções específicas neste mesmo Capítulo.

4.2.2 – Descrição das interações entre usuário e STCEQ

Conforme já foi declarado anteriormente há dois tipos de interação possíveis na atual versão do STCEQ: a consulta livre de tutoriais e a resolução de problemas.

4.2.2.1 – Consulta livre de tutoriais

Neste caso o usuário resolve consultar o STCEQ de forma semelhante a uma enciclopédia, buscando informações sobre algum dos tópicos que fazem parte do modelo para o ensino do CEQ. Em termos de relacionamento entre os módulos do sistema, este tipo de interação pode ser descrito pelo Quadro 13.

É importante ressaltar que neste tipo de interação o STCEQ exerce o papel de uma base de conhecimentos, onde os tutoriais estão agrupados em onze áreas, a saber: Conceitos da Qualidade e Gerenciamento Total da Qualidade, Conceitos Básicos de Controle Estatístico da Qualidade, Aceitação por Amostragem, Planejamento de Experimentos, Controle

Estatístico de Processos – Básico, Gráficos de Controle – Características Gerais, Gráficos de Controle por Variáveis de Shewhart, Outros Gráficos de Controle por Variáveis, Gráficos de Controle por Atributos de Shewhart, Outros Gráficos de Controle por Atributos, e Estudos de Capabilidade de Processos.

Quadro 13 - Ações dos módulos na consulta livre de tutoriais

Módulo	Ação
Usuário	Acessa o sistema, via Interface, identificando-se.
Interface	Envia a identificação do usuário para Global e Aprendiz.
Aprendiz	Verifica se o usuário já acessou o STCEQ previamente: caso não, cria uma nova instância para armazenar suas informações (que terá a mesma denominação do nome registrado em Global); caso sim, gera um relatório sobre a trajetória prévia do usuário (busca as descrições dos tutoriais consultados no módulo Tutorial e dos problemas resolvidos no módulo Problema).
Interface	Apresenta o relatório de Aprendiz ao usuário, se este acessou o STCEQ previamente, ou emite uma mensagem de boas vindas, se o usuário está acessando o sistema pela primeira vez. Apresenta o menu principal do STCEQ: “consulta de tutoriais” ou “resolução de problemas de CEQ”.
Usuário	Escolhe a opção “consulta de tutoriais”.
Interface	Apresenta o conjunto principal de tutoriais (as onze áreas), onde há possibilidade de acessar os tutoriais específicos de cada área.
Usuário	Escolhe um tutorial específico para consultar.
Tutorial	Apresenta o tutorial escolhido ao usuário e registra seu número em Global.
Interface	Uma vez terminada a apresentação do tutorial (sendo que o usuário pode decidir terminá-la a qualquer momento), pergunta se o tutorial recém consultado deve ser registrado como consultado.
Usuário	Decide se o tutorial deve ser registrado ou não.
Aprendiz	Se o usuário decidiu registrar o tutorial, armazena o número do tutorial consultado (registrado em Global) na lista que contém os tutoriais consultados de forma livre por aquele usuário na sua instância específica (cujo nome também está registrado em Global).

Como é possível constatar no Quadro 13, os módulos Tutor, Especialista e Simulador (este último nesta versão do STCEQ) não são acionados durante uma interação de consulta livre de tutoriais. O módulo Global armazena a identificação do usuário, para permitir a identificação em Aprendiz, e o tutorial que está sendo consultado, para permitir o seu registro se o usuário assim o desejar.

4.2.2.2 – Resolução de problemas de CEQ

Este tipo de interação é naturalmente mais complexa do que a consulta livre de tutoriais. Basicamente o usuário escolhe um dos problemas previstos no STCEQ, resolve-o, o

sistema também o resolve, as diferenças entre as respostas de usuário e sistema são avaliadas, o desempenho do usuário é calculado, e as recomendações julgadas necessárias para que o usuário melhore seu desempenho futuramente são apresentadas. A resolução do problema consiste em responder questões acerca dos resultados e das técnicas que os produziram. Os Quadros 14 e 15 a seguir apresentam o relacionamento entre os módulos do STCEQ para uma interação de resolução de problemas.

Quadro 14 - Ações dos módulos na resolução de problemas - primeira parte

Módulo	Ação
Usuário	Acessa o sistema, via Interface, identificando-se.
Interface	Envia a identificação do usuário para Global e Aprendiz.
Aprendiz	Verifica se o usuário já acessou o STCEQ previamente: caso não, cria uma nova instância para armazenar suas informações (que terá a mesma denominação do nome registrado em Global); caso sim, gera um relatório sobre a trajetória prévia do usuário (busca as descrições dos tutoriais consultados no módulo Tutorial e dos problemas resolvidos no módulo Problema).
Interface	Apresenta o relatório de Aprendiz ao usuário, se este acessou o STCEQ previamente, ou emite uma mensagem de boas vindas, se o usuário está acessando o sistema pela primeira vez. Apresenta o menu principal do STCEQ: “consulta de tutoriais” ou “resolução de problemas de CEQ”.
Usuário	Escolhe a opção “resolução de problemas de CEQ”.
Interface	Apresenta o conjunto de problemas (trinta e seis na atual versão), para que o usuário possa fazer sua escolha.
Usuário	Escolhe um problema para resolver.
Problema	Apresenta o problema escolhido ao usuário e registra seu número em Global.
Interface	Uma vez terminada a apresentação do problema (sendo que o usuário pode decidir terminá-la a qualquer momento), pergunta se o problema recém apresentado deve ser realmente resolvido.
Usuário	Decide se o problema deve ser resolvido ou não.
Interface	Registra o problema em Global, e aciona a instância específica do módulo Problema.
Problema	Envia todas as informações necessárias para que o módulo Simulador gere os resultados, e instruções para que o Especialista elabore suas respostas.
Simulador	Gera os resultados do problema e os apresenta ao usuário e ao Especialista.
Especialista	Com base nas informações do problema, e dos resultados de Simulador, elabora as respostas que serão consideradas como corretas. Estas respostas são armazenadas em uma instância do módulo Tutor.
Interface	Apresenta os resultados gerados pelo Simulador ao usuário, bem como prepara as questões que deverão ser respondidas (de acordo com as informações de Problema, cuja instância específica está registrada em Global).
Usuário	Responde as questões e pede que o Tutor avalie as respostas.
Tutor	Compara as respostas de usuário e Especialista e de acordo com as diferenças emite as recomendações sobre o que o usuário deve fazer: revisar as respostas, prosseguir (porque as respostas estão aceitáveis).
Interface	Apresenta as recomendações do Tutor ao usuário.

Quadro 15 - Ações dos módulos na resolução de problemas – segunda parte

Módulo	Ação
Usuário	Segue ou não as recomendações do Tutor: basicamente a única escolha permitida ao usuário nesta etapa ocorre quando sua resposta é incompleta, mas aceitável, pode prosseguir ou revisar a resposta.
Tutor	Uma vez terminado o problema, emite um relatório com o desempenho do usuário em cada questão, o desempenho geral no problema, e, se necessário, os tutoriais que deveriam ser consultados para melhorar o desempenho do usuário, e os problemas que o usuário deveria resolver em seguida.
Aprendiz	Armazena o número do problema resolvido (registrado em Global) na lista que contém os tutoriais consultados de forma livre por aquele usuário na sua instância específica (cujo nome também está registrado em Global).
Interface	Apresenta o relatório ao usuário.
Usuário	Pode seguir ou não as recomendações do Tutor.

A descrição pormenorizada dos módulos do STCEQ, com as justificativas para os enfoques adotados será feita nas próximas seções (4.3 a 4.7).

4.3 – Módulo Tutorial

O módulo Tutorial contém as informações necessárias para que o STCEQ possa disponibilizar o conteúdo do modelo para o ensino do CEQ, tal como previsto no Capítulo 3. Suas instâncias podem ser consultadas diretamente pelo usuário, ou por outros módulos do sistema, especialmente o módulo Tutor. As informações armazenadas permitirão:

- registrar na instância do usuário no módulo Aprendiz quais tutoriais foram consultados (seja de forma livre, seja por recomendação do módulo Tutor).
- apresentar a descrição breve dos tutoriais no relatório da trajetória prévia, caso o usuário tenha acessado previamente o sistema.
- apresentar o tutorial propriamente dito.

O Quadro 16 apresenta as informações armazenadas em uma instância do módulo Tutorial (cada informação é um atributo da instância, ou faz parte de um método –

procedimento computacional, que será executado pela instância).

Quadro 16 - Informações de uma instância do módulo Tutorial

Informação	Descrição
Número	Indica o número do tutorial (variando de 1 a 82), que será utilizado como referência pelos outros módulos do sistema.
Título	Nome do tutorial, expressando seu conteúdo, que será apresentado ao usuário, via Interface. Será o título de um botão na interface, que uma vez pressionado causará a apresentação do tutorial.
Área	Indica a qual das onze áreas pertence o tutorial em questão.
Nome do arquivo com a descrição resumida	Indica o nome e o caminho para o arquivo texto que contém uma descrição breve do tutorial em questão. O conteúdo deste arquivo será exibido no relatório sobre a trajetória prévia do usuário, caso este tenha acessado o sistema previamente.
Nome do arquivo com o tutorial propriamente dito	Indica o nome e o caminho para o arquivo de apresentação do PowerPoint® que contém o tutorial propriamente dito, e que será apresentado ao usuário, uma vez que este o escolha pressionando o botão associado na interface.

Por que utilizar apresentações do PowerPoint®? Julgou-se mais interessante elaborar os tutoriais como apresentações do PowerPoint® porque este aplicativo dispõe de uma gama de recursos gráficos e de animação muito superior à existente no Kappa-PC®, o que facilitaria em muito o desenvolvimento e a eventual melhoria dos tutoriais previstos, sem contar que é um aplicativo largamente empregado nas mais diversas organizações. Os arquivos podem ser executados sem problemas por comandos do Kappa-PC®, não exigindo nenhum processo mais sofisticado de troca de informações. Além disso, por se tratar de um protótipo do sistema, procurou-se obter uma ferramenta que permitisse uma rápida implementação dos tutoriais, o que talvez não fosse possível através do desenvolvimento de um aplicativo em linguagem de programação. Reconhece-se porém que a utilização de tal abordagem impede a realização de simulações dentro dos tutoriais, o que seria altamente desejável. Nas próximas versões do STCEQ pretende-se implementar os tutoriais em uma linguagem de programação, ou em algum outro aplicativo, o que permitiria a realização de simulações sem maiores problemas.

4.3.1 – Tutoriais abordados pelo STCEQ

Os tutoriais abordados pelo STCEQ procuram cobrir o conteúdo previsto no modelo para o ensino do CEQ, tal como definido na seção 3.2. Uma breve descrição (número, título e apresentação do conteúdo) dos oitenta e dois tutoriais será apresentada nos quadros a seguir, por área, sendo que a sua lista completa, incluindo todas as etapas que os compõem, está no Anexo C.

A Área 1 compreende os conceitos da Qualidade e Gerenciamento Total da Qualidade (TQM), delineados na seção 3.2.1.3, e os tutoriais são descritos no Quadro 17.

Quadro 17 - Tutoriais da Área 1 - Conceitos da Qualidade e Gerenciamento Total da Qualidade

Número	Título	Descrição
1	Definição da Qualidade	Apresenta as definições da Qualidade (por diversos autores), e as suas características principais.
2	Terminologia da Qualidade	Apresenta as definições para a nomenclatura usada.
3	Filosofias da Qualidade	Apresenta um breve histórico e os detalhes das principais filosofias da Qualidade
4	Definição de Gerenciamento Total da Qualidade (TQM)	Apresenta o conceito de Gerenciamento Total da Qualidade, seu propósito e requisitos para implementação.
5	Conceitos do Gerenciamento Total da Qualidade	Apresenta os conceitos que constituem a estrutura do Gerenciamento Total da Qualidade.
6	Papel do CEQ no Gerenciamento Total da Qualidade.	Apresenta a função desempenhada pelo CEQ para permitir a consecução do propósito do Gerenciamento Total da Qualidade.
7	O que é ISO9000?	Apresenta os principais aspectos e objetivos da série de certificados ISO9000 e ISO14000.
8	Benchmarking e QFD	Apresenta os conceitos de Benchmarking e Desdobramento da Função da Qualidade (QFD).

O tutorial 3, Filosofias da Qualidade, apresenta especial ênfase na abordagem defendida por Deming para a Qualidade, cuja filosofia foi adotada pela proposta de ensino (ver seção 3.2.1.2).

A Área 2 compreende os conceitos básicos de Controle Estatístico da Qualidade (incluindo conceito de Variabilidade, seção 3.2.2.2, indicações e limitações do CEQ, seção 3.2.3.2, e pré-requisitos estatísticos do CEQ, seção 3.2.4.2). Os tutoriais são descritos nos Quadros 18 e 19.

Quadro 18 - Tutoriais da Área 2 - Conceitos Básicos de Controle Estatístico da Qualidade – Primeira parte

Número	Título	Descrição
9	Definição de Controle Estatístico da Qualidade.	Apresenta o conceito de Controle Estatístico da Qualidade e seu papel dentro do Gerenciamento Total da Qualidade.
10	Conceito de Variabilidade	Apresenta a definição, causas e por que é necessário descrever e controlar a Variabilidade.
11	Indicações e Limitações do CEQ	O que o CEQ pode e o que não pode fazer para melhorar a Qualidade de um processo.
12	Distribuição de frequências	O que é a distribuição de frequências, as formas de apresentá-la (tabular e gráfica) e como pode ajudar na modelagem da Qualidade do processo.
13	Medidas de Síntese – Medidas de posição	O que são medidas de posição e como podem ajudar na modelagem da Qualidade do processo.
14	Medidas de Síntese – Medidas de Dispersão	O que são medidas de dispersão e como podem ajudar na modelagem da Qualidade do processo.
15	Ramo e folhas e Diagrama em caixas	Apresenta o ramo e folhas e o diagrama em caixas e como eles podem ajudar na modelagem da Qualidade do processo.
16	Distribuições de probabilidade	Apresenta os conceitos básicos de probabilidade e distribuições de probabilidade, e como podem ajudar na modelagem da Qualidade do processo.
17	Distribuições Discretas de Probabilidade	Apresenta as distribuições discretas de probabilidade mais importantes para o CEQ.
18	Distribuições Contínuas de Probabilidade	Apresenta as distribuições contínuas de probabilidade mais importantes para o CEQ.
19	Regra dos Três Desvios Padrões	Apresenta as razões porque os limites de controle nos Gráficos são colocados a três desvios padrões da linha central.
20	Amostragem e Distribuições Amostrais	Apresenta o conceito de amostragem e distribuições amostrais, e como podem ajudar na inferência sobre a Qualidade do processo.
21	Estimação por Ponto de um parâmetro	Apresenta os conceitos relacionados à estimação por ponto de parâmetros de uma distribuição de probabilidades, e como pode ajudar na inferência da Qualidade do processo.

Quadro 19 - Tutoriais da Área 2 - Conceitos Básicos de Controle Estatístico da Qualidade – Segunda parte

Número	Título	Descrição
22	Estimação por Intervalo de um parâmetro	Apresenta os conceitos relacionados à estimação por intervalo de parâmetros de uma distribuição de probabilidades, e como pode ajudar na inferência da Qualidade do processo.
23	Introdução a Testes de Hipóteses	Apresenta os conceitos iniciais de teste de hipóteses, e como podem ser usados para inferir a Qualidade do processo.
24	Testes de Hipóteses de 1 Média	Procedimentos para a realização de testes de hipóteses de uma média populacional
25	Testes de Hipóteses de 1 Proporção	Procedimentos para a realização de testes de hipóteses de uma proporção populacional
26	Testes de Hipóteses de 1 variância	Procedimentos para a realização de testes de hipóteses de uma variância populacional
27	Testes de Hipóteses de 2 Médias	Procedimentos para a realização de testes de hipóteses sobre duas médias populacionais
28	Análise de Variância	Apresenta os conceitos de Análise de Variância, aplicações e interpretação dos seus resultados.

A Área 3 compreende os conceitos sobre Aceitação por Amostragem, cujo conteúdo foi delineado no Quadro 11, seção 3.2.5.2. Os tutoriais são descritos no Quadro 20.

Quadro 20 - Tutoriais da Área 3 - Aceitação por Amostragem

Número	Título	Descrição
29	Definição de Aceitação por Amostragem	Apresenta o conceito de Aceitação por Amostragem e os principais tipos de planos de amostragem
30	Aceitação por Amostragem – Por Atributos	Características principais dos planos de amostragem por atributos
31	Aceitação por Amostragem – Por Variáveis	Características principais dos planos de amostragem por variáveis.

Conforme explicado anteriormente (Capítulo 3) os tutoriais relativos à Aceitação por Amostragem não apresentarão o mesmo detalhamento que será dado a Controle Estatístico de Processos (CEP) e Estudos de Capabilidade de Processos.

A Área 4 compreende os conceitos sobre Planejamento de Experimentos, cujo conteúdo foi delineado no Quadro 12, seção 3.2.5.2. Os tutoriais são descritos no Quadro 21.

Quadro 21 - Tutoriais da Área 4 - Planejamento de Experimentos

Número	Título	Descrição
32	Definição de Planejamento de Experimentos	Apresenta os conceitos de Planejamento de Experimentos, princípios gerais e aplicações mais comuns.
33	Experimentos com um fator	Descrição das principais características e análise dos resultados de experimentos com apenas um fator.
34	Experimentos Fatoriais	O que são Experimentos Fatoriais e como é feita a sua implementação.
35	Outros Experimentos	Descreve outros tipos de experimentos: Fatorial 2^k , Métodos de Superfície de Resposta, Métodos de Taguchi.

Da mesma forma que para Aceitação por Amostragem os tutoriais sobre Planejamento de Experimentos visam apenas dar uma noção dos conceitos envolvidos.

A Área 5 compreende os conceitos básicos sobre Controle Estatístico de Processos e Estudos de Capabilidade de Processos. Será apresentada a filosofia do CEP, as ferramentas estatísticas e de oportunidade, e os princípios de Gráficos de Controle e Estudos de Capabilidade (seu conteúdo está delineado no Quadro 9, seção 3.2.5.2). Os tutoriais são descritos nos Quadros 22 e 23.

Quadro 22 - Tutoriais da Área 5 – Controle Estatístico de Processos e Estudos de Capabilidade – Básico – Primeira parte

Número	Título	Descrição
36	Conceito de Controle Estatístico de Processos	Apresenta o conceito de Controle Estatístico de Processos, as técnicas que o compõem, e sua lógica.
37	Sete ferramentas do CEP	Apresenta de forma resumida as sete ferramentas do CEP, que serão vistas em profundidade nos tutoriais seguintes.
38	Ferramentas de Oportunidade I	Apresenta o Diagrama de Verificação e o Diagrama de Causa e Efeito.
39	Ferramentas de Oportunidade II	Apresenta o Diagrama de Concentração de Defeitos e o Fluxograma
40	Ferramentas Estatísticas I	Apresenta o Gráfico de Pareto, o Histograma e o Ramo e folhas.
41	Ferramentas Estatísticas II	Apresenta o Diagrama de Dispersão e uma primeira descrição dos Gráficos de Controle.

Quadro 23 - Tutoriais da Área 5 – Controle Estatístico de Processos e Estudos de Capabilidade – Básico – Segunda parte

Número	Título	Descrição
42	Princípios Básicos dos Gráficos de Controle	Apresentação dos princípios básicos dos Gráficos de Controle, incluindo seus componentes, objetivos, suposições para aplicação, tipos gerais e razões para sua popularidade.
43	Princípios básicos dos Estudos de Capabilidade de Processo	Apresenta os princípios básicos dos Estudos de Capabilidade de Processo, seus objetivos e condições para aplicação.

A Área 6 compreende o detalhamento das características gerais dos Gráficos de Controle, cujo conteúdo foi delineado no Quadro 9, seção 3.2.5.2. Os tutoriais são apresentados no Quadro 24.

Quadro 24 – Tutoriais da Área 6 - Gráficos de Controle - Características Gerais

Número	Título	Descrição
44	Delineamento de um Gráfico de Controle	Descreve o que precisa ser definido para utilizar um Gráfico de Controle.
45	Padrões em Gráficos de Controle	Definição dos padrões aleatórios e não aleatórios em Gráficos de Controle.
46	Reconhecimento de Padrões em Gráficos de Controle	Apresenta as principais formas de reconhecimento de padrões em Gráficos de Controle.
47	Regras de Identificação de Padrões	Apresenta as regras mais utilizadas para identificação de padrões em Gráficos de Controle
48	Gráficos de Controle por Variáveis	Apresenta os princípios básicos dos Gráficos de Controle por Variáveis.
49	Gráficos de Controle por Atributos	Apresenta os princípios básicos dos Gráficos de Controle por Atributos.

A partir deste momento as diferentes técnicas, seja de Gráficos de Controle ou de Estudos de Capabilidade de Processos, são abordadas com maior profundidade. Usualmente cada técnica é descrita por um tutorial, mas algumas compreendem dois ou mais tutoriais para cobrir os tópicos relativos não somente à interpretação de resultados, mas também os referentes à escolha e delineamento da técnica correta para um determinado problema. Todo o conteúdo foi descrito no Quadro 9, seção 3.2.5.2.

A Área 7 compreende os Gráficos de Controle por Variáveis de Shewhart, ou seja todos aqueles desenvolvidos por W.A. Shewhart em seus escritos originais (ver seção 2.3.1.1). Os tutoriais são apresentados no Quadro 25.

Quadro 25 - Tutoriais da Área 7 - Gráficos de Controle de por Variáveis de Shewhart

Número	Título	Descrição
50	Gráficos de Shewhart por variáveis – Princípios	Apresenta os princípios básicos dos Gráficos de Shewhart por variáveis, bem como os seus diversos tipos.
51	Gráficos \bar{X} e R – Nível I	Apresenta os princípios dos Gráficos \bar{X} e R, as primeiras tentativas para estabelecer os limites de controle, estimativas da média e variabilidade do processo e os problemas advindos.
52	Gráficos \bar{X} e R – Nível II	Descreve como obter os limites de controle para os Gráficos \bar{X} e R, os limites de teste, a construção e interpretação dos gráficos.
53	Gráficos \bar{X} e R – Nível III	Descreve os limites naturais de tolerância e como eles diferem dos limites de especificação. Apresenta os erros tipo I e II em Gráficos de Controle.
54	Gráficos \bar{X} e R – Nível IV	Descreve as Curvas Características de Operação, seu relacionamento com as ARLs, e as conseqüências para o desempenho dos Gráficos.
55	Gráficos \bar{X} e s – Nível I	Apresenta os princípios dos Gráficos \bar{X} e s, as primeiras tentativas para estabelecer os limites de controle, estimativas da média e variabilidade do processo e os problemas advindos.
56	Gráficos \bar{X} e s – Nível II	Descreve como obter os limites de controle para os Gráficos \bar{X} e s, a construção e interpretação dos gráficos.
57	Gráficos para medidas individuais – Nível I	Apresenta os princípios dos Gráficos para medidas individuais, as primeiras tentativas para estabelecer os limites de controle, estimativas da média e variabilidade do processo e os problemas advindos.
58	Gráficos para medidas individuais – Nível II	Descreve como obter os limites de controle para os Gráficos de medidas individuais, a construção e interpretação dos gráficos, e a ARL.
59	Gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção – Nível I	Apresenta os gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção, quando devem ser usados e as suposições necessárias.
60	Gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção – Nível II	Apresenta os gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção, em que o desvio padrão é aproximadamente igual para todas as partes. Cálculo dos limites de controle.
61	Gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção – Nível III	Apresenta os gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção, em que o desvio padrão não pode ser considerado igual para todas as partes. Cálculo dos limites de controle.

A Área 8 compreende todos os outros Gráficos de Controle por Variáveis (CUSUM,

EWMA e outros), desenvolvidos após os trabalhos de Shewhart (ver seção 2.3.1.1). Os tutoriais são apresentados no Quadro 26.

Quadro 26 - Tutoriais da Área 8 - Outros Gráficos de Controle por Variáveis

Número	Título	Descrição
62	Por que outros gráficos de Controle por variáveis?	Apresenta os motivos que levaram ao desenvolvimento de outros gráficos de controle por variáveis, para situações em que os gráficos de Shewhart não apresentavam o desempenho apropriado.
63	CUSUM	Apresenta o Gráfico de Controle por Soma Cumulativa (CUSUM).
64	EWMA	Apresenta os Gráficos MA e sua generalização para os Gráficos EWMA.
65	Gráfico Multivariado de Hotelling	Apresenta o Gráfico de Hotelling para controle multivariado.
66	Gráfico de Controle de Regressão	Apresenta o Gráfico de Controle de Regressão, indicado para a monitoração de 2 variáveis relacionadas

A Área 9 compreende os Gráficos de Controle por Atributos de Shewhart (ver seção 2.3.1.1). Os tutoriais são apresentados nos Quadros 27 e 28.

Quadro 27 - Tutoriais da Área 9 - Gráficos de Controle por Atributos de Shewhart – Primeira parte

Número	Título	Descrição
67	Gráficos de Shewhart por atributos – Princípios	Apresenta os princípios básicos dos Gráficos de Shewhart por atributos, bem como os seus diversos tipos.
68	Gráficos p – Fração de defeituosos – Nível I	Apresenta os Gráficos p, para fração de defeituosos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra constante.
69	Gráficos p – Fração de defeituosos – Nível II	Apresenta os Gráficos p, para fração de defeituosos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Curva característica de operação e ARL.
70	Gráficos np – Número de defeituosos – Nível I	Apresenta os Gráficos np, para número de defeituosos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra constante.
71	Gráficos np – Número de defeituosos – Nível II	Apresenta os Gráficos np, para número de defeituosos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Curva característica de operação e ARL.

Quadro 28 - Tutoriais da Área 9 - Gráficos de Controle por Atributos de Shewhart - Segunda parte

Número	Título	Descrição
72	Gráficos c – Número de defeitos – Nível I	Apresenta os Gráficos c, para número de defeitos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra constante.
73	Gráficos c – Número de defeitos – Nível II	Apresenta os Gráficos c, para número de defeitos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Curva característica de operação e ARL.
74	Gráficos u – Número de defeitos por unidade – Nível I	Apresenta os Gráficos u, para número de defeitos por unidade de inspeção, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra constante.
75	Gráficos u – Número de defeitos por unidade – Nível II	Apresenta os Gráficos u, para número de defeitos por unidade, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Curva característica de operação e ARL.

A Área 10 compreende os outros Gráficos de Controle por Atributos. Basicamente consistem em utilizar estatísticas por atributos (como fração de defeituosos – p, ou número de defeitos – c) para construir um Gráfico CUSUM. Montgomery (1997) e Lucas (1995) preconizam a utilização destes Gráficos quando houver interesse na detecção rápida de pequenos desvios nos parâmetros do processo. Os tutoriais são apresentados no Quadro 29.

Quadro 29 - Tutoriais da Área 10 - Outros Gráficos de Controle por Atributos

Número	Título	Descrição
76	Por que outros gráficos de Controle por atributos?	Apresenta os motivos que levaram ao desenvolvimento de outros gráficos de controle por atributos, para situações em que os gráficos de Shewhart não apresentavam o desempenho apropriado.
77	CUSUM usando p	Apresenta o Gráfico de Controle por Soma Cumulativa (CUSUM), usando p como estatística.
78	CUSUM usando c	Apresenta o Gráfico de Controle por Soma Cumulativa (CUSUM), usando c como estatística.

A Área 11 compreende os conceitos de Estudos de Capabilidade de Processo (ver seção 2.3.2). Os tutoriais são apresentados no Quadro 30.

Quadro 30 - Tutoriais da Área 11 - Estudos de Capabilidade de Processo

Número	Título	Descrição
79	Princípios dos Estudos de Capabilidade de Processos	Apresenta os objetivos e as técnicas mais utilizadas para determinar a capacidade de processos produtivos: histograma, índices, sistema de medição, atributos.
80	Índices de Capabilidade de Processos - Cp	Apresenta o índice Cp, que pode ser usado para mensurar a capacidade do processo. Uso quando há apenas uma especificação
81	Índices de Capabilidade de Processos - Cpk	Apresenta o índice Cpk, que pode ser usado para mensurar a capacidade do processo.
82	Estudos da Capabilidade do sistema de medição	Apresenta os princípios e métodos utilizados para avaliar a capacidade dos sistemas de aferição e medição usados para monitorar processos.

4.3.2 – Estrutura de um tutorial

Os tutoriais do STCEQ foram implementados como apresentações do PowerPoint®. Este aplicativo possui uma gama de recursos, o que permite tentar alcançar os vários estilos de aprendizagem. Dentre as características empregadas nos tutoriais encontram-se:

- animação, permitindo construir passo a passo o tópico em questão, tornando a interação mais atrativa (não foram utilizados efeitos sonoros porque muitos dos computadores onde o STCEQ será usado não dispõem de placa de som).
- uso de hiperlinks, permitindo que o usuário navegue pelo conteúdo do tutorial, passando diretamente para o trecho que mais o interessa, ou revendo outro que foi desconsiderado inicialmente.
- incorporação extensiva de figuras e diagramas, de acordo com a estratégia instrucional da proposta (seção 3.3.2), muitas delas com conteúdo lúdico para descontrair o usuário e tornar a interação mais agradável.
- incorporação de exemplos práticos.

O objetivo principal dos tutoriais é procurar atingir todos os tipos de estilos de

aprendizagem. Felder e Silverman (1988) propuseram um modelo em que o estilo predominante de aprendizagem de uma pessoa poderia traduzido em cinco dimensões, que teriam dois extremos

- 1) Aprendizes ativos, valorizam a experiência e as aplicações práticas, e reflexivos, com preferência por ponderações individuais sobre as informações adquiridas.
- 2) Aprendizes sensoriais, gostam de aprender fatos e tópicos com conexão direta ao mundo real, e intuitivos, com preferência por descobrir possibilidades e relações e habilidade para lidar com abstrações.
- 3) Aprendizes visuais, que relembram melhor o que viram (figuras, diagramas, fluxogramas), e verbais, que conseguem tirar mais proveito das palavras escritas ou faladas.
- 4) Aprendizes seqüenciais, que tendem a aprender de forma linear (em etapas logicamente seqüenciadas), e globais, que costumam procurar construir um quadro geral antes de perceberem os detalhes.
- 5) Aprendizes indutivos, que aprendem do particular para o geral, e dedutivos, do geral para o particular.

Os autores declaram que todas as pessoas têm em si os dois extremos de cada estilo de aprendizagem, mas que há preferência maior por um deles, que pode se modificar dependendo de fatores tão díspares quanto o envelhecimento da própria pessoa ou o tipo de tópico que se está estudando. Outra constatação importante é que o ideal é a obtenção de um equilíbrio entre os extremos de cada estilo, pois ninguém pode agir puramente por intuição, correndo o risco de agir impensadamente, ou refletir demais, e nada fazer, por exemplo.

Para que qualquer programa de ensino tenha razoáveis chances de sucesso o instrutor precisa ensinar de maneira a favorecer o modo preferencial de aprendizagem dos estudantes, pelo menos em parte do tempo. Sendo assim o material instrucional deveria ser preparado de

maneira a auxiliar os mais diversos estilos predominantes de aprendizagem, se necessário aplicando alguma espécie de teste psicológico para “classificar” os estudantes. (Felder,1996).

Na atual versão do STCEQ não será implementado um teste de identificação de estilo predominante de aprendizagem, pois não há ainda um consenso sobre qual dos testes disponíveis é o mais apropriado. Não obstante, os tutoriais e problemas foram projetados para procurar facilitar a assimilação dos conceitos pelo maior diversidade possível de estilos de aprendizagem:

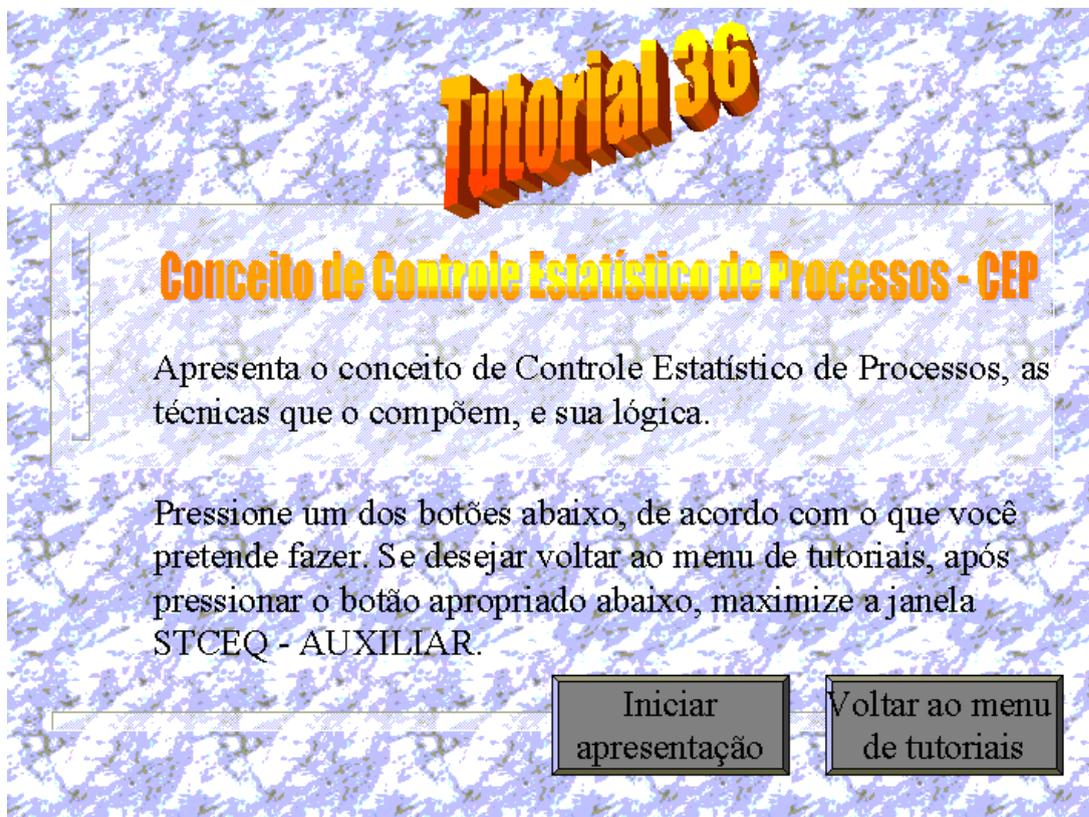
- há figuras e diagramas para os aprendizes visuais (o que é extremamente importante para inferência estatística e CEQ, ver seção 3.3.1.1) e explanações escritas para os aprendizes verbais.
- há apresentações cadenciadas para os aprendizes sequenciais, índices que resumem o conteúdo com hiperlinks ligando aos detalhes para os aprendizes globais.
- há exemplos de aplicação prática para os aprendizes sensoriais e discussão de conceitos mais sofisticados para aprendizes intuitivos.
- há possibilidades de vivenciar uma série de tópicos para os aprendizes ativos²⁹, e possibilidade de parar a apresentação para refletir sobre o conteúdo para os aprendizes reflexivos.
- e finalmente há explanações de como, a partir de indícios isolados, consolidou-se um conceito para aprendizes indutivos, e como a partir de conceitos é possível estender as conclusões a fatos particulares, para os aprendizes dedutivos.

A seguir serão apresentados alguns slides de um tutorial do STCEQ, em que se procurou atingir os diferentes estilos de aprendizagem.

²⁹ Embora isso ocorra de forma mais intensa na resolução de problemas.

As figuras a seguir mostrarão algumas telas com que o usuário irá se deparar ao escolher o tutorial 36, Conceito de Controle Estatístico de Processos.

Figura 10 - Tela inicial do Tutorial 36 - Conceito de Controle Estatístico de Processos



Na Figura 10 é apresentada a tela inicial do tutorial 36, Conceito de Controle Estatístico de Processos. O conteúdo do tutorial é brevemente descrito (tal como no Quadro 22), fornecendo subsídio para que o usuário decida se quer ou não realmente consultar este tutorial. No canto inferior direito da tela encontram-se dois botões que materializam a decisão do usuário. Há informações sobre como o usuário deve proceder.

Pressionando “Voltar ao menu de tutoriais” o usuário desiste da consulta, e retorna ao menu de tutoriais, podendo escolher outro tutorial de seu interesse. Ao pressionar “Iniciar apresentação” o usuário será levado a uma tela que contém o índice do tutorial. Esta tela é apresentada na Figura 11 a seguir.

Figura 11 - Tela com o Índice do Tutorial 36



Por meio do índice descrito na Figura 11 um usuário pode ter uma idéia da abrangência do conteúdo do tutorial que está consultando. Este é um aspecto muito importante para os aprendizes ditos globais. Os quatro tópicos do tutorial têm conjuntos de slides associados (obviamente o número de tópicos e slides varia dependendo do tutorial), e são hiperlinks que levam diretamente ao primeiro daqueles slides. Assim, um usuário interessado especificamente em “Quais são os pré-requisitos e limitações do CEP”, poderia ir diretamente para este assunto. Há, porém, a opção de uma apresentação em seqüência, que iniciará pelo primeiro tópico, “O que é CEP”. Esta característica é importante para os aprendizes ditos seqüenciais.

Um slide típico de um tutorial do STCEQ é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Slide do Tutorial 36

Não me lembro mais o que é processo...

Não há problema, repetiremos o conceito. Observe a figura abaixo.

Processo é uma combinação de máquinas, métodos e pessoas que **TRANSFORMA**

Material de entrada → Processo → Em um produto de saída

São os característicos da qualidade do produto de saída que o CEP monitora, com o intuito de melhorar o processo.

STCEQ

◀ ▶ Voltar ao Índice

Obviamente não é possível reproduzir aqui a animação, mas pode-se perceber que o slide é estruturado como um diálogo entre um novato (o “screen bean”) e um especialista-tutor (o STCEQ): o novato não se lembra mais do que é processo (cuja definição foi apresentada em outro tutorial), por meio de declarações e diagramas o especialista-tutor refresca a memória do novato sobre aquele importante conceito. O uso de declarações verbais auxiliam o aprendiz verbal, e os diagramas e figuras o visual. Os componentes lúdicos e de estrutura semelhante a de uma história em quadrinhos, bem como a descrição geral do conceito de processo, em nível mais abstrato, podem interessar ao aprendiz intuitivo. O controle para fazer a transição do slide quando lhe aprouver (através dos três botões situados no canto inferior direito), possibilitando a ponderação sobre o conteúdo para o aprendiz reflexivo. Outros slides poderiam privilegiar aspectos que auxiliassem aprendizes indutivos e dedutivos também.

Da mesma forma que os tutoriais, os problemas também são planejados para tentar atingir os diferentes estilos de aprendizagem.

4.4 – Módulo Problema

O módulo Problema contém as informações necessárias para que o STCEQ possa concretizar uma das etapas da parte prática do modelo para o ensino do CEQ, tal como previsto no Capítulo 3. As informações armazenadas permitirão:

- registrar na instância do usuário no módulo Aprendiz quais problemas foram resolvidos.
- apresentar a descrição breve dos problemas no relatório da trajetória prévia, caso o usuário tenha acessado previamente o sistema.
- apresentar o arquivo que contém a descrição do problema propriamente dito.
- geração dos resultados pelo módulo Simulador, que serão apresentados ao usuário.
- a própria apresentação das questões do problema.
- suporte para que o módulo Especialista possa elaborar as respostas às questões do problema, e para que o módulo Tutor possa apresentar suas recomendações (incluindo os tutoriais que deverão ser consultados pelo usuário para tentar melhorar sua compreensão acerca de algum conceito).

O Quadro 31 a seguir apresenta as informações armazenadas em uma instância do módulo Problema (cada informação é um atributo da instância, ou faz parte de um método – procedimento computacional, que será executado pela instância).

Quadro 31 – Informações de uma instância do módulo Problema

Informação	Descrição
Número	Indica o número do problema (variando de 1 a 36), que será utilizado como referência pelos outros módulos do sistema.
Título	Nome do problema, indicando apenas o seu número (“Problema 1”, por exemplo), que será apresentado ao usuário, via Interface. Será o título de um botão na interface, que uma vez pressionado causará a apresentação do problema.
Nome do arquivo com a descrição resumida do problema.	Indica o nome e o caminho para o arquivo texto que contém uma descrição breve do problema em questão. O conteúdo deste arquivo será exibido no relatório sobre a trajetória prévia do usuário, caso este tenha acessado o sistema previamente.
Nome do arquivo com a apresentação do problema.	Indica o nome e o caminho para o arquivo de apresentação do PowerPoint® que contém a apresentação do problema, e que será apresentado ao usuário, uma vez que este o escolha pressionando o botão associado na interface.
Subtipos do problema	Identifica de que tipo de problema se trata (Gráficos de Controle, Estudos de Capabilidade, por exemplo), e também o tipo específico de técnica abordada (Gráfico CUSUM, Estudo de Capabilidade por Índices, por exemplo).
Parâmetros	Todos os valores numéricos necessários para que o módulo Simulador gere os resultados de problemas dos subtipos especificados. Estes valores incluem os parâmetros de distribuições de probabilidade (média e desvio padrão para uma normal, por exemplo), número de pontos que apresentaram desvio (estabelecido pelo instrutor para testar a habilidade do usuário em identificar desvios), magnitude do desvio (em número de desvios padrões), tipo de desvio (se ocorrerá apenas na tendência central, por exemplo), quantos subgrupos farão parte de um Gráfico de Controle, entre outros.
Tutoriais associados	Trata-se dos tutoriais cujo conteúdo é fortemente relacionado ao problema, e cuja consulta seria recomendável caso o desempenho do usuário não seja muito bom. Há os tutoriais chamados complexos, que o usuário deve consultar quando seu desempenho não foi insatisfatório, mas também não foi ótimo. E há os simples, que devem ser consultados quando o usuário teve um desempenho ruim no problema, o que pode significar que não houve compreensão dos conceitos básicos (nestes casos os tutoriais complexos também devem ser consultados).
Questões	As perguntas que o usuário deve responder.
Palavras chave	São informações sobre as condições do problema, definidas pelo instrutor e reveladas ao usuário na apresentação do problema, que guiam o módulo Especialista e o Tutor nos seus diagnósticos.

A próxima seção irá descrever como e por que foram escolhidos os problemas que fazem parte da atual versão do STCEQ.

4.4.1 – Escolha dos Problemas

Desde o princípio decidiu-se que os problemas abordados deveriam se originar de processos produtivos reais. Devido às dificuldades de obter informações diretamente de empresas, resolveu-se então elaborar os problemas com base em processos reais, obtendo a maior quantidade de informações possível, recolhendo observações de fontes acadêmicas (dissertações de mestrado, teses de doutorado, monografias, artigos), e documentos disponibilizados ao público (em páginas na INTERNET, por exemplo).

O ideal seria implementar problemas relevantes para melhorar a compreensão da Qualidade de produtos e processos de um determinado setor (Cheng e Dawson,1998) (Dahlgaard et al., 1999). Infelizmente, não há como prever em que setor os estudantes/treinandos que serão instruídos pelo modelo apresentado neste trabalho irão atuar no futuro (o público alvo é composto por estudantes de engenharia). Sendo assim, procurou-se obter processos produtivos dos mais diversos setores, de produção de sal marinho a peças automobilísticas, passando por fabricação de telhas e farinha de mandioca, para que os conceitos fossem praticados em diferentes situações.

Outro aspecto extremamente importante é a definição das habilidades que serão exigidas dos usuários do STCEQ nos problemas. Decidiu-se restringir os problemas apenas à interpretação de resultados, pelos motivos já discutidos na seção 3.3.3.2. Não obstante, a atual versão do STCEQ é um protótipo, e pretende-se estendê-la para incorporar problemas de escolha e delineamento da técnica mais apropriada.

Apenas problemas referentes à interpretação de resultados de Controle Estatístico de Processos e Estudos de Capabilidade de Processos foram implementados na atual versão do STCEQ. Os motivos para essa decisão foram arrolados na seção 1.4.2. Pode-se enfatizar,

porém, que são as técnicas de CEQ mais disseminadas (ver Capítulo 2), e que permitem avaliar a Qualidade dentro do processo.

4.4.2 – Tipos de Problemas

Os problemas de interpretação de resultados dividem-se em três tipos:

- os que apresentam resultados provenientes apenas de Gráficos de Controle.
- os que apresentam resultados provenientes apenas de Estudos de Capabilidade de Processos.
- e os que apresentam resultados de Gráficos de Controle, seguidos por outros de Estudos de Capabilidade de Processos.

Idealmente o usuário resolveria todos os problemas de apenas Gráficos de Controle, em seguida todos de apenas Estudos de Capabilidade e finalizaria com os problemas de Gráficos de Controle seguidos por Estudos de Capabilidade. Mas, tal como na consulta a tutoriais, o usuário poderia escolher os problemas na seqüência que melhor lhe aprouver. A ordem proposta tenta replicar a forma correta de resolução de problemas de CEP e Estudos de Capabilidade de Processos:

- 1) Identifica-se se o processo está sob controle estatístico, para que possa ser possível prever a sua capacidade. A identificação é feita usando apenas Gráficos de Controle (por Variáveis e por Atributos, procurando detectar grandes ou pequenos desvios no Característico, dependendo das condições do processo).
- 2) Sabendo-se que o processo é estável, isso sendo verificado anteriormente, avalia-se a sua capacidade, tanto para o Característico (por histogramas e índices de capacidade) quanto para o sistema de medição (por isso nos problemas de apenas Estudos de Capabilidade no STCEQ a avaliação será necessariamente por Variáveis).
- 3) As duas tarefas descritas nos dois itens anteriores são conjugadas, replicando o procedimento que os estudantes/treinandos provavelmente terão que aplicar na prática,

primeiramente avaliar a estabilidade do processo (usando os Gráficos de Controle), para em seguida opinar sobre a sua capacidade.

4.4.2.1 – Distribuição dos problemas por tipo

Na atual versão do STCEQ foram incorporados apenas trinta e seis problemas por se tratar de um protótipo. Mais problemas poderiam ser acrescentados simplesmente pela adição de outras telas e/ou menus na interface do sistema. Destes trinta e seis problemas decidiu-se que dezoito seriam de apenas Gráficos de Controle, seis de apenas Estudos de Capacidade de Processos, e doze de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capacidade.

Por que dezoito problemas de apenas Gráficos de Controle e somente seis de apenas Estudos de Capacidade? Há um número muito maior de técnicas de Gráficos de Controle do que de Estudos de Capacidade, justificando um maior número de problemas para que os usuários possam praticá-las. Além disso, nos problemas de apenas Estudos a capacidade do processo é avaliada por histogramas e índices de capacidade (para permitir a descrição da distribuição do Característico e obter padrões usados em muitos setores, respectivamente) e o sistema de medição também é verificado, resultando na realidade não em seis, mas em dezoito problemas: o usuário precisa opinar sobre a Capacidade com base em três conjuntos de resultados, em cada problema. Julgou-se que doze problemas de Gráficos de Controle seguidos por Estudos de Capacidade são suficientes, ao menos na atual versão, para que os usuários possam praticar suas habilidades.

Nas duas próximas seções serão apresentadas as técnicas abordadas nos problemas de apenas Gráficos de Controle e de Gráficos de Controle seguidos por Estudos de Capacidade de Processos.

4.4.2.2 – Técnicas abordadas nos problemas de apenas Gráficos de Controle

As técnicas foram definidas levando em conta dois fatores: o tipo de Gráfico de Controle (estando implícito se a avaliação é feita por Variáveis ou por Atributos), e se o Gráfico estava sendo usado pela primeira vez (estudo inicial), ou se o CEP já havia sido implantado e o Gráfico de Controle vinha sendo usado rotineiramente (estudo de monitoramento). As técnicas para cada problema estão descritas no Quadro 32 a seguir.

Quadro 32 - Técnicas dos problemas de apenas Gráficos de Controle

Problema	Avaliação	Tipo de Gráfico	Tipo de estudo
1	Variáveis	Médias e Intervalos (\bar{X} e R)	Inicial
2	Variáveis	Médias e Intervalos (\bar{X} e R)	Monitoramento
3	Variáveis	Médias e Intervalos (\bar{X} e R)	Inicial
4	Variáveis	Médias e Intervalos (\bar{X} e R)	Inicial
5	Variáveis	Médias e Intervalos (\bar{X} e R)	Monitoramento
6	Variáveis	Médias e Desvios Padrões (\bar{X} e s)	Inicial
7	Variáveis	Médias e Desvios Padrões (\bar{X} e s)	Inicial
8	Variáveis	Médias e Desvios Padrões (\bar{X} e s)	Monitoramento
9	Variáveis	Medidas Individuais e Intervalos Móveis (X e MR)	Inicial
10	Variáveis	Medidas Individuais e Intervalos Móveis (X e MR)	Inicial
11	Atributos	Fração de defeituosos (p)	Inicial
12	Atributos	Fração de defeituosos (p)	Monitoramento
13	Atributos	Número de defeitos (c)	Inicial
14	Atributos	Número de defeitos (c)	Monitoramento
15	Variáveis	Soma Cumulativa para Medidas Individuais (CUSUM para X)	Inicial
16	Variáveis	Média Móvel Exponencialmente Ponderada para Medidas Individuais (EWMA para X)	Inicial
17	Variáveis	Soma Cumulativa para Médias (CUSUM para \bar{X})	Inicial
18	Atributos	Soma Cumulativa para Número de Defeitos (CUSUM para c)	Monitoramento

Preferiu-se utilizar um maior número de técnicas de avaliação por Variáveis porque este tipo permite a obtenção de mais informações sobre o processo, entre outras vantagens (ver seção 2.1.2). Além disso, com o progresso da tecnologia e os requisitos de maior Qualidade por parte dos clientes, a instalação de equipamentos de medição mais precisos vem se disseminando, e é possível que esta tendência aumente, o que justificaria uma maior ênfase em técnicas de avaliação por Variáveis. Mas, nada impede que em novas versões do STCEQ sejam acrescentados mais problemas de avaliação por Atributos.

Há um maior número de estudos iniciais, nos quais os limites de controle dos Gráficos são calculados a partir dos dados, e não estabelecidos em função de padrões definidos anteriormente (os chamados estudos de monitoramento). Optou-se por este enfoque para proporcionar uma idéia mais completa ao usuário sobre o CEP, pois este provavelmente precisará iniciar a implementação do CEP em alguma das organizações que vier a trabalhar. Mesmo assim, um conhecimento mínimo sobre estudos de monitoramento é previsto (e pode ser aumentado em versões posteriores do STCEQ).

Uma pergunta bastante razoável é: “por que tantos problemas sobre Gráficos de Médias e Intervalos”? Há três razões principais para isso:

- trata-se de uma técnica de aplicação consagrada no mundo há mais de sessenta anos (se não fosse útil, dificilmente continuaria em uso).
- quando suas indicações de uso são satisfeitas é extremamente útil para aplicar no início da implementação do CEP (quando não se tem idéia sobre a estabilidade do processo e há urgência em detectar grandes desvios nos Característicos).
- talvez seja mais fácil explicar esta técnica aos operários de chão de fábrica (do que os Gráficos de Médias e Desvios Padrões ou CUSUM)³⁰.

“Por que apenas problemas para Gráficos de Controle para fração de defeituosos (p) e número de defeitos (c)”? Os dois tipos são os Gráficos de Controle por Atributos mais enfocados na literatura técnica e nas aplicações, e os outros Gráficos por Atributos de Shewhart (número de defeituosos – np e número de defeitos por unidade – u) derivam das estatísticas dos Gráficos p e c. Não obstante o STCEQ prevê a geração e apresentação de Gráficos np e u (ver seção 4.5, módulo Simulador), além dos Gráficos de Média Móvel Exponencialmente Ponderada para Médias (EWMA para \bar{X}), e Soma Cumulativa para Fração

³⁰ O que pode facilitar o trabalho do usuário do STCEQ, que pode vir a ser um instrutor na organização em que eventualmente atuar.

de Defeituosos (CUSUM para p), também não citados no Quadro 32. Em outras palavras, o STCEQ está preparado para incluir problemas sobre as técnicas citadas em uma futura expansão do sistema.

Nesta primeira versão do STCEQ não há previsão para problemas de Gráficos de Controle Multivariados de Hotelling, não obstante fazerem parte do conjunto de tutoriais implementados. Reconhece-se a sua importância, mas preferiu-se dar maior ênfase às técnicas univariadas para permitir uma compreensão mais rápida dos conceitos envolvidos. Raciocínio semelhante foi adotado para os Gráficos de Controle de Regressão.

Outro tópico não previsto na atual versão do STCEQ foi a existência de autocorrelação nos dados, embora também abordada em profundidade em alguns tutoriais. Este ponto é polêmico, visto que se trata de ponto crucial para a escolha da técnica de CEQ mais apropriada para resolver um problema. A incorporação de tal característica forçaria a implementação de uma série de outras técnicas, como modelos ARIMA de modelagem de séries temporais, que iriam aumentar demasiadamente a complexidade do protótipo do STCEQ. É intenção do autor deste trabalho (declarada no Capítulo 5) incluir a simulação de dados autocorrelacionados nas próximas versões do STCEQ

4.4.2.3 – Técnicas abordadas nos problemas de Gráficos de Controle seguidos por Estudos de Capabilidade de Processos

Neste tipo de problema é preciso conjugar Gráfico de Controle e Estudo de Capabilidade de Processos. Quanto aos Gráficos de Controle procurou-se manter a mesma proporção entre as técnicas que foi utilizada nos problemas de apenas Gráficos de Controle (tanto em termos de avaliação por Variáveis e Atributos, quanto entre estudos iniciais e de monitoramento). Quanto aos Estudos de Capabilidade privilegiou-se a utilização de Índices, por ser prática comum em muitos setores industriais, e por permitir inclusive o cálculo de

intervalos de confiança e testes de hipóteses sobre eles. As técnicas para cada problema estão descritas no Quadro 33 a seguir.

Quadro 33 - Técnicas dos problemas Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade

Prob.	Avaliação	Gráficos	Tipo de Estudo (Gráficos)	Estudo de Capabilidade
25 ³¹	Variáveis	\bar{X} e R	Inicial	Por Histogramas
26	Variáveis	\bar{X} e R	Monitoramento	Por Índices
27	Variáveis	\bar{X} e R	Inicial	Por Índices
28	Variáveis	\bar{X} e s	Inicial	Por Índices
29	Variáveis	X e MR	Inicial	Por Histogramas
30	Variáveis	CUSUM para X	Inicial	Por Histogramas
31	Variáveis	CUSUM para X	Monitoramento	Por Índices
32	Variáveis	CUSUM para \bar{X}	Inicial	Por Índices
33	Variáveis	EWMA para X	Inicial	Por Índices
34	Atributos	P	Monitoramento	Por Índices
35	Atributos	C	Inicial	Por Histograma
36	Atributos	CUSUM para c	Inicial	Por Índices

O STCEQ permite também a combinação de Estudos de Capabilidade de Sistemas de Medição, como nos problemas de apenas Estudos de Capabilidade, mas somente para Gráficos de Controle por Variáveis. Nos problemas em que a avaliação é por Atributos (em que geralmente há apenas uma especificação), e o Estudo de Capabilidade é feito por Índices, são calculados apenas os índices C_p , que podem ser usados em tais casos.

A próxima seção irá apresentar os detalhes de cada um dos problemas citados nos Quadros 32 e 33, além dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos.

4.4.3 – Conteúdo dos Problemas

Nesta seção serão apresentados mais detalhes sobre os problemas, basicamente o tipo de processo produtivo, os Característicos da Qualidade que serão monitorados, e a fonte das informações. A lista com os tópicos completos sobre os problemas está no Anexo D.

³¹ Os problemas número 19 a 24 são os de apenas Estudos de Capabilidade de Processos.

Somente processos produtivos industriais foram implementados nesta primeira versão do STCEQ. A aplicação do CEQ, e especialmente do CEP e Estudos de Capabilidade de Processos, ocorre predominantemente em indústrias de transformação, não só no Brasil mas em vários países (Bränström-Stenberg e Deleryd, 1999) (Lee, 1997). Isto poderia justificar a utilização de processos industriais apenas. Nas próximas versões do STCEQ pretende-se incluir processos de serviços, uma vez que os conceitos do CEQ são válidos para qualquer tipo de processo (Montgomery,1997).

Os Quadros 34, 35 e 36 contém o conteúdo dos problemas da atual versão do STCEQ.

Quadro 34 - Conteúdo dos problemas do STCEQ - Primeira parte

Prob.	Técnicas	Processo	Característico	Fonte
1	Gráficos \bar{X} e R - Inicial	Abate de frangos	Peso final do frango	(Malheiros,1994)
2	Gráficos \bar{X} e R - Monitoramento	Fabricação de pisos cerâmicos	Granulometria dos pisos	(Petrus,1994)
3	Gráficos \bar{X} e R - Inicial	Fabricação de painéis de fibra	Espessura dos painéis	(Bonduelle,1997)
4	Gráficos \bar{X} e R - Inicial	Produção de cerâmica vermelha	Comprimento das peças	(Mafra,1999)
5	Gráficos \bar{X} e R - Monitoramento	Torrefação de café	Percentual de cafeína	(Café do Sítio,2001)
6	Gráficos \bar{X} e s - Inicial	Produção de xarope de glicose	pH do xarope	(Manfrim,2001)
7	Gráficos \bar{X} e s - Inicial	Trefilação de fios de cobre	Condutividade do fio	(Cabelauto,2001)
8	Gráficos \bar{X} e s - Monitoramento	Produção de farinha de mandioca	Granulometria da farinha	(Farinha Tupã,2001)
9	Gráficos X e MR – Inicial	Produção de artigos têxteis	Largura de malha crua	(Carvalho,1991)
10	Gráficos X e MR – Inicial	Produção de artigos têxteis	Largura de malha acabada	(Carvalho,1991)
11	Gráfico p – Inicial	Abate de frangos	Frango conforme ou não	(Malheiros,1994)
12	Gráfico p – Monitoramento	Produção de cerâmica vermelha	Peça conforme ou não	(Mafra,1999)

Quadro 35 - Conteúdo dos problemas do STCEQ - Segunda parte

Prob.	Técnicas	Processo	Característico	Fonte
13	Gráfico c – Inicial	Produção de cerâmica vermelha	Número de defeitos na peça	(Mafra,1999)
14	Gráfico c – Monitoramento	Produção de artigos têxteis	Número de defeitos na malha crua	(Carvalho, 1999)
15	Gráfico CUSUM para X – Inicial	Produção de pisos cerâmicos	Umidade dos pisos	(Petrus,1994)
16	Gráfico EWMA para X - Inicial	Produção de sal marinho	Densidade do sal	(Diamante, 2001)
17	Gráfico CUSUM para \bar{X} - Inicial	Produção de papel	Gramatura de papel para impressoras	(Ripasa, 2001)
18	Gráfico CUSUM para c - Inicial	Produção de artigos têxteis	Número de defeitos na malha acabada	(Carvalho,1999)
23	Estudos de Capabilidade por Histogramas, Índices e do Sistema de Medição	Produção de parafusos	Comprimento dos parafusos	(Irmãos Parasmó, 2001)
24	Estudos de Capabilidade por Histogramas, Índices e do Sistema de Medição	Produção de peças sinterizadas	Diâmetro das peças	(Qualisinter, 2001)
25	Gráficos \bar{X} e R – Inicial, Estudo de Capabilidade por Histograma	Produção de surimi	pH da água das embalagens	(Taha,1996)
26	Gráficos \bar{X} e R – Monitoramento, Estudo de Capabilidade por Índices	Produção de surimi	Peso das embalagens	(Taha,1996)
27	Gráficos \bar{X} e R – Inicial, Estudo de Capabilidade por Índices	Produção de ácido fluossilícico	Percentual do ácido	(Ultrafértil e Fosfértil, 2001)
28	Gráficos \bar{X} e s – Inicial, Estudo de Capabilidade por Índices	Produção de amido	Percentual de umidade	(Yamakawa, 2001)
29	Gráficos X e MR – Inicial, Estudo de Capabilidade por Histograma	Produção de artigos têxteis	Gramatura de malha crua	(Carvalho, 1999)
30	Gráfico CUSUM para X – Inicial, Estudo de Capabilidade por Histograma	Produção de amônia	Percentual de amônia	(Ultrafértil e Fosfértil, 2001)
31	Gráfico CUSUM para X – Monitoramento, Estudo de Capabilidade por Índices	Produção de sal marinho	Percentual de iodo no sal	(Diamante, 2001)
32	Gráfico CUSUM para \bar{X} - Inicial, Estudo de Capabilidade por Índices	Produção de xarope de glicose	Percentual de sólido no xarope	(Manfrim, 2001)

Quadro 36 - Conteúdo dos problemas do STCEQ - Terceira parte

Prob.	Técnicas	Processo	Característico	Fonte
33	Gráfico EWMA para X – Inicial, Estudo de Capabilidade por Índices	Produção de fosfato	Percentual de fosfato MAP	(Ultrafértil e Fosfértil, 2001)
34	Gráfico p – Monitoramento, Estudo de Capabilidade por Índices	Produção de pisos cerâmicos.	Peça com textura adequada ou não	(Vieira,1999)
35	Gráfico c – Inicial, Estudo de Capabilidade por Histograma	Produção de painéis de fibra	Número de defeitos nos painéis	(Bonduelle, 1997)
36	Gráfico CUSUM para c – Inicial, Estudo de Capabilidade por Índices	Produção de artigos têxteis	Número de defeitos na malha acabada	(Carvalho, 1999)

4.4.4 – Estrutura de Apresentação dos Problemas

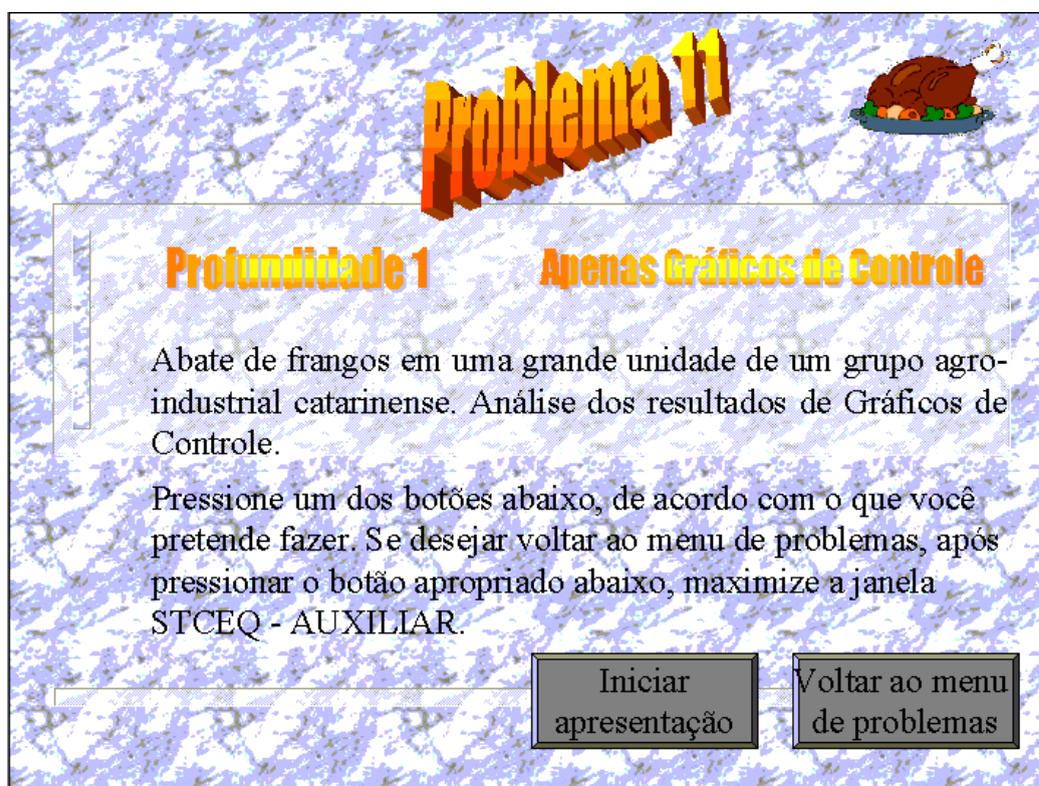
Antes de o usuário iniciar a resolução propriamente dita do problema é preciso inteirar-se dos detalhes do problema. Optou-se por tentar “imersão” o usuário no problema, descrevendo a estrutura da empresa, detalhando seu processo produtivo, e apresentando o problema da Qualidade da organização, designando a tarefa que o usuário deveria cumprir. Na atual versão do STCEQ o usuário deve basicamente interpretar os resultados das técnicas implementadas, recomendar o que fazer em função deles e opinar se a(s) técnica(s) utilizada(s) é (são) apropriada(s) ou não para o problema.

As apresentações dos problemas do STCEQ, tal como os tutoriais, foram implementadas como apresentações do PowerPoint®, pelos mesmos motivos. Conforme foi declarado previamente (ver seção 4.3.2), as apresentações dos problemas também foram desenvolvidas de maneira a tentar atingir todos os estilos de aprendizagem.

A seguir serão apresentados alguns slides de uma apresentação de problema do STCEQ, em que se procurou atingir os diferentes estilos de aprendizagem.

As Figuras 13 a 18 mostrarão algumas telas com que o usuário irá se deparar ao escolher o problema 11, de apenas Gráficos de Controle (ver Quadro 34), em que um processo de abate de frangos é avaliado, através de um estudo inicial por meio de um Gráfico p, monitorando se a aparência³² do frango está de acordo com os padrões dos clientes. A descrição do processo produtivo foi retirada de Malheiros (1994).

Figura 13 - Tela inicial do Problema 11



Na Figura 13 é apresentada a tela inicial do problema11. Declara-se qual é a profundidade do problema (Profundidade 1 significa apenas interpretação de resultados), e o tipo de problema (apenas Gráficos de Controle). O conteúdo do problema também é brevemente descrito (tal como no Quadro 34), fornecendo subsídio para que o usuário decida se quer ou não realmente resolver este problema. No canto inferior direito da tela (exatamente

³² Se a pele do frango apresentar manchas roxas ou marrons em profusão a aparência da ave fica prejudicada, e os clientes costumam rejeitar o produto.

como nos tutoriais) encontram-se dois botões que materializam a decisão do usuário. Há informações sobre como o usuário deve proceder.

Pressionando “Voltar ao menu de problemas” o usuário desiste da resolução, e retorna ao menu de problemas, podendo escolher outro problema de seu interesse. Ao pressionar “Iniciar apresentação” o usuário será levado a uma tela que contém o índice do problema. Esta tela é apresentada na Figura 14 a seguir.

Figura 14 - Tela com o Índice do Problema 11

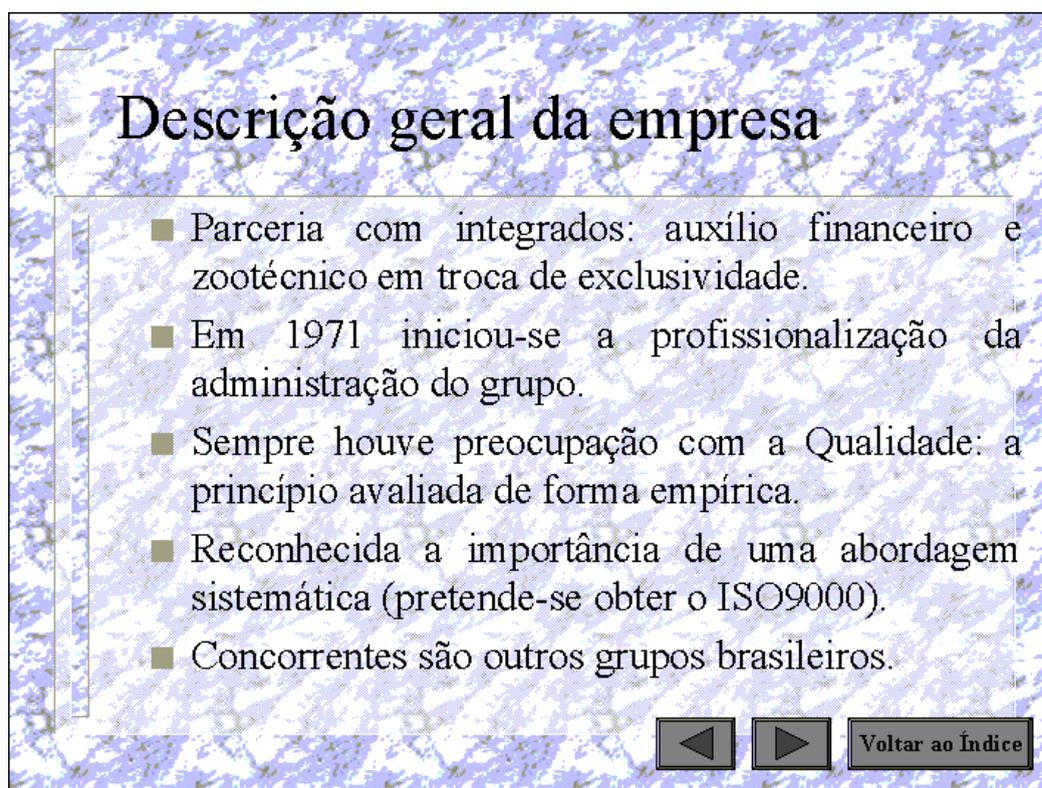


Por meio do índice descrito na Figura 14 um usuário pode ter uma idéia da abrangência do conteúdo da apresentação do problema (importante para os aprendizes ditos globais). Os quatro tópicos da apresentação do problema têm conjuntos de slides, e são hiperlinks que levam diretamente ao primeiro daqueles slides. Assim, um usuário interessado especificamente em “Uma descrição do fluxo produtivo”, poderia ir diretamente para este

assunto. Há, porém, a opção de uma apresentação em seqüência (importante para os aprendizes ditos seqüenciais), que iniciará pelo primeiro tópico, “Descrição geral da empresa”. O índice poderá ser especialmente útil quando o usuário estiver resolvendo o problema (respondendo as questões) e precisar rever algum tópico.

Um slide típico onde é feita a descrição geral da empresa pode ser vista na Figura 15.

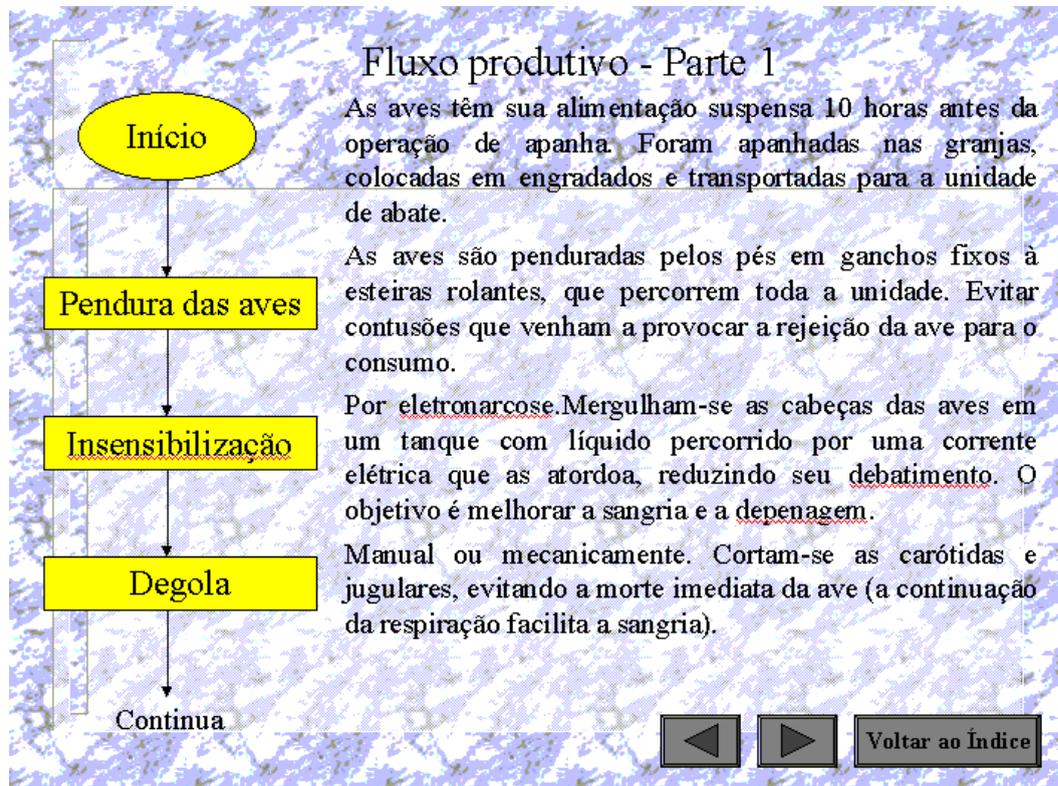
Figura 15 - Slide de descrição da empresa em um problema



O slide da Figura 15 apresenta as características gerais da organização, o que afetará a prática da Qualidade de alguma forma: se há preocupação formal com a Qualidade, se alguma técnica já é aplicada, entre outras informações importantes. Os botões situados no canto inferior direito permitem retornar ao slide imediatamente anterior ou passar para o próximo, ou mesmo voltar ao índice (exatamente na mesma posição em que estão os botões nos slides dos tutoriais, para que haja uniformidade na interface, ver Figura 12).

Um dos aspectos mais importantes para a resolução do problema é a compreensão do processo produtivo, cujas etapas precisam ser apresentadas ao usuário, tal como na Figura 16.

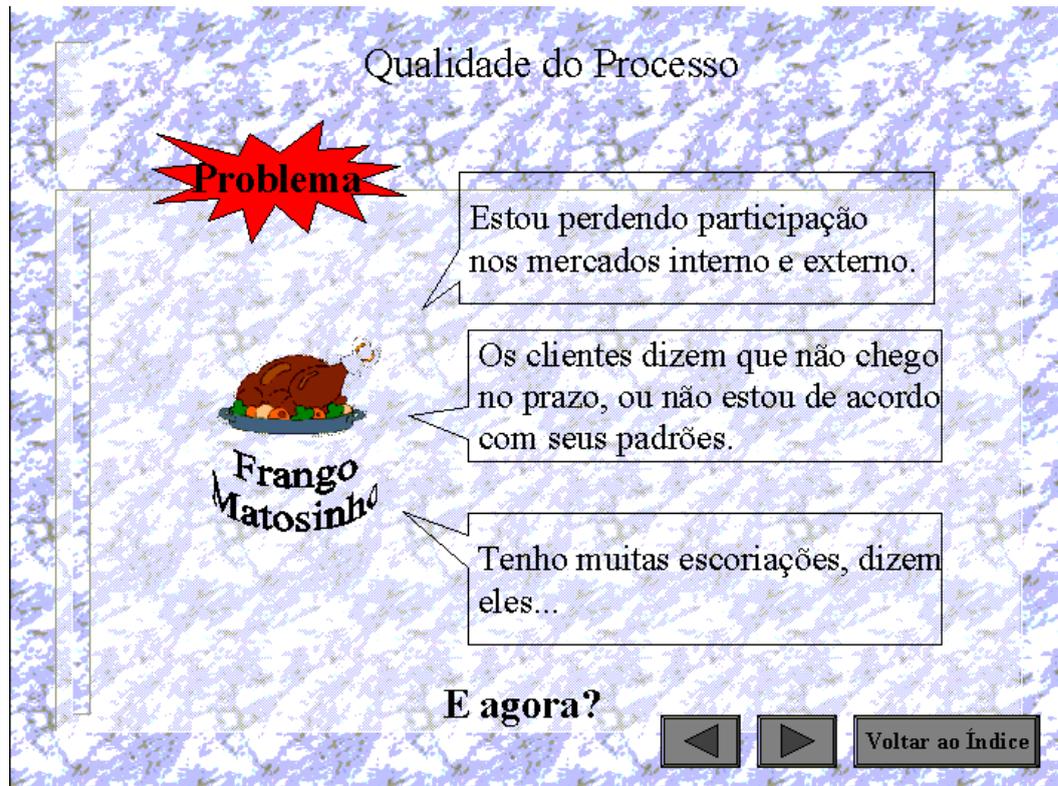
Figura 16 - Slide de descrição de um fluxo produtivo



As etapas do processo produtivo são apresentadas por meio de diagramas e declarações verbais, procurando atingir os diferentes tipos de aprendizes. Uma figura representando o fluxo produtivo completo, visível em um único slide também é apresentada, para que os aprendizes globais possam ter uma idéia geral do processo, e seja possível identificar em quais etapas a avaliação da Qualidade será feita.

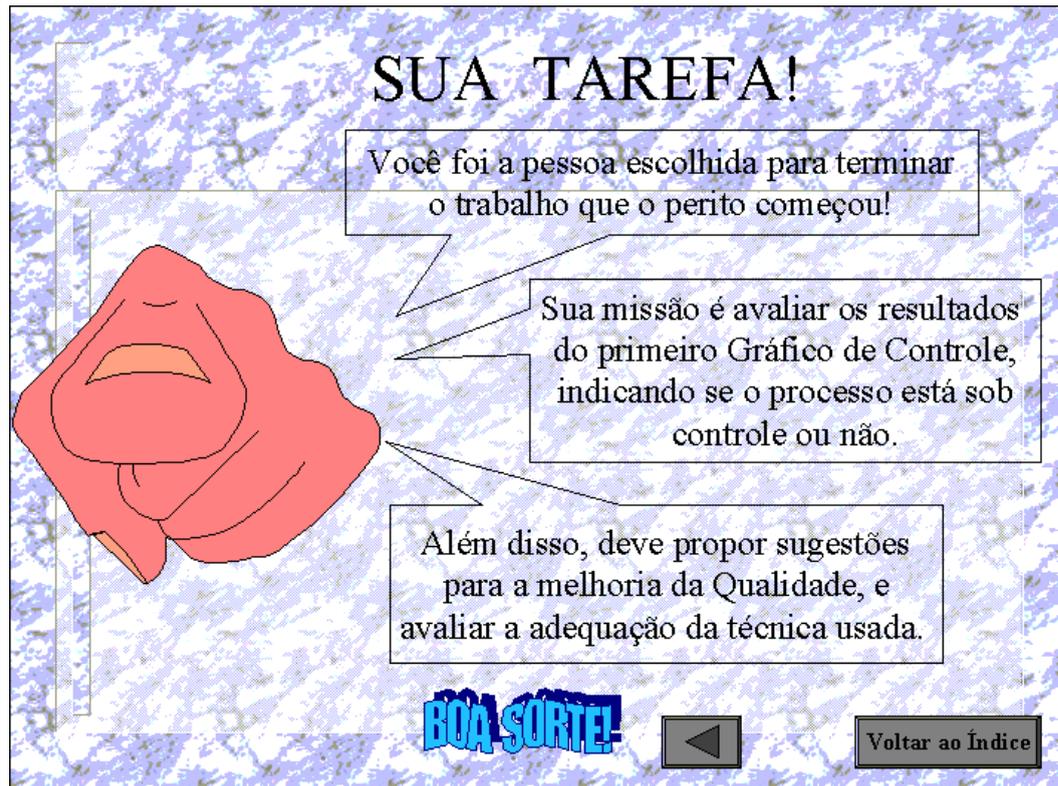
Se o usuário optou pela apresentação seqüencial do problema, após a descrição da empresa e do fluxo produtivo, pode estar começando a se entediar. Para tentar evitar isso a apresentação dos tópicos subseqüentes (o problema da Qualidade e a tarefa do usuário) são feitos de forma mais dinâmica, utilizando mais animações, uma estrutura semelhante à história em quadrinhos, e elementos lúdicos. Isso pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Slide com a apresentação do problema da Qualidade



Na Figura 17, um tanto jocosamente, o frango “explica” o problema que está afetando a sua Qualidade. A partir deste ponto começa-se a analisar com maior detalhe quais Característicos da Qualidade estão sendo avaliados, que técnicas estão sendo usadas, e a melhoria que se pretende obter.

A última parte da apresentação do problema, que pode incluir apenas um slide em muitos casos, é a tarefa que se espera que o usuário cumpra. No atual estágio do STCEQ, a tarefa consiste basicamente em interpretar os resultados gerados por alguma das técnicas de CEP e Estudos de Capabilidade de Processos. A Figura 18 apresenta o slide com a descrição da tarefa do usuário.

Figura 18 - Slide com a descrição da tarefa do usuário

A próxima seção (4.4.5) detalhará as questões que serão apresentadas para o usuário durante a resolução do problema.

4.4.5 – Questões dos Problemas

Conforme foi declarado anteriormente a resolução do problema consiste em responder questões acerca dos resultados gerados pelo STCEQ, incluindo análise da estabilidade do processo e de sua Capacidade, o que fazer em função dos resultados, e ainda se a técnica empregada para gerar os resultados é adequada. As questões serão objetivas, apresentando opções para o usuário marcar. Escolheu-se tal implementação por possibilitar um processamento mais simples das respostas, e por conseguinte uma interpretação mais rápida por parte dos módulos Especialista e Tutor. Nas próximas versões do STCEQ pretende-se acrescentar um mecanismo que permita ao usuário expressar sua opinião sobre o diagnóstico, opinião que seria depois utilizada para refinar o sistema.

O número de questões irá obviamente variar dependendo do tipo de problema (apenas Gráficos de Controle, apenas Estudos de Capabilidade, ou Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade), mas há alguns aspectos em comum. Há questões que admitem apenas uma resposta, e há outras que permitem que o usuário marque diversas opções. Resolveu-se adotar este enfoque pelas razões a seguir:

- as questões com apenas uma resposta possível perguntam ao usuário se o processo está sob controle estatístico, se o processo é capaz, ou se a técnica é adequada. Em uma situação prática os usuários serão inquiridos pelos seus superiores na organização a dar uma resposta direta para auxiliar em uma tomada de decisão, assim decidiu-se simular tal situação nos problemas do STCEQ.
- as questões com possibilidade de múltiplas opções estão relacionadas com as de resposta única, e procuram aferir o conhecimento do usuário, observando a coerência entre as respostas nos dois tipos de questão (por exemplo, há alguma coisa errada quando o usuário declara que o processo está sob controle estatístico, na questão que admite apenas uma resposta, e indica que há outliers no Gráfico de Controle, na questão que admite múltiplas opções).

Os problemas de apenas Gráficos de Controle apresentam cinco questões: duas com apenas uma resposta possível e três com múltiplas opções. Nos problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos há nove questões: três com apenas uma resposta possível e seis com múltiplas opções. E os problemas de Gráficos de Controle seguidos por Estudos de Capabilidade de Processos apresentam dez questões: quatro com apenas uma resposta possível e seis com múltiplas opções.

As questões dos problemas de apenas Gráficos de Controle estão no Quadro 37.

Quadro 37 - Questões dos problemas de apenas Gráficos de Controle

Questão	Respostas possíveis	Opções
1) O processo está sob controle estatístico?	Apenas uma opção.	- SIM, NÃO (para Gráficos simples ³³). - Apenas no Gráfico de Tendência Central. - Apenas no Gráfico de Variabilidade. - Em ambos. - Em nenhum. - Gráfico de Tendência Central não avaliado porque Variabilidade fora de controle. - Gráfico de Variabilidade não avaliado porque Tendência Central fora de controle. (para Gráficos duplos ³⁴)
2) Quais os motivos para a sua decisão na questão anterior?	Múltiplas opções ³⁵ . Quando há dois gráficos as opções são mostradas para ambos.	Não há outliers no Gráfico. Há outliers no Gráfico. Não há 7 pontos consecutivos em um dos lados do Gráfico. Há 7 pontos consecutivos em um dos lados do Gráfico. Os pontos parecem seguir uma normal no Gráfico. Os pontos não parecem seguir uma normal no Gráfico. Não há 7 pontos crescentes ou decrescentes no Gráfico. Há 7 pontos crescentes ou decrescentes no Gráfico. Não há estratificação no Gráfico. Há estratificação no Gráfico. Não há mistura no Gráfico. Há mistura no Gráfico. Não há mudança brusca de nível no Gráfico.
3) O que você recomenda que seja feito agora?	Múltiplas opções (em função das respostas das questões anteriores)	Fazer um estudo de capacidade do processo. Utilizar uma ferramenta de oportunidade para identificar as causas assinaláveis. Não remover os pontos dos gráficos. Remover os pontos fora de controle. Manter os limites como referência para os próximos gráficos. Calcular novos limites de controle.
4) Você concorda com a técnica utilizada?	Apenas uma opção.	SIM. NÃO.
5) Quais os motivos para a sua decisão na questão anterior?	Múltiplas opções	Tipo de avaliação escolhida não é apropriada. Tipo de avaliação escolhida é apropriada. Há interesse em detectar pequenos desvios no processo. Há interesse em detectar grandes desvios no processo. O uso de medidas individuais é mais apropriado. O uso de amostras é mais apropriado. Uma amostra grande é mais apropriada. Uma amostra pequena é mais apropriada. As estatísticas plotadas não são as mais apropriadas. As estatísticas plotadas são as mais apropriadas.

³³ Gráficos p, np, c, u, CUSUM e EWMA para \bar{X} , CUSUM e EWMA para medidas individuais, CUSUM para p, CUSUM para c.

³⁴ Gráficos \bar{X} e R, \bar{X} e s, medidas individuais e intervalos móveis.

³⁵ No caso de Gráficos duplos são apresentadas opções para ambos. Maiores detalhes no módulo Especialista, seção 4.6.

A Questão 1 do Quadro 37 pede que o usuário simplesmente declare se o processo está sob controle estatístico ou não, se apenas um Gráfico estiver sendo usado, ou, se dois Gráficos estiverem sendo usados em qual ou quais Gráficos o processo está sob ou fora de controle.

Na Questão 2 o usuário apresenta os motivos para a sua decisão na Questão 1. As opções são vários tipos de padrões não aleatórios que podem ser identificados em Gráficos de Controle: se há ou não tais padrões no(s) Gráfico(s) sob análise (outliers, estratificação, mudança brusca de nível, entre outros). A existência dos padrões *pode* significar que há causas especiais, ou assinaláveis, atuando sob o processo, deixando-o fora de controle estatístico, portanto, instável, tornando impossível prever o comportamento do Característico monitorado. Esta pergunta (2) tem a sua avaliação feita em conjunto com a Questão 1. O usuário não poderá prosseguir caso não responda satisfatoriamente a ambas as questões. Maiores detalhes na seção 4.7, que descreve o módulo Tutor.

A Questão 3 do Quadro 37 pede que o usuário recomende o que deve ser feito em seguida, ou seja após a constatação de que o processo está sob ou fora de controle estatístico.

As Questões 4 e 5 do Quadro 37 são análogas às Questões 1 e 2. Em 4 e 5, porém, o usuário precisa dizer se concorda com a técnica utilizada, e as razões para isso³⁶. Na atual versão do STCEQ o usuário deve declarar se a avaliação é apropriada, se há maior interesse em grandes ou pequenos desvios do Característico, se utilizar medidas individuais ou amostras, entre outras. As informações para responder estas duas questões são disponibilizadas durante a apresentação do problema, e o usuário pode sempre consultar novamente a apresentação. A avaliação das Questões 4 e 5 também é feita de forma conjunta.

³⁶ Trata-se de uma prévia do próximo nível de profundidade do STCEQ, que será implementado em versões posteriores, em que a técnica é escolhida e delineada pelo usuário.

O Quadro 38 contém as questões dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade.

Quadro 38 - Questões dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos

Questão	Respostas possíveis	Opções
1) Pelo histograma o processo pode ser considerado capaz?	Apenas uma opção.	SIM. NÃO. NADA SE PODE AFIRMAR.
2) Quais os motivos para a sua decisão na questão anterior?	Múltiplas opções	<p>Processo está sob controle estatístico.</p> <p>Processo está fora de controle estatístico.</p> <p>Distribuição do Característico é aproximadamente normal.</p> <p>Distribuição do Característico não pode ser considerada normal.</p> <p>Possível generalizar a capacidade porque a distribuição do Característico é normal.</p> <p>Impossível generalizar a capacidade porque a distribuição do Característico não é normal.</p> <p>Quantidade suficiente de dados.</p> <p>Quantidade insuficiente de dados.</p> <p>Processo está dentro das especificações.</p> <p>Processo está fora das especificações.</p> <p>Não há especificações para avaliar a Capabilidade.</p> <p>Não há sentido em calcular Índices de Capabilidade porque a distribuição não é normal.</p> <p>Processo está centrado em torno do valor nominal.</p> <p>Processo não está centrado em torno do valor nominal.</p> <p>Índices de Capabilidade Cp e Cpk semelhantes.</p> <p>Índices de Capabilidade Cp e Cpk diferentes.</p> <p>Índices de Capabilidade iguais ou acima do especificado.</p> <p>Índices de Capabilidade abaixo do especificado.</p> <p>Valor obtido igual ou abaixo do especificado.</p> <p>Valor obtido acima do especificado.</p> <p>Não há valor mínimo para os Índices de Capabilidade.</p>
3) O que você recomenda que seja feito em seguida?	Múltiplas opções	<p>Cálculo dos Índices de Capabilidade Cp e Cpk.</p> <p>Transformação dos dados para obter uma distribuição normal.</p> <p>Construção de um histograma dos dados.</p> <p>Utilizar uma ferramenta de oportunidade para identificar porque o processo não é capaz.</p> <p>Nada fazer até que o processo esteja sob controle.</p> <p>Nada fazer até que o processo esteja fora de controle.</p> <p>Realização de um Estudo de Capabilidade do Sistema de Medição.</p> <p>Obter um novo dispositivo de medição.</p> <p>Manter o mesmo dispositivo de medição.</p> <p>Treinamento extra aos operadores.</p> <p>Manter o treinamento atual dos operadores.</p> <p>Buscar especificações para o Característico.</p> <p>Obter um número suficiente de dados.</p> <p>Buscar as razões por que o processo não está centrado.</p> <p>Manter o processo como está enquanto a Capabilidade for adequada.</p> <p>Buscar valor mínimo para os Índices de Capabilidade.</p>

As três questões do Quadro 38 são referentes a um Estudo de Capabilidade por Histogramas.

Na Questão 1 do Quadro 38 o usuário precisa simplesmente diagnosticar se o processo pode ser considerado capaz: capaz, não é capaz, ou nada se pode afirmar sobre a capacidade do processo. Tal como nos problemas de apenas Gráficos de Controle, a Questão 2 pede que o usuário apresente os motivos para a resposta na Questão 1: o processo é capaz porque está dentro das especificações, ou o processo não é capaz porque está fora das especificações, ou nada se pode afirmar sobre a capacidade do processo porque não está sob controle estatístico, por exemplo. Algumas opções aplicam-se apenas a um determinado tipo de estudo, e cabe ao usuário decidir sua adequação ao tipo em questão. As informações necessárias para que o usuário responda as questões vêm dos resultados gerados pelo STCEQ e da apresentação do problema. A avaliação das Questões 1 e 2 também é feita de forma conjunta.

A Questão 3 refere-se ao que o usuário recomenda que seja feito, em função dos resultados e das respostas nas duas questões anteriores: buscar especificações, nada fazer até que o processo esteja sob controle estatístico (não se pode avaliar a Capabilidade se o processo não é estável, primeiramente é preciso resolver este problema), entre outras.

As três questões do Quadro 38 são repetidas para os outros dois tipos de Estudos de Capabilidade abordados pelo STCEQ nos problemas de apenas Estudos de Capabilidade³⁷, por Índices e do Sistema de Medição. Obviamente o usuário precisa modificar as opções das Questões 2 e 3 de acordo com o tipo de estudo. Estas serão as Questões 4, 5, 6, 7, 8 e 9, sendo a avaliação feita de forma semelhante às das Questões 1, 2 e 3.

³⁷ Onde a avaliação é feita por Variáveis.

Os problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos têm as oito primeiras questões bastante similares às dos Quadros 37 e 38. As cinco primeiras questões são virtualmente idênticas, pois um processo será analisado por meio de um ou dois Gráficos de Controle. As três questões seguintes são as mesmas do Quadro 38, mas as respostas deverão ser dadas em função do tipo de Estudo de Capabilidade adotado no problema: por Histograma, por Índices, do Sistema de Medição ou por Atributos (ver seção 2.3.2). Naturalmente as respostas serão influenciadas pelo fato de o processo estar sob ou fora de controle, o que será identificado pelo(s) Gráfico(s) de Controle. A avaliação das questões é feita de forma semelhante a dos outros tipos de problemas. As Questões (9 e 10), que existem apenas nos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade, são apresentadas no Quadro 39.

Quadro 39- Questões exclusivas dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos

Questão	Respostas possíveis	Opções
9) Você concorda com o Estudo de Capabilidade realizado?	Apenas uma opção.	SIM. NÃO.
10) Quais os motivos para a sua decisão na questão anterior?	Múltiplas opções	Número suficiente de dados. Número insuficiente de dados. Processo parece seguir a distribuição normal. Processo não parece seguir a distribuição normal. Não há preocupação com o Sistema de Medição. Há preocupação com o Sistema de Medição. Não há especificações para realizar este tipo de estudo. Há especificações para realizar este tipo de estudo. Este tipo de estudo não exige a existência de especificações. Há interesse em calcular Índices de Capabilidade. Não há interesse em calcular Índices de Capabilidade. Há interesse em conhecer a distribuição do característico. Não há interesse em conhecer a distribuição do característico. Há interesse apenas em verificar se a média do atributo é aceitável.

As questões do Quadro 39 têm o mesmo objetivo das Questões 4 e 5 do Quadro 37: fazer com que o usuário emita uma opinião sobre a adequação ou não da técnica aplicada no problema. A diferença reside no fato de que no Quadro 37 tratava-se de Gráficos de Controle e no Quadro 39 são Estudos de Capabilidade de Processos. As questões também serão avaliadas de forma conjunta.

As questões propostas permitem cobrir praticamente todos os aspectos relativos à interpretação de resultados de Gráficos de Controle e Estudos de Capabilidade de Processos. É possível avaliar se o usuário está analisando corretamente os resultados de Gráficos de Controle e Estudos de Capabilidade de Processos:

- para Gráficos de Controle, pela verificação da seqüência da interpretação dos Gráficos de Controle, ou pelas regras aplicadas a eles (observando se podem ser aplicadas ou não naquele tipo de Gráfico), ou pela compreensão das conseqüências de considerar o processo sob ou fora de controle estatístico (pelas recomendações feitas).
- para Estudos de Capabilidade, pela escolha de opções apropriadas para o tipo de estudo realizado, ou pela correta identificação dos motivos que levaram a emitir uma opinião sobre a Capabilidade do processo, ou pela compreensão das conseqüências desta opinião (pelas recomendações feitas).

Além de todos os aspectos mencionados acima, as questões abordam tópicos relativos à escolha da técnica, por meio das Questões 4 e 5 do Quadro 37, e 9 e 10 do Quadro 39. Desta forma procura-se fazer com que o usuário, a partir das condições do problema, tenha um comportamento crítico sobre a técnica utilizada. Isso poderá ser-lhe útil em uma situação prática em que tiver que escolher e delinear uma técnica, ou mesmo nas futuras versões do STCEQ que incorporarão problemas de delineamento de técnicas de CEQ.

A próxima seção (4.5) irá apresentar o módulo Simulador, responsável pela geração dos resultados que serão apresentados ao usuário, e ao módulo Especialista.

4.5 – Módulo Simulador

Na atual versão do STCEQ a função do módulo Simulador é gerar os resultados que serão apresentados ao usuário, quando da resolução dos problemas (nas próximas versões também irá gerar resultados para os tutoriais). Os resultados serão gerados a partir das informações contidas na instância do problema escolhido pelo usuário. Seguindo a abordagem de outros sistemas utilizados para ensino de CEQ (Llaugel e Confesor, 1992), decidiu-se que os resultados seriam produzidos por meio de um gerador de números pseudo-aleatórios, pelos seguintes motivos (além da impossibilidade de obtenção de dados reais de empresas):

- cada usuário que resolver o *mesmo* problema terá o seu próprio conjunto de resultados, sendo forçado a realmente analisá-lo para responder as questões. Por exemplo, mesmo que esteja prevista a ocorrência de um desvio nos resultados, a flutuação aleatória pode fazer com que isso não ocorra, ou vice-versa.
- se o mesmo usuário vier a resolver o mesmo problema mais de uma vez (se houver desistido em uma ou mais das tentativas anteriores), terá resultados diferentes para analisar, forçando-o a realmente interpretar tais resultados.

Como os resultados são aleatórios, os usuários são obrigados a realmente interpretá-los, seja individualmente ou em grupo, o que se espera que contribua para a sua aprendizagem. A aleatoriedade dos resultados também contribui para familiarizar os usuários com as situações reais de emprego do CEQ, onde as flutuações existem e os dados nem sempre comportam-se da maneira “ordenada” descrita em alguns livros e manuais.

Passa-se agora a descrever os geradores de números aleatórios do módulo Simulador.

4.5.1 – Geradores de Números Aleatórios do Módulo Simulador

Na seção 4.4 foram explicitados os diversos tipos de problemas previstos para a atual versão do STCEQ, bem como as técnicas que embora não materializadas em nenhum problema, fazem parte do sistema também. Além disso foram discriminadas as técnicas que não fazem parte da atual versão do STCEQ.

Para produzir os resultados das técnicas previstas na seção 4.4 é preciso simular a geração de dados para aquelas técnicas tal como ocorreria em uma situação real. Algumas técnicas pressupõem que os dados sigam alguma distribuição de probabilidades: por exemplo, o Gráfico de Controle p pressupõe que o número de itens defeituosos segue uma distribuição binomial. Assim, dependendo do tipo de técnica, os dados deveriam ser gerados a partir de diferentes distribuições de probabilidade. A geração aleatória deveria levar em conta também a possibilidade de incluir desvios, de acordo com as informações contidas na instância do problema escolhido pelo usuário. Como muitas técnicas exigem a formação de subgrupos racionais para obter as estatísticas que serão plotadas, era preciso simular essa condição também, possibilitando a geração tanto de medidas individuais quanto de amostras. A aleatoriedade dos resultados gerados garantiria que a suposição IID seria satisfeita, condição indispensável para a validade das técnicas existentes na atual versão do STCEQ.

O primeiro passo para construir o módulo Simulador foi implementar algoritmos confiáveis para geração de números aleatórios a partir de diversas distribuições de probabilidade.

O módulo Simulador precisaria gerar números aleatórios³⁸, ou pseudo-aleatórios, das principais distribuições de probabilidades com aplicação em Controle Estatístico da Qualidade: uniforme, normal, Bernoulli, Binomial e Poisson. Além disso deveria ser capaz de modificar os parâmetros das distribuições de acordo com as exigências dos diferentes exemplos e problemas.

A atual versão do STCEQ foi desenvolvido na “shell” Kappa-PC 2.4®, que tem um gerador de números pseudo-aleatórios. São gerados números inteiros entre 1 e 32767, o maior inteiro admitido pelo programa. Os números gerados para algumas distribuições precisam ser reais, portanto o gerador do Kappa-PC®, no seu formato original era inadequado. Não obstante, era mais conveniente modificar o gerador, e utilizar algoritmos apropriados (em forma de função ou método) do que utilizar um programa externo, executado por DDE³⁹. Todos os algoritmos estão no Anexo E.

4.5.1.1 – Distribuição Uniforme

A maioria das ferramentas de programação possui um gerador de números pseudo-aleatórios próprio, que fornece valores reais uniformemente distribuídos entre 0 e 1 (distribuição uniforme). Os vários algoritmos existentes para geração de números das outras distribuições usam tais valores entre 0 e 1 como ponto de partida. Decidiu-se então, primeiramente modificar o gerador existente no Kappa-PC®, para obter números reais entre 0 e 1: fez-se o programa gerar números pseudo-aleatórios entre 1 e 32767, subtraiu-se 1 do número gerado (para obter o valor zero), e dividiu-se o resultado por 32766 (o novo valor máximo), obtendo então valores reais com várias casas decimais. Tais números teriam uma probabilidade bastante pequena de vir a repetir-se.

³⁸ A rigor nenhum programa computacional é capaz de gerar números verdadeiramente aleatórios, pois há sempre uma semente geradora, e um algoritmo que faz com que os números venham a se repetir em um ciclo maior (o desejável) ou menor. Os números são então chamados de pseudo-aleatórios, e o problema consiste em desenvolver um algoritmo que maximize o ciclo de repetição.

³⁹ Dynamic Data Exchange – Troca dinâmica de dados.

Para verificar a aleatoriedade e aderência dos números à distribuição uniforme foram geradas vinte séries de 500 números cada. Cada série foi testada no pacote estatístico SPSS 10.0®, sendo submetida aos seguintes testes: teste de aleatoriedade e teste de Kolmogorov-Smirnov de 1 amostra (Siegel,1975)(Campos, 1983). Além disso foram plotados os histogramas de cada série, para que fosse possível uma inspeção visual da distribuição dos números.

Os resultados (no Anexo E) provaram que os números gerados não apresentavam indícios de falta de aleatoriedade em torno da média (0,5, entre 0 e 1), e tampouco falta de aderência a uma distribuição uniforme. Os histogramas também são bastante semelhantes aos de uma distribuição uniforme, com algumas flutuações, o que já era esperado. Sendo assim, concluiu-se que o gerador de números pseudo-aleatórios do Kappa-PC®, devidamente modificado para gerar números de uma distribuição uniforme entre 0 e 1, apresenta um desempenho adequado, podendo ser usado como base para geradores de outras distribuições.

4.5.1.2 – Outras distribuições

Havia a necessidade de gerar números pseudo-aleatórios das seguintes distribuições: normal (usada extensivamente em Inferência Estatística e Controle Estatístico de Processos), Poisson (que modela processos raros, e usada em certos Gráficos de Controle), e binomial (também usada em certos Gráficos de Controle). Há uma infinidade de referências contendo algoritmos a aplicar sobre os números gerados por uma distribuição uniforme entre 0 e 1. Dachs (1988), apresenta uma série de algoritmos extremamente interessantes, que foram implementados no Kappa-PC®, modificando o algoritmo original de geração de números de uma distribuição uniforme entre 0 e 1.

Da mesma forma que no caso uniforme foram geradas 20 séries de 500 números de

cada distribuição, e foram aplicados os mesmos testes (resultados no Anexo E). Cumpre notar que a versão do SPSS 10.0® não possuía testes de Kolmogorov-Smirnov de 1 amostra (aderência) para a distribuição binomial, sendo os testes realizados no pacote Statistica 5.0®.

Foram adotados os seguintes parâmetros para cada distribuição:

- Binomial, com 10 ensaios com probabilidade de sucesso 0,3 (30%);
- Poisson, com taxa igual a 4;
- Normal com média igual a 0 e variância igual a 1;

Novamente os resultados não indicaram evidência de falta de aleatoriedade, ou de aderência às respectivas distribuições, bem como a inspeção visual dos gráficos também revela a aparência esperada. Sendo assim, concluiu-se que os geradores de números aleatórios (ou mais apropriadamente chamados pseudo-aleatórios), de todas as distribuições citadas, têm um comportamento adequado, podendo ser usados para gerar os resultados dos exemplos e problemas do STCEQ. As amostras ou grupos de amostras das várias distribuições de probabilidades citadas, com ou sem a inclusão de desvios, serão utilizadas nos Gráficos de Controle ou Estudos de Capabilidade de Processos.

4.5.2 – Técnicas de CEQ previstas para o Módulo Simulador

A partir dos números pseudo-aleatórios são gerados os resultados que serão plotados nos Gráficos de Controle e histogramas, e usados para calcular os Índices de Capabilidade e Variabilidade do sistema de medição.

As técnicas existentes na atual versão do STCEQ são apresentadas no Quadro 40, indicando a distribuição de probabilidades dos dados gerados para a técnica, e a fonte do algoritmo implementado.

Quadro 40 - Técnicas existentes no Módulo Simulador

Tipo	Avaliação	Técnica	Distribuição	Fonte
Gráfico de Controle	Por Variáveis	Médias e intervalos (\bar{x} e R)	Normal	(Montgomery, 1997)
Gráfico de Controle	Por Variáveis	Médias e desvios padrões (\bar{x} e s)	Normal	(Montgomery, 1997)
Gráfico de Controle	Por Variáveis	Medidas individuais e intervalos móveis (X e MR)	Normal	(Montgomery, 1997)
Gráfico de Controle	Por Atributos	Fração de defeituosos (p)	Binomial	(Montgomery, 1997)
Gráfico de Controle	Por Atributos	Número de defeituosos (np)*	Binomial	(Montgomery, 1997)
Gráfico de Controle	Por Atributos	Número de defeitos (c)	Poisson	(Montgomery, 1997)
Gráfico de Controle	Por Atributos	Número de defeitos por unidade (u)*	Poisson	(Montgomery, 1997)
Gráfico de Controle	Por Variáveis	CUSUM para medidas individuais	Normal	(Montgomery, 1997)
Gráfico de Controle	Por Variáveis	CUSUM para médias	Normal	(Montgomery, 1997)
Gráficos de Controle	Por Variáveis	EWMA para medidas individuais	Normal	(Montgomery, 1997)
Gráficos de Controle	Por Variáveis	EWMA para médias*	Normal	(Montgomery, 1997)
Gráficos de Controle	Por Atributos	CUSUM para p*	Binomial	(Reynolds Jr. e Stoumbos, 2000)
Gráficos de Controle	Por Atributos	CUSUM para c	Poisson	(Lucas, 1985)
Estudo de Capabilidade	Por Variáveis e por Atributos	Histogramas e Índices Cp	Normal Binomial Poisson	(Montgomery, 1997)
Estudo de Capabilidade	Por Variáveis	Índices Cpk	Normal	(Montgomery, 1997)
Estudo de Capabilidade	Por Variáveis	Repetibilidade e Reprodutibilidade (Sistema de medição)	Normal	(Montgomery, 1997)

*Não há problemas envolvendo estas técnicas na atual versão do STCEQ.

É importante esclarecer alguns pontos:

- os Gráficos de Controle de soma cumulativa (CUSUM) são implementados usando a metodologia tabular (Montgomery, 1997), e de forma bilateral (com as estatísticas C+ e C-, sendo que estas últimas têm o sinal mudado para negativo para facilitar a comparação).
- os limites de controle utilizados nos Gráficos EWMA são os chamados limites exatos, que

variam em função da ordem da estatística no Gráfico, recomendação feita por Montgomery (1997).

- quando a avaliação é por Atributos admite-se a realização de Estudos de Capabilidade por Histogramas (plotando os valores de p ou c), e considerando apenas o limite de especificação superior. É possível também calcular o índice C_p para tal situação, da mesma forma que seria feito para avaliação por Variáveis quando há apenas uma especificação (Montgomery, 1997, p.440).

- estabeleceu-se em 10% (0,1) o valor máximo para a razão entre a variabilidade devida ao sistema de medição (repetibilidade e reprodutibilidade) e a variabilidade total, em um Estudo de Capabilidade de sistema de medição (Montgomery,1997) (Jordan,1999).

4.5.3 – Forma de apresentação dos resultados na Interface

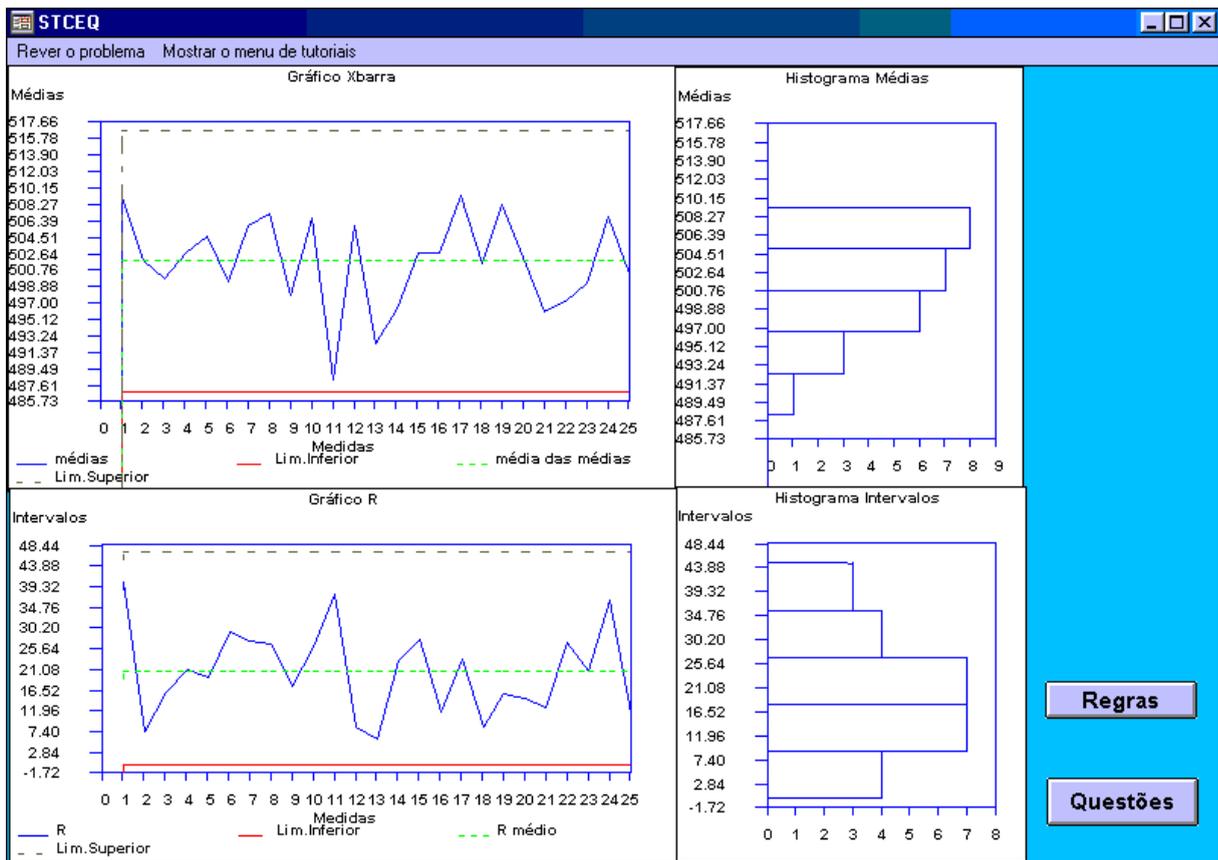
Os resultados gerados pelo Módulo Simulador são apresentados ao usuário pelo Módulo Interface, em telas que contêm os Gráficos de Controle ou os resultados dos Estudos de Capabilidade.

Os Gráficos de Controle são apresentados no seu formato usual (ver seção 2.2.1.1), havendo um histograma das estatísticas plotadas associado a cada Gráfico. Nos Gráficos CUSUM e EWMA o histograma apresenta as estatísticas originais, ao invés das plotadas no Gráfico. A função do histograma é auxiliar o usuário na avaliação da normalidade dos resultados, para verificar se é possível calcular Índices de Capabilidade, por exemplo. A existência do histograma, e a identificação de inexistência de normalidade pode levar o usuário a erroneamente considerar o processo fora de controle estatístico. Se isso ocorrer o módulo Tutor irá atuar, lembrando o usuário de que o pequeno número de medidas existentes em um Gráfico de Controle típico (entre vinte e cinco e trinta) pode não ser suficiente para configurar uma normal. Se mais nenhum padrão não aleatório for identificado a inexistência

da normalidade não será suficiente para considerar o processo fora de controle.

A Figura 19 apresenta os resultados para Gráficos de Controle de Médias e Intervalos (\bar{X} - Xbarra e R).

Figura 19 - Gráficos Xbarra e R no STCEQ



Na Figura 19 é possível observar os limites de controle e linha central em ambos os Gráficos de Controle. À direita estão os histogramas das médias e intervalos, que apresentam a mesma escala dos Gráficos para facilitar a análise. Com base nos padrões dos pontos nos Gráficos o usuário deve responder as questões do problema.

As Figuras 20, 21 e 22 apresentam os resultados para um Gráfico de Controle de fração de defeituosos (p), CUSUM para medidas individuais e EWMA para medidas individuais, respectivamente.

Figura 20 - Gráfico p no STCEQ

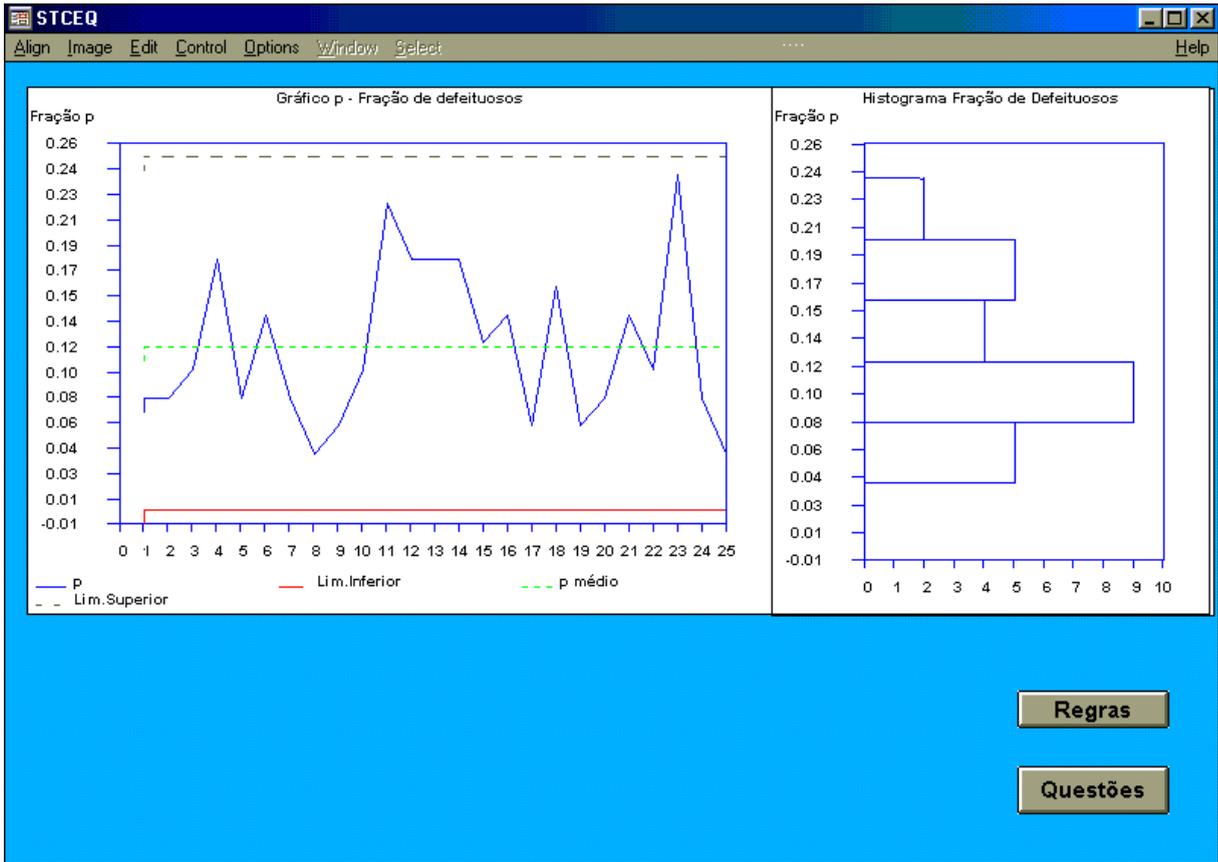


Figura 21 - Gráfico CUSUM para medidas individuais no STCEQ

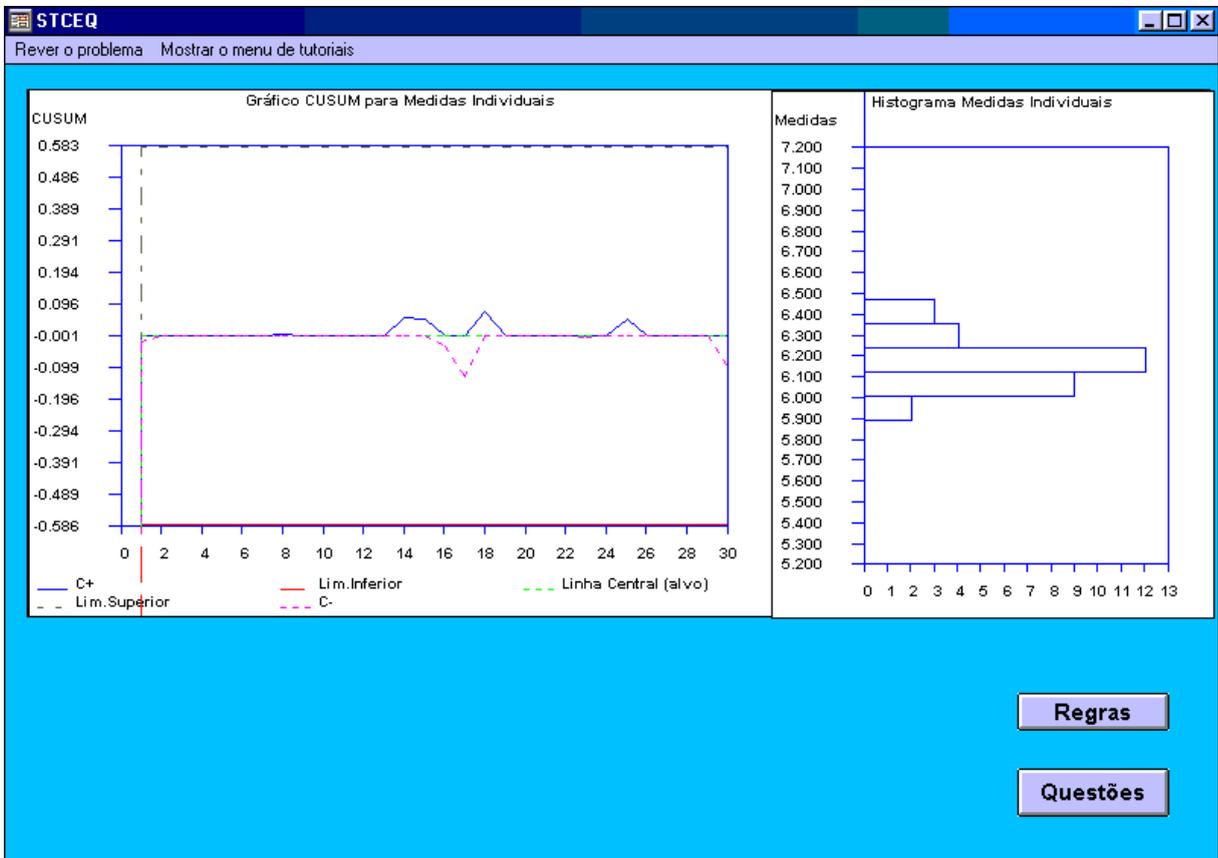
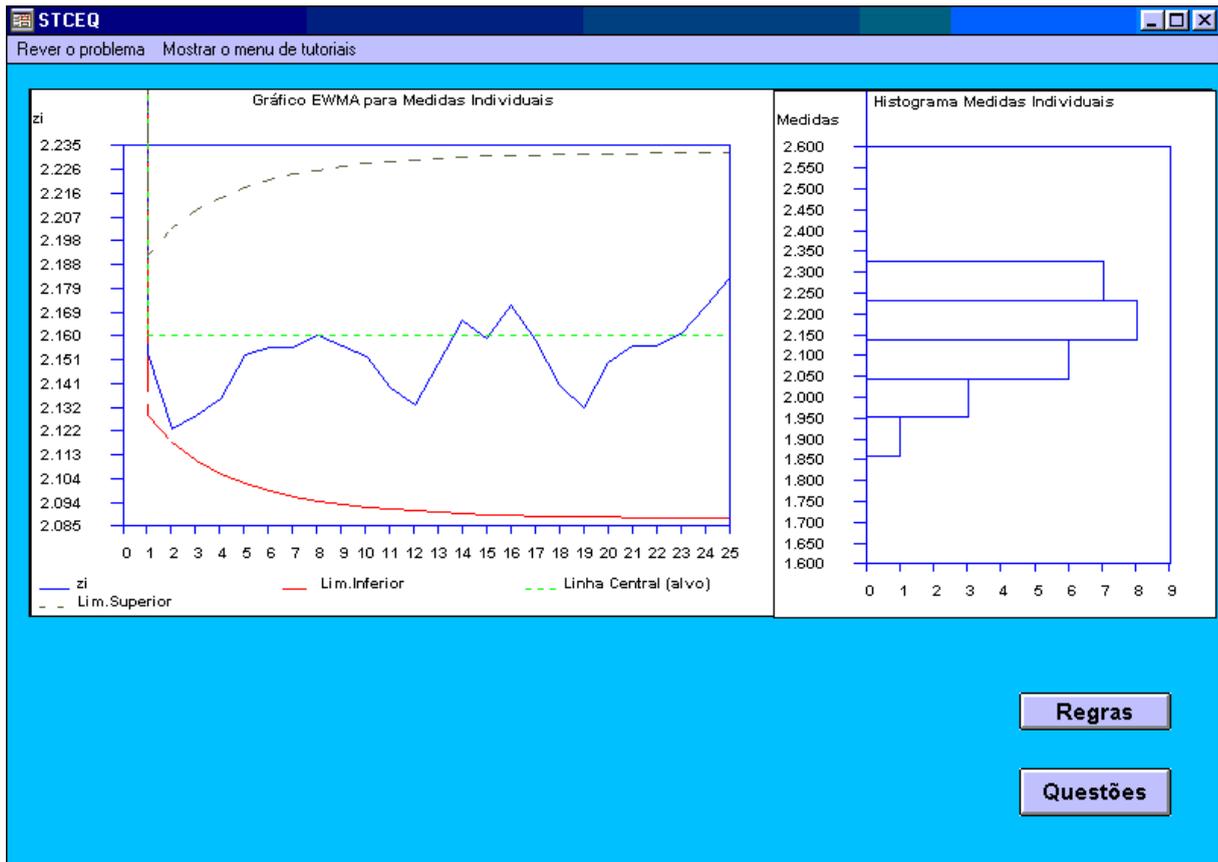


Figura 22 - Gráfico EWMA para medidas individuais no STCEQ

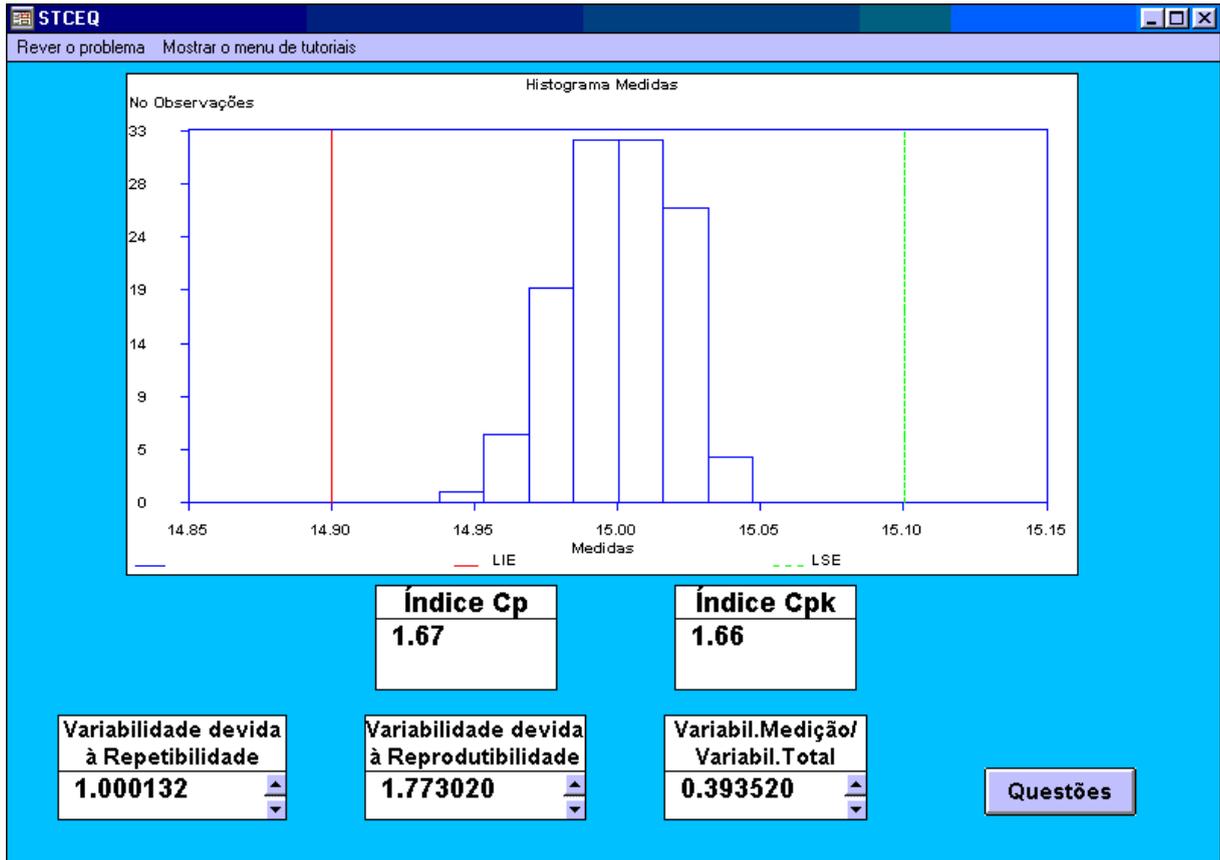


Nos Gráficos CUSUM e EWMA os histogramas não têm a mesma escala dos Gráficos, porque são plotadas as estatísticas originais, ao invés das CUSUM e EWMA dos Gráficos. Observe que no Gráfico CUSUM, Figura 21, os valores da estatística C- têm o seu sinal tornado negativo, para facilitar a sua observação.

Nas Figuras 19 a 22 é possível identificar no canto inferior direito dois botões. O botão “Questões” levará o usuário às questões propriamente ditas do problema. O outro botão, “Regras” permitirá a aplicação das diversas regras heurísticas para a identificação de padrões não aleatórios existentes no STCEQ. Tais regras serão abordadas em profundidade na seção 4.6, que descreverá o módulo Especialista.

Quando se trata de um problema de apenas Estudos de Capabilidade de Processos os resultados apresentados ao usuário são como os da Figura 23.

Figura 23 - Resultados dos Estudos de Capabilidade no STCEQ



Na Figura 23 é possível identificar o histograma dos valores do Característico da Qualidade, com os limites inferior e superior de especificação: permitindo facilmente avaliar se o processo está dentro das especificações, e observar a distribuição do Característico. Neste caso, o processo está bem dentro das especificações, aparenta ter uma distribuição normal, e parece estar centrado em torno de sua média. Logo abaixo do histograma encontram-se os Índices de Capabilidade Cp e Cpk, que são bastante semelhantes, indicando que o processo está realmente centrado em torno do valor nominal. Seus resultados são válidos devido à normalidade dos dados. Mais abaixo encontram-se as informações sobre o sistema de medição. A primeira janela contém o valor da variabilidade devida à repetibilidade (ao instrumento de medida), a segunda o valor devido à reprodutibilidade (aos operadores que realizaram a medida), e a terceira é a razão entre a variabilidade devida ao sistema de medição e a variabilidade total. No caso da Figura 23 a razão é igual a 0.39, superior portanto a 0.1,

indicando que a variabilidade devida ao sistema de medição é excessiva, o que exige alguma ação corretiva. Pode ser priorizado o treinamento extra aos operadores porque a variabilidade devida à reprodutibilidade (que vale 1.77) é maior do que a de repetibilidade (que vale 1.00).

Quando o problema for de Gráficos de Controle seguido por Estudos de Capabilidade serão primeiramente apresentados os resultados dos Gráficos (como nas Figuras 19, 20, 21 e 22). Os resultados do Estudo de Capabilidade serão apresentados tal como na Figura 23, mas somente os do tipo focado no problema (apenas o histograma, ou apenas os Índices, ou apenas os resultados do sistema de medição, ou apenas a “média” do atributo).

A seguir será descrito o módulo Especialista do STCEQ.

4.6 – Módulo Especialista

A função do módulo Especialista é apresentar as respostas “corretas” às questões do problema escolhido pelo usuário ao módulo Tutor. Este então poderá ter os subsídios para diagnosticar como foi o desempenho do usuário e recomendar tutoriais que devem ser consultados, ou outros problemas. O módulo Especialista responde as questões com base nos resultados gerados pelo módulo Simulador, e nas informações provenientes da instância do problema escolhido pelo usuário.

O módulo Especialista tem classes específicas para cada tipo de problema: apenas Gráficos de Controle, apenas Estudos de Capabilidade de Processos, e Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos. Os especialistas para cada um dos tipos de problema serão descritos nas próximas três seções.

4.6.1 – Especialista para os problemas de apenas Gráficos de Controle

Basicamente o módulo Especialista procura identificar padrões não aleatórios nos Gráficos de Controle, que *poderiam* indicar a presença de causas assinaláveis, significando que o processo está fora de controle estatístico. Se tais padrões não forem encontrados, e não se suspeitar da existência de causas assinaláveis, o processo pode ser considerado sob controle estatístico, portanto estável, e seu comportamento pode ser previsto usando métodos probabilísticos.

4.6.1.1 – Padrões Não Aleatórios em Gráficos de Controle

Há uma infinidade de padrões não aleatórios que podem ser encontrados em Gráficos de Controle, tais como os descritos em Western Electric (1956). Aqui serão apresentados apenas alguns deles, nas Figuras 24 a 30.

O padrão não aleatório por excelência é o outlier, ou valor discrepante, um ponto que esteja além dos limites de controle do Gráfico. Este valor extremo tem uma probabilidade muito pequena de ocorrer por acaso (ver seção 2.3.1.1), então *deve* ter sido o resultado de alguma causa assinalável, o que indica que o processo está fora de controle estatístico. As Figuras 24 e 25 mostram Gráficos de Controle com outliers.

Figura 24 - Gráfico com Outliers superiores

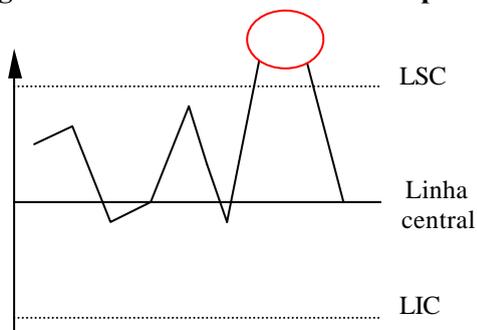
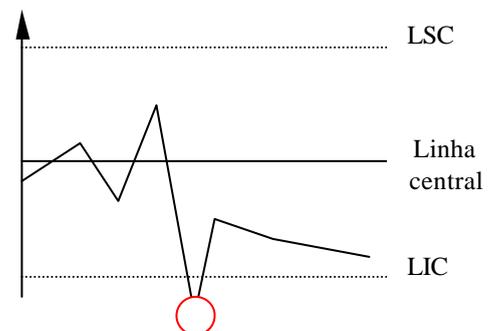


Figura 25 - Gráfico com Outlier inferior



Nos Gráficos de Shewhart, em que as medidas plotadas são supostas independentes

entre si, pode haver causas assinaláveis atuando sobre o processo quando um número “muito grande” de pontos consecutivos está em apenas um dos lados da linha central, ou exibem comportamento crescente ou decrescente. São os chamados padrões não aleatórios óbvios (ASQC/AIAG,1992). O valor do Característico sofreu um desvio, que pode ter sido causado por uma máquina mal ajustada, ou matéria-prima defeituosa. As Figuras 26 e 27 expõem esses dois padrões.

Figura 26 - Muito pontos de um lado da linha central

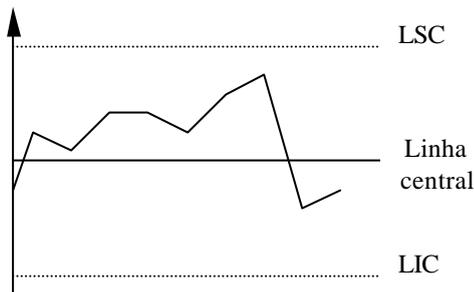
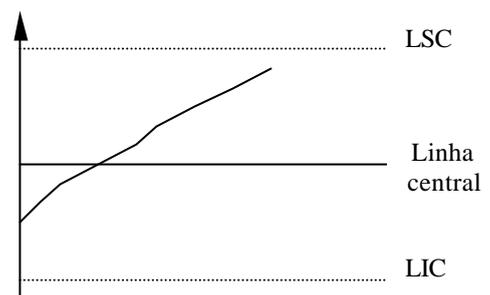


Figura 27 - Muitos pontos crescentes



Quando a distribuição do Característico pode ser aproximada por uma normal, o que é possível em vários dos Gráficos de Controle de Shewhart, espera-se que a maioria (cerca de 68%) dos pontos esteja a um desvio padrão da linha central. Dentro dos limites de controle (a três desvios padrões da linha central), ainda supondo que o Característico tenha distribuição normal, devem estar 99,73% dos dados. Se há uma quantidade muito grande de pontos “próximos demais” da linha central, ocorre um padrão chamado estratificação, ou “bom demais para ser verdade” (Jordan,1999), medidas de diferentes lotes de produtos, com comportamento diferente, estão sendo colocadas no mesmo subgrupo (supondo um Gráfico por amostras), inflacionando a variabilidade dentro dos subgrupos e reduzindo a entre subgrupos, ou os limites foram calculados incorretamente, ou ainda os dados podem ter sido editados. O oposto, um número muito grande de pontos próximos aos limites de controle e poucos perto da linha central, é um padrão chamado mistura, em que medidas resultantes de dois ou mais lotes de produtos, também com comportamento diferente, estão sendo colocadas no mesmo Gráfico (quando o correto seria cada processo ter o seu próprio Gráfico de Controle), inflacionando a variabilidade. Estes padrões podem ser identificados em Gráficos

de Médias, Intervalos, fração de defeituosos (p), número de defeitos (c) (Western Electric,1956) (ASQC/AIAG,1992). As Figuras 28 e 29 mostram estes padrões.

Figura 28 – Estratificação em Gráfico

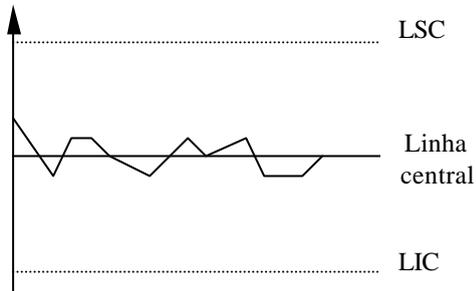
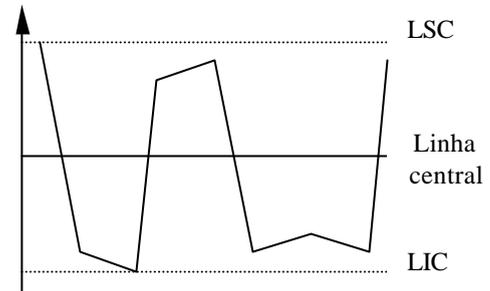
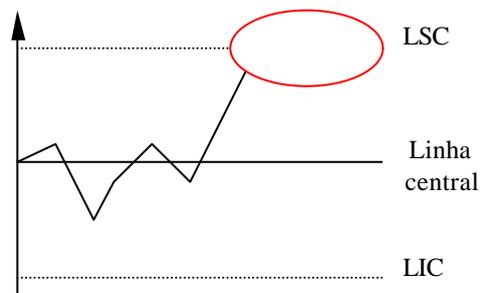


Figura 29 - Mistura em Gráfico



Outro padrão que pode ser encontrado em Gráficos de Controle é a mudança brusca de nível. Neste caso a introdução de uma nova matéria-prima, um novo operador, uma máquina com problemas desloca os valores do Característico. A mudança brusca de nível pode ser temporária, quando o desvio surge e mantém-se apenas durante algum tempo, ou “permanente”, quando dura até o último ponto do Gráfico. A Figura 30 mostra um Gráfico de Controle com mudança brusca de nível.

Figura 30 - Gráfico com Mudança Brusca de Nível



O módulo Especialista precisa identificar se os padrões não aleatórios estão ou não presentes no Gráfico de Controle, para poder responder as duas primeiras questões de um problema de apenas Gráficos de Controle. Em outras palavras, alguma metodologia de reconhecimento de padrões em Gráficos de Controle precisa ser aplicada, para que o Especialista possa opinar sobre o processo, e há três metodologias disponíveis: a que utiliza regras heurísticas (ou regras de seqüência, “run rules”), a que utiliza métodos sintáticos (ver seção 2.6.2.2), e a que utiliza redes neurais. Neste trabalho optou-se por adotar regras

heurísticas para reconhecimento dos padrões, pelos seguintes motivos:

- apresentam um sucesso razoável após mais de quarenta anos de uso.
- são extremamente fáceis de operar, e não exigem algoritmos muito sofisticados.
- por sua simplicidade, são mais facilmente compreendidas pelo pessoal de chão de fábrica (lembrando que os usuários do STCEQ poderão ser instrutores no futuro).

O módulo Especialista utiliza diferentes conjuntos de regras e interpretações dependendo do tipo de Gráfico de Controle do problema, mas o procedimento basicamente consiste em aplicar regras heurísticas aos Gráficos, e aos histogramas associados, para juntamente com as informações da instância do problema responder as questões. A descrição das regras utilizadas no STCEQ, e das razões para sua escolha estão na próxima seção.

4.6.1.2 – Regras do STCEQ para identificação de padrões em Gráficos de Controle.

Montgomery (1997) recomenda cautela na utilização das regras heurísticas em Gráficos de Controle, pois a utilização de todas as regras disponíveis poderia levar a um grande número de alarmes falsos. Além disso o mecanismo fundamentalmente simples dos Gráficos de Controle seria complicado em demasia. Por esta razão decidiu-se *não* utilizar todas as regras preconizadas pela Western Electric (1956), nem tampouco todas as demais regras listadas em Montgomery (1997, p.149). Decidiu-se utilizar a abordagem preconizada por ASQC/AIAG (1992), com algumas modificações, pois o STCEQ inclui Gráficos CUSUM e EWMA, pelos seguintes motivos:

- trata-se da abordagem preconizada pelos setores da Qualidade de organizações como Chrysler, Ford e General Motors, sob os auspícios da ASQC (Sociedade Americana de Controle da Qualidade), para todas as suas práticas da Qualidade, bem como a de seus fornecedores.
- o número de regras da abordagem não é excessivo, mas este autor acredita que cobre os principais padrões não aleatórios que podem ser encontrados nos Gráficos de Controle.

O Quadro 41 contém as regras que o módulo Especialista utiliza para analisar os Gráficos de Controle, com sua descrição, justificativa para escolha, e tipo de Gráfico a que serão aplicadas.

Quadro 41 - Regras do STCEQ para identificação de padrões em Gráficos de Controle

Regra	Descrição	Justificativa	Gráfico
Outliers	Verifica se os pontos estão além dos limites de controle do Gráfico.	É a regra mais aplicada, sugerida pelo próprio Shewhart.	Todos
7 pontos acima	Verifica se há sete pontos consecutivos acima da linha central do Gráfico.	Proposta por ASQC/AIAG (1992). Provavelmente há causas assinaláveis.	Apenas os de Shewhart (exceto MR)
7 pontos abaixo	Verifica se há sete pontos consecutivos abaixo da linha central do Gráfico.	Proposta por ASQC/AIAG (1992).	Apenas os de Shewhart (exceto MR)
7 pontos crescentes	Verifica se há sete pontos consecutivos crescentes do Gráfico.	Proposta por ASQC/AIAG (1992).	Apenas os de Shewhart (exceto MR)
7 pontos decrescentes	Verifica se há sete pontos consecutivos decrescentes da linha central do Gráfico.	Proposta por ASQC/AIAG (1992).	Apenas os de Shewhart (exceto MR)
Estratificação	Verifica se mais de 85% dos pontos estiverem a apenas um desvio padrão da linha central do Gráfico.	Proposta por ASQC/AIAG (1992).	Apenas os de Shewhart (exceto MR)
Mistura	Verifica se mais de 45% dos pontos estiverem a mais de dois desvios padrões da linha central do Gráfico.	Proposta por ASQC/AIAG (1992).	Apenas os de Shewhart (exceto MR)
Mudança brusca de nível	Verifica se um grupo de pontos tem uma média substancialmente menor ou maior (dois desvios padrões) do que os imediatamente anteriores/ posteriores.	Flutuações bruscas na variabilidade do processo precisam ser investigadas, pois podem representar problemas sérios.	Apenas os de Shewhart (exceto MR)
Normalidade	Aplica um teste de aderência (Kolmogorov-Smirnov) aos histogramas associados aos Gráficos para verificar se podem ser considerados normais.	É importante para os Estudos de Capacidade de Processos: se é possível generalizar a capacidade ou calcular Índices de Capacidade.	Histogramas associados a todos os Gráficos

Alguns esclarecimentos são necessários.

A regra de identificação de estratificação foi modificada em relação ao originalmente

proposto por ASQC/AIAG (1992). Propunha-se que se mais de dois terços (66%) dos pontos estivessem a até um desvio padrão da linha central haveria estratificação. Aumentou-se o percentual para 85% porque nos casos em que a distribuição puder ser aproximada por uma normal é perfeitamente natural que até 68% dos dados estejam a um desvio padrão da linha central, o que acarretaria um grande número de alarmes falsos. Providência semelhante foi adotada para a regra da mistura, trocando o percentual sugerido de 33% (um terço) para 45%.

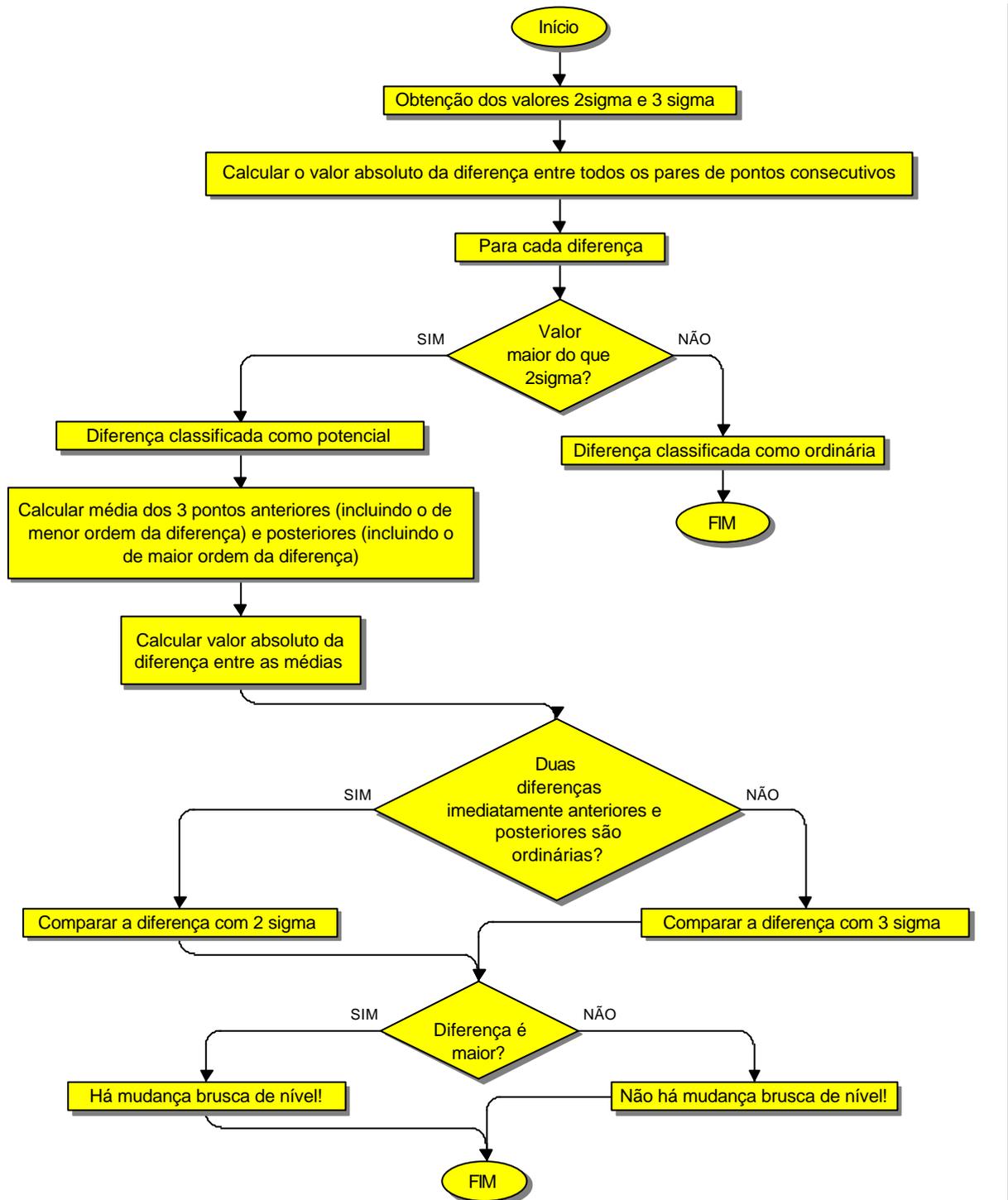
Várias regras citam a identificação de sete ou mais pontos consecutivos (abaixo ou acima da linha central, crescentes ou decrescentes). Por que sete? Se há um número “muito grande” de pontos consecutivos em apenas um dos lados da linha central, ou que exibem comportamento crescente ou decrescente pode haver causas assinaláveis atuando sobre o processo. O problema consiste em definir este número “muito grande”. Em geral os Gráficos de Controle costumam apresentar de vinte e cinco a trinta pontos, algumas referências (Western Electric,1956) consideram que *oito* ou mais pontos consecutivos em um dos lados da linha central constituem indicação de causa assinalável, outras (Montgomery,1997) declaram que *seis* ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes seriam sinal de existência de causa assinalável. Neste trabalho optou-se por um meio termo, exatamente como proposto por ASQC/AIAG (1992): sete ou mais pontos consecutivos em apenas um dos lados da linha central, sete ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes.

Na literatura consultada pelo autor deste trabalho não há uma regra heurística *específica* para identificação de mudança brusca de nível⁴⁰. A mudança brusca de nível seria identificada visualmente, pela disposição dos pontos no Gráfico de Controle. Devido à importância deste padrão, e portanto da necessidade do Especialista poder identificá-lo, optou-se por desenvolver uma regra heurística específica para reconhecer a existência de

⁴⁰ Algumas regras de Western Electric (1956) podem ser usadas para identificar padrões que poderiam ser interpretados como mudança brusca de nível.

mudança brusca de nível. A Figura 31 mostra o fluxograma desta regra.

Figura 31 - Regra para identificação de mudança brusca de nível



Os valores “2 sigma” e “3 sigma” citados na Figura 31 são obtidos a partir dos limites de controle do Gráfico (que são calculados de forma diferente para cada tipo de Gráfico): “3 sigma” é a diferença entre o limite superior e a linha central, e “2 sigma” corresponde a dois terços de “3 sigma”. Comparam-se as diferenças dos pontos consecutivos com “2 sigma” pois

para diferenças maiores os pontos provavelmente seriam outliers, portanto identificáveis por outra regra. Quando uma diferença é considerada potencial calculam-se as médias dos três pontos imediatamente anteriores e posteriores: usam-se três pontos porque um ou dois poderiam configurar simples variação aleatória, e um número maior poderá ser identificado por outras regras. O valor absoluto da diferença entre estas médias é comparado com “2 sigma” ou com “3 sigma”: nos testes realizados observou-se que ocorriam muitos alarmes falsos quando a diferença entre as médias era comparada com “2 sigma”, quando alguma das diferenças entre os pontos, as duas mais próximas, eram potenciais também; nestes casos a comparação sendo feita com “3 sigma” evitou os alarmes falsos.

Conforme já foi mencionado, realizaram-se alguns testes para verificar se a regra para identificação de mudança brusca de nível apresentava bom desempenho. Foram gerados dados (via os algoritmos do módulo Simulador do STCEQ, e pelo Microsoft Excel®) sem e com a existência de desvios para Gráficos de Controle \bar{X} e R, \bar{X} e s, p e c (dez Gráficos sem desvio e dez com desvio, de cada tipo). Os resultados mostraram que quando não havia mudança brusca de nível a regra não indicava a sua existência, em todos os tipos de Gráficos. E quando a mudança brusca de nível podia ser identificada por inspeção visual dos Gráficos, a regra assinalava a sua existência na maioria dos casos. O autor deste trabalho reconhece a necessidade de testes mais generalizados, mas os resultados obtidos justificam a incorporação da regra ao módulo Especialista do STCEQ. Os resultados dos testes efetuados estão no Anexo F.

É preciso agora descrever como o módulo Especialista responde as questões dos problemas de apenas Gráficos de Controle.

4.6.1.3 – Como o Especialista responde as questões dos problemas

Naturalmente a ação do Especialista irá depender das questões apresentadas, que por sua vez dependem do tipo de Gráfico do problema (ver seção 4.4.5 para revisar as questões e respostas possíveis para os problemas). Quando há dois Gráficos (\bar{X} e R, \bar{X} e s, X e MR) o de Variabilidade (R, s, MR) é analisado primeiro: se uma ou mais das regras descritas no Quadro 41 (com exceção da normalidade) identificarem o respectivo padrão não aleatório o processo é considerado fora de controle no Gráfico analisado. O Quadro 42 apresenta como o Especialista responde as três primeiras questões do problema para os casos em que há dois Gráficos de Controle.

Quadro 42 - Respostas do Especialista para problemas de apenas Gráficos de Controle - Dois Gráficos

Situação dos Gráficos	Resposta da Questão 1	Resposta da Questão 2	Resposta da Questão 3
Variabilidade fora de controle.	“Gráfico de tendência central não avaliado porque o de variabilidade está fora de controle.”	Marcadas as opções correspondentes aos resultados das regras: se há ou não os diversos padrões.	São marcadas as opções relacionadas ao que se deve fazer quando os Gráficos estão fora de controle.
Variabilidade sob controle, tendência central fora de controle.	“Apenas no de variabilidade.”	Marcadas as opções correspondentes aos resultados das regras: se há ou não os diversos padrões.	São marcadas as opções relacionadas ao que se deve fazer quando os Gráficos estão fora de controle.
Ambos sob controle.	“Em ambos”	Marcadas as opções correspondentes aos resultados das regras: se há ou não os diversos padrões.	São marcadas as opções relacionadas ao que se deve fazer quando os Gráficos estão sob controle.

A regra da normalidade não tem a mesma influência das outras, pelos seguintes motivos:

- alguns autores (Wheeler,1995) (Montgomery,1997) declaram que, como a estatística R (intervalo) não tem distribuição normal, e a aplicação de tal regra a estes Gráficos poderia levar a erros de diagnóstico.
- os Gráficos de Controle usualmente incluem de 25 a 30 pontos, o que pode não ser suficiente para configurar um histograma de distribuição normal, mesmo que a distribuição do Característico realmente o seja.

Então por incluir a regra da normalidade? Pelas razões incluídas no Quadro 41, e para forçar o usuário a interpretar mais este padrão encontrado nos Gráficos de Controle, e cujo conhecimento é útil para diversas outras aplicações estatísticas.

Quando há apenas um Gráfico de Controle (p, np, c, u, CUSUM e EWMA) o processo de interpretação é obviamente mais simples, e as respostas possíveis estão no Quadro 43.

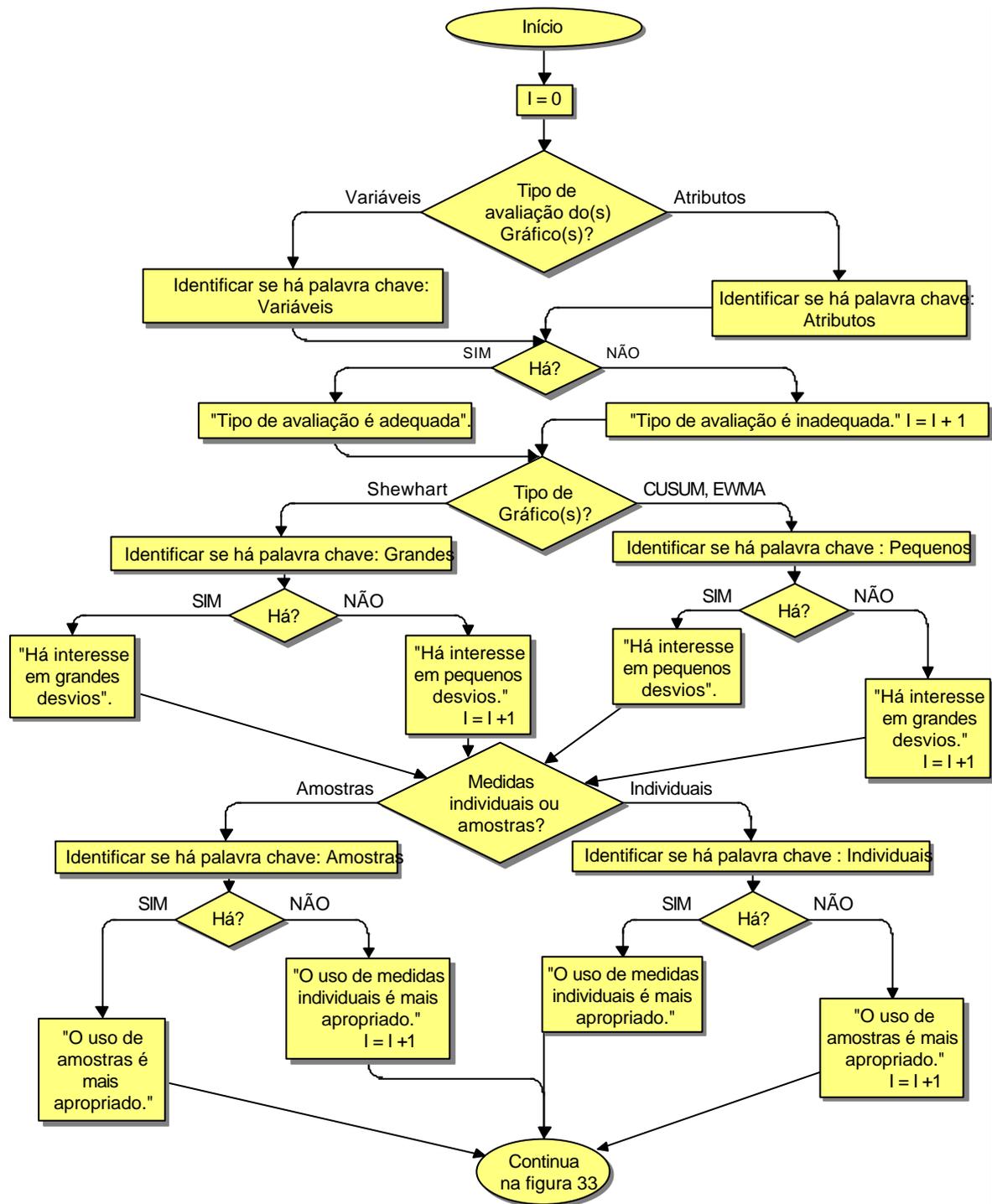
Quadro 43 - Respostas do Especialista para problemas de apenas Gráficos de Controle - Apenas um Gráfico

Situação dos Gráficos	Resposta da Questão 1	Resposta da Questão 2	Resposta da Questão 3
Processo fora de controle	“NÃO.”	Marcadas as opções correspondentes aos resultados das regras: se há ou não os diversos padrões.	São marcadas as opções relacionadas ao que se deve fazer quando o Gráfico está fora de controle.
Processo sob controle	“SIM.”	Marcadas as opções correspondentes aos resultados das regras: se há ou não os diversos padrões.	São marcadas as opções relacionadas ao que se deve fazer quando o Gráfico está sob controle.

As respostas das Questões 4 e 5, relativas à adequação do tipo de Gráfico(s) usado(s) no problema, dependerão das palavras-chave do problema (ver Quadro 31), que foram descritas para o usuário durante a apresentação do problema. Se as palavras-chave, que traduzem as condições do problema, não ratificarem o(s) Gráfico(s) escolhido(s), o Especialista irá responder que a técnica é inadequada.

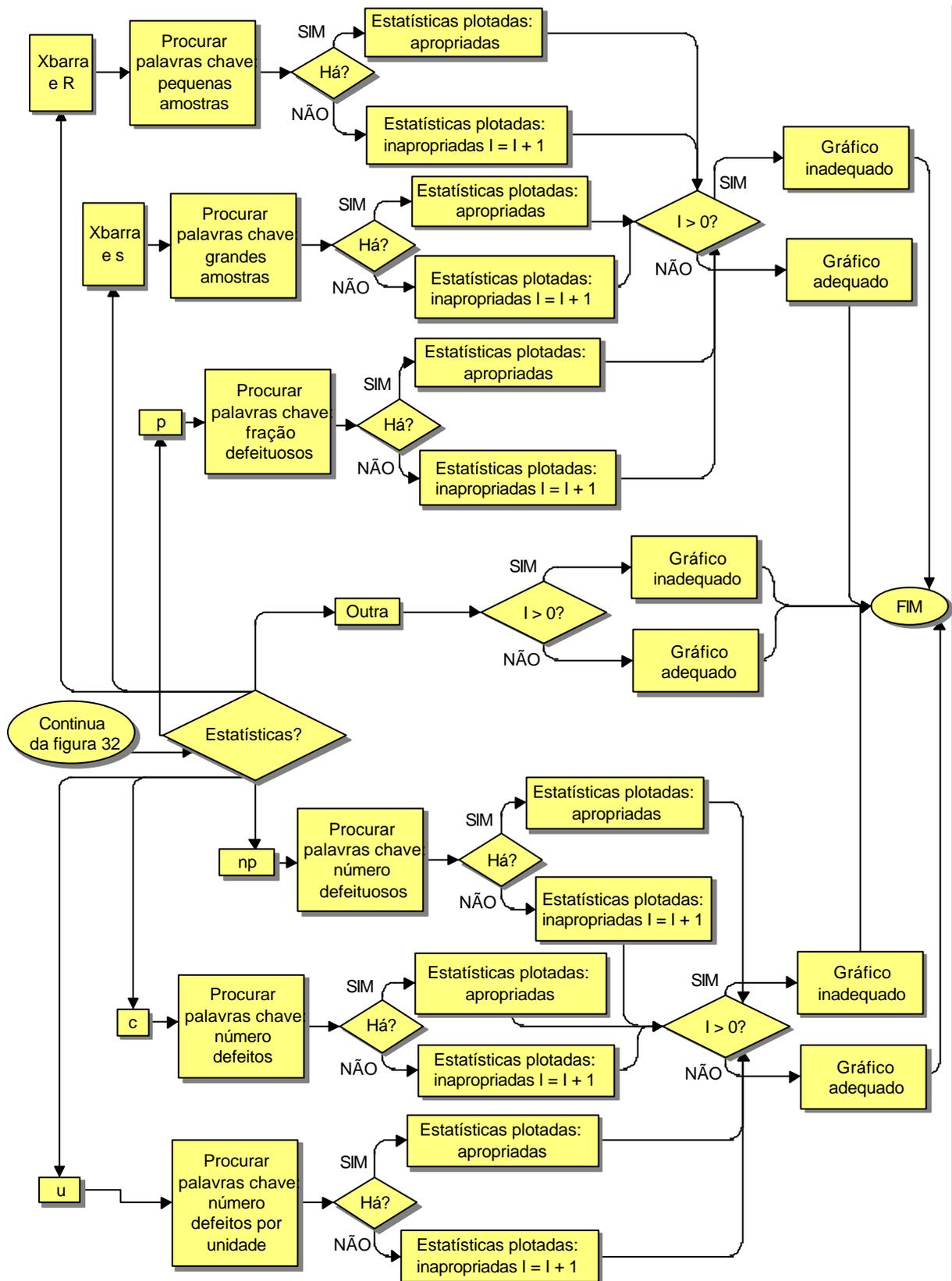
A Figura 32 mostra parte do fluxograma de decisão do módulo Especialista para as Questões 4 e 5 dos problemas de apenas Gráficos de Controle.

Figura 32 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 4 e 5 de problemas de apenas Gráficos de Controle – Primeira parte



Além das etapas descritas na Figura 32 o módulo Especialista avalia se as estatísticas plotadas são as mais apropriadas para o problema. O fluxograma desta avaliação é apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 4 e 5 de problemas de apenas Gráficos de Controle – Segunda parte



Se as palavras-chave acerca da estatística plotada não estiverem registradas na instância do problema, a estatística será considerada inadequada, e portanto o Gráfico de

Controle empregado também. Para os Gráficos \bar{X} e R as palavras-chave são “pequenas amostras”, porque a estimativa do desvio padrão do processo a partir do intervalo (R) apresenta melhores resultados para pequenas amostras. Além disso, pode haver interesse em limitar o tamanho da amostra seja por razões de custo, ou para reduzir o tempo de amostragem, permitindo plotar mais rapidamente as estatísticas, e assim identificar mais rapidamente algum padrão não aleatório. Para os Gráficos \bar{X} e s as palavras-chave são “grandes amostras”, quando realmente for desejada uma estimativa mais correta do processo, ou se desejar detectar um desvio menor (quando a estimativa do desvio padrão pelo intervalo perde eficiência), ou ainda quando o tamanho da amostra for variável⁴¹ (Montgomery, 1997). A atual versão do STCEQ não faz diferença entre os Gráficos CUSUM e EWMA: ambos são recomendados quando há interesse em identificar pequenos desvios, observando porém se as estatísticas utilizadas são as mais apropriadas. Não obstante, reconhece-se que são Gráficos com potencial diferente, pois o EWMA pode ser também uma ferramenta de previsão do comportamento do processo em um período subsequente (Montgomery, 1997, p.340).

4.6.2 – Especialista para os problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos

Basicamente o módulo Especialista procura analisar os resultados dos Estudos de Capabilidade, e, em conjunto com as informações do problema (registradas em palavras chave na instância do problema), responder as questões relacionadas, que foram expostas no Quadro 38.

Lembrando que os problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos incluem a realização de três estudos: por histograma, por Índices de Capabilidade e do sistema de medição. Embora as questões e as opções de resposta sejam as mesmas para os três tipos,

⁴¹ Esta possibilidade não está prevista na atual versão do STCEQ.

obviamente as opiniões do Especialista para um estudo por histogramas serão diferentes das emitidas para um por Índices ou de uma análise do sistema de medição.

O primeiro passo do módulo Especialista é avaliar se o processo está sob controle estatístico, condição indispensável para a realização dos Estudos de Capabilidade. Como não há Gráficos de Controle para o Característico neste tipo de problema as informações sobre a estabilidade do processo estão registradas na instância do problema, e são transferidas para o módulo Especialista por meio de palavras-chave. A situação do processo também é informada ao usuário durante a apresentação do problema. As respostas do módulo Especialista quando o processo está fora de controle estão listadas no Quadro 44.

Quadro 44 - Respostas do módulo Especialista para os problemas de apenas Estudos de Capabilidade - Processo fora de controle estatístico

Questões	Respostas
1) Pelo histograma o processo pode ser considerado capaz?	NADA SE PODE AFIRMAR.
2) Quais os motivos para a sua decisão anterior?	Processo fora de controle estatístico
3) O que você recomenda que seja feito agora?	Nada fazer até que o processo esteja sob controle.
4) Pelos índices de capabilidade o processo pode ser considerado capaz?	NADA SE PODE AFIRMAR.
5) Quais os motivos para a sua decisão anterior?	Processo fora de controle estatístico
6) O que você recomenda que seja feito agora?	Nada fazer até que o processo esteja sob controle.
7) O sistema de medição pode ser considerado capaz?	NADA SE PODE AFIRMAR.
8) Quais os motivos para a sua decisão anterior?	Processo fora de controle estatístico
9) O que você recomenda que seja feito agora?	Nada fazer até que o processo esteja sob controle.

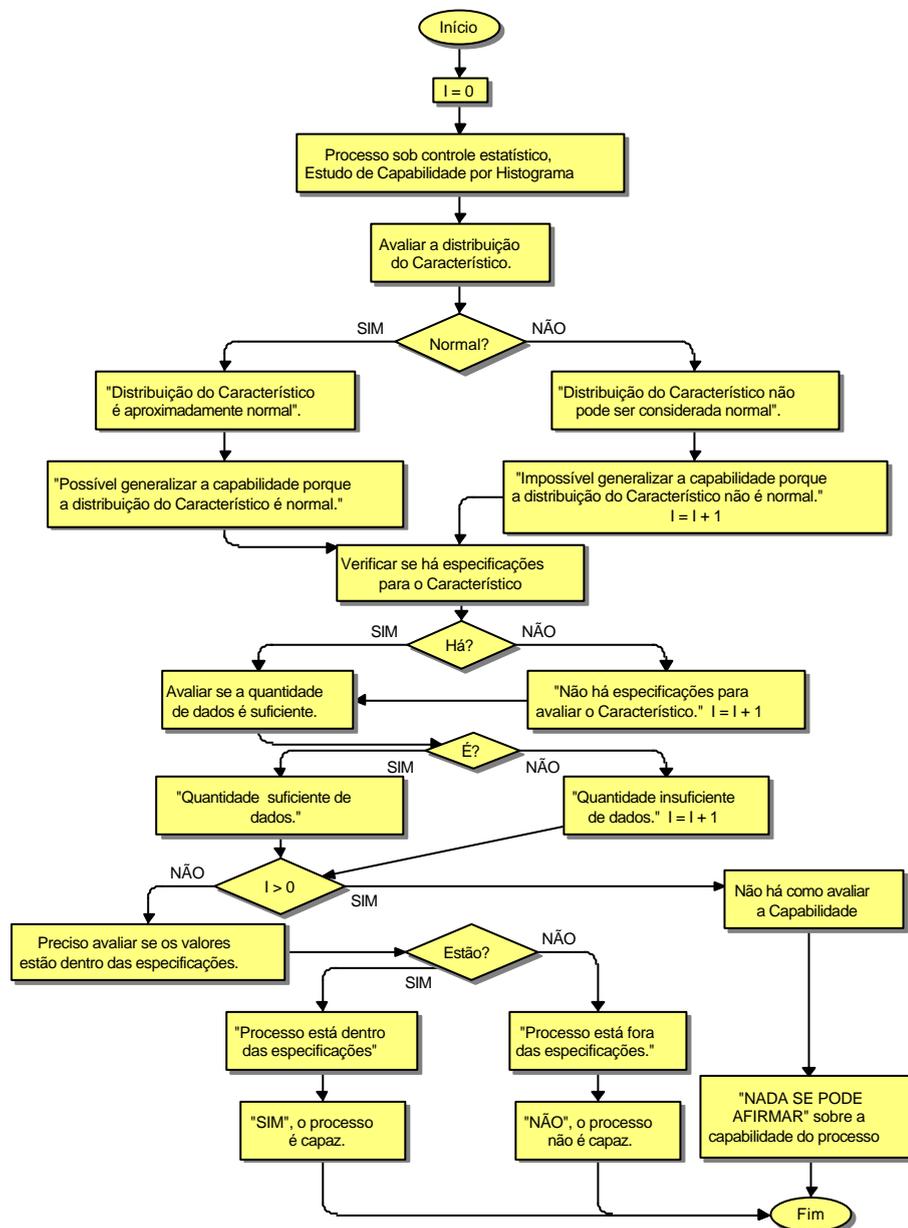
Quando o processo está fora de controle estatístico, instável, ele não é previsível, portanto nada se pode afirmar sobre a sua Capabilidade. E nada se deve fazer, em termos de Estudo de Capabilidade de processos até que o processo passe a estar sob controle, é necessário identificar as causas assinaláveis, removê-las, para então poder pensar novamente

em avaliar a Capabilidade do processo. Se o processo estiver sob controle estatístico os resultados obtidos pelos três estudos realizados passam a ter validade, e o módulo Especialista deverá avaliá-los em conjunção com as informações do problema. As próximas seções irão descrever como o Especialista elabora as respostas das questões dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade, quando o processo está sob controle estatístico.

4.6.2.1 – Especialista para os Estudos de Capabilidade por Histogramas

Para este caso a Figura 34 apresenta o fluxograma do processo de decisão adotado.

Figura 34 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 1 e 2 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico



As respostas da Questão 3, o que o usuário recomenda que seja feito, dependerão das respostas das Questões 1 e 2, e estão descritas no Quadro 45.

Quadro 45 - Respostas do módulo Especialista para a Questão 3 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade - Processo sob controle estatístico

Resposta da Questão 1	Opções marcadas na Questão 2	Opções marcadas na Questão 3 (recomendações)
“NADA SE PODE AFIRMAR”.	“Distribuição do Característico não pode ser considerada normal.”	“Transformar os dados para obter uma normal”. “Construção de um histograma dos dados.”
	“Não há especificações para avaliar a capacidade.”	“Buscar especificações para o Característico.” “Construção de um histograma dos dados.”
	“Quantidade insuficiente de dados”.	“Obter um número suficiente de dados.” “Construção de um histograma dos dados.”
“NÃO”	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Quantidade suficiente de dados”. “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para descobrir porque o processo não é capaz.” “Construção de um histograma dos dados.”
“SIM”	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Quantidade suficiente de dados”. “Processo está dentro das especificações.”	“Manter o processo como está enquanto a Capabilidade for adequada.”

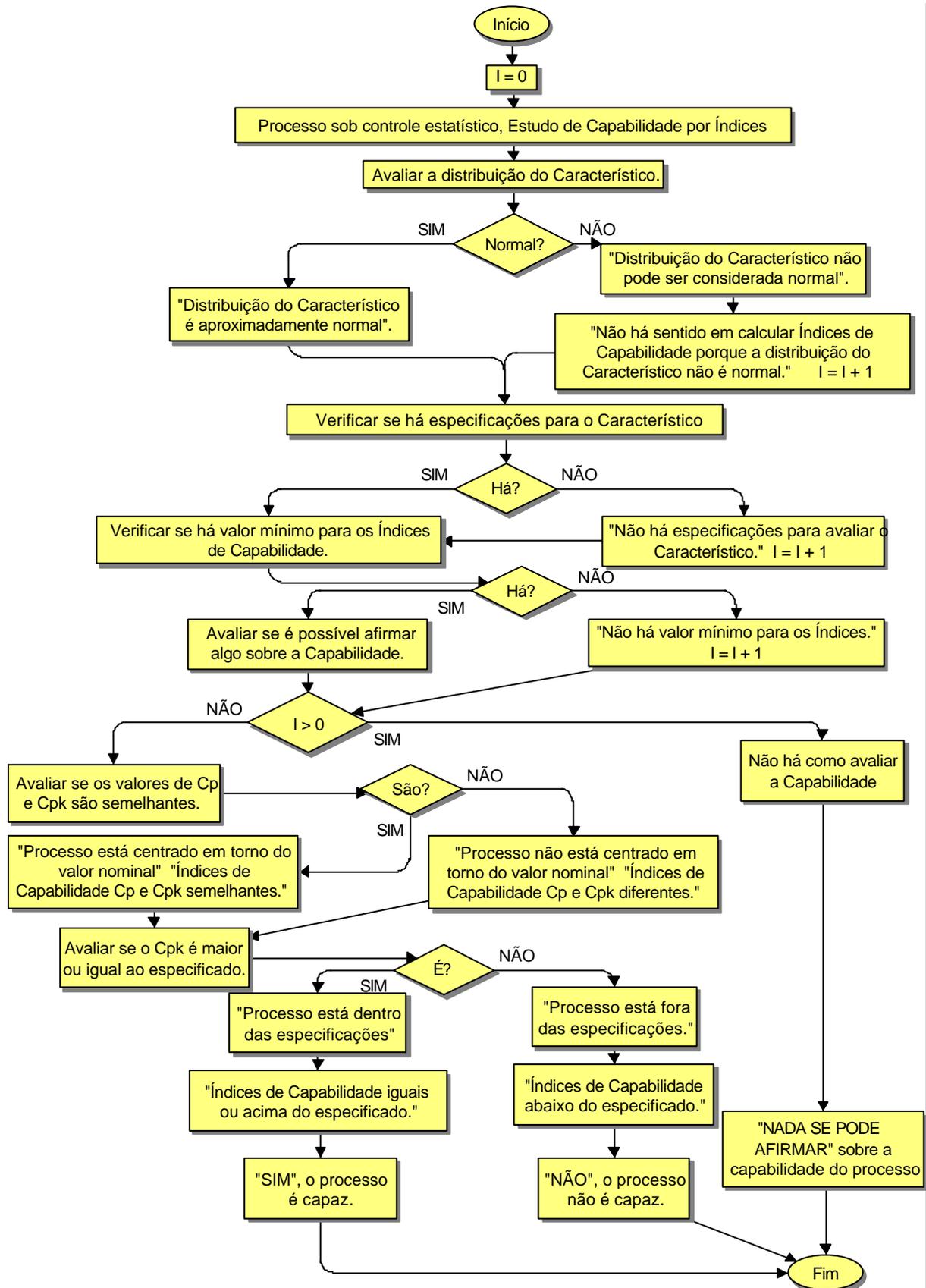
Quando o Especialista responde a Questão 1 como “NADA SE PODE AFIRMAR” ou “NÃO” também recomenda a construção de um histograma dos dados na Questão 3. O objetivo é avaliar novamente a Capabilidade do processo, assim que as dificuldades tiverem sido contornadas.

A próxima seção apresentará como o Especialista responde as Questões 4, 5 e 6 dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos, sobre Índices de Capabilidade.

4.6.2.2 – Especialista para os Estudos de Capabilidade por Índices

Para este caso a Figura 35 apresenta o fluxograma do processo de decisão adotado.

Figura 35 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 4 e 5 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico



As respostas da Questão 6, o que o usuário recomenda que seja feito, dependerão das respostas das Questões 4 e 5, e estão descritas no Quadro 46.

Quadro 46 - Respostas do módulo Especialista para a Questão 6 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade - Processo sob controle estatístico

Resposta da Questão 1	Opções marcadas na Questão 2	Opções marcadas na Questão 3 (recomendações)
“NADA SE PODE AFIRMAR”	“Distribuição do Característico não pode ser considerada normal.”	“Transformar os dados para obter uma normal”. “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
	“Não há especificações para avaliar a capabilidade.”	“Buscar especificações para o Característico.” “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
	“Não há valor mínimo para os Índices de Capabilidade”.	“Buscar valor mínimo para os Índices de Capabilidade.” “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
“NÃO”	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Processo não está centrado no valor nominal.” “Índices de Capabilidade Cp e Cpk diferentes”. “Índices de Capabilidade abaixo do especificado.” “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para descobrir porque o processo não é capaz.” “Buscar as razões por que o processo não está centrado.” “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Processo está centrado no valor nominal.” “Índices de Capabilidade Cp e Cpk semelhantes”. “Índices de Capabilidade abaixo do especificado.” “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para descobrir porque o processo não é capaz.” “Buscar as razões por que o processo não está centrado.” “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
“SIM”	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Processo não está centrado no valor nominal.” “Índices de Capabilidade Cp e Cpk diferentes”. “Índices de Capabilidade iguais ou acima do especificado.” “Processo está dentro das especificações.”	“Buscar as razões por que o processo não está centrado.”
	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Processo está centrado no valor nominal.” “Índices de Capabilidade Cp e Cpk semelhantes”. “Índices de Capabilidade iguais ou acima do especificado.” “Processo está dentro das especificações.”	“Manter o processo como está enquanto a Capabilidade for adequada.”

Da mesma forma que nos Estudos por histograma, quando o Especialista responde a Questão 4 como “NADA SE PODE AFIRMAR” ou “NÃO” também recomenda o cálculo dos Índices Cp e Cpk na Questão 6. O objetivo é avaliar novamente a Capabilidade do processo, assim que as dificuldades tiverem sido contornadas. Se o processo for considerado capaz, mas não estiver centrado no valor nominal não se pode recomendar que ele seja mantido como está, pois ainda há problemas, mas não há necessidade de novo cálculo dos Índices.

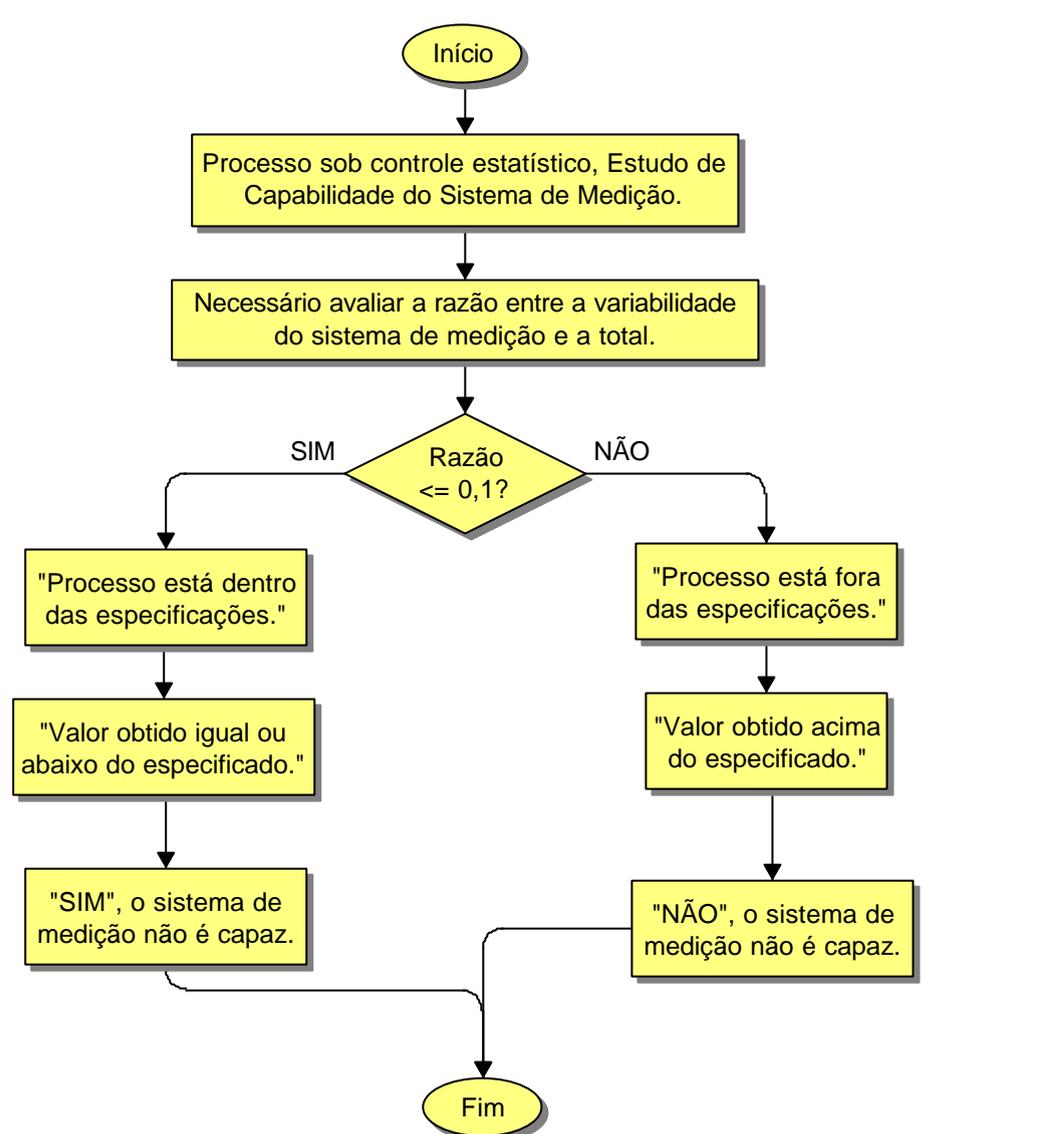
A próxima seção indicará como o Especialista responde as três últimas Questões (7, 8 e 9) dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos, que avaliam o sistema de medição.

4.6.2.3 – Especialista para os Estudos de Capabilidade do Sistema de Medição

O ponto principal da Capabilidade do sistema de medição é observar se a Variabilidade devida aos equipamentos de medição e procedimentos dos operadores não é excessiva. Conforme definido na seção 4.5.2, o valor máximo admissível para a razão entre a Variabilidade devida ao sistema de medição e a Variabilidade total é igual a 0,1 (10%). Valores iguais ou abaixo de 0,1 são aceitáveis, não havendo necessidade de obter novos equipamentos de medição (ou aferir os existentes), ou de programar treinamento extra aos operadores.

Se a razão entre as Variabilidades for superior a 0,1 algo precisa ser feito. Na seção 4.5.3 foi descrito como os resultados do Estudo de Capabilidade do sistema de medição são apresentados: além da razão entre as Variabilidades são mostradas as Variabilidades devidas à repetibilidade (equipamento de medição) e reprodutibilidade (operadores). A Figura 36 mostra o fluxograma do processo de decisão para Estudos de Capabilidade do sistemas de medição.

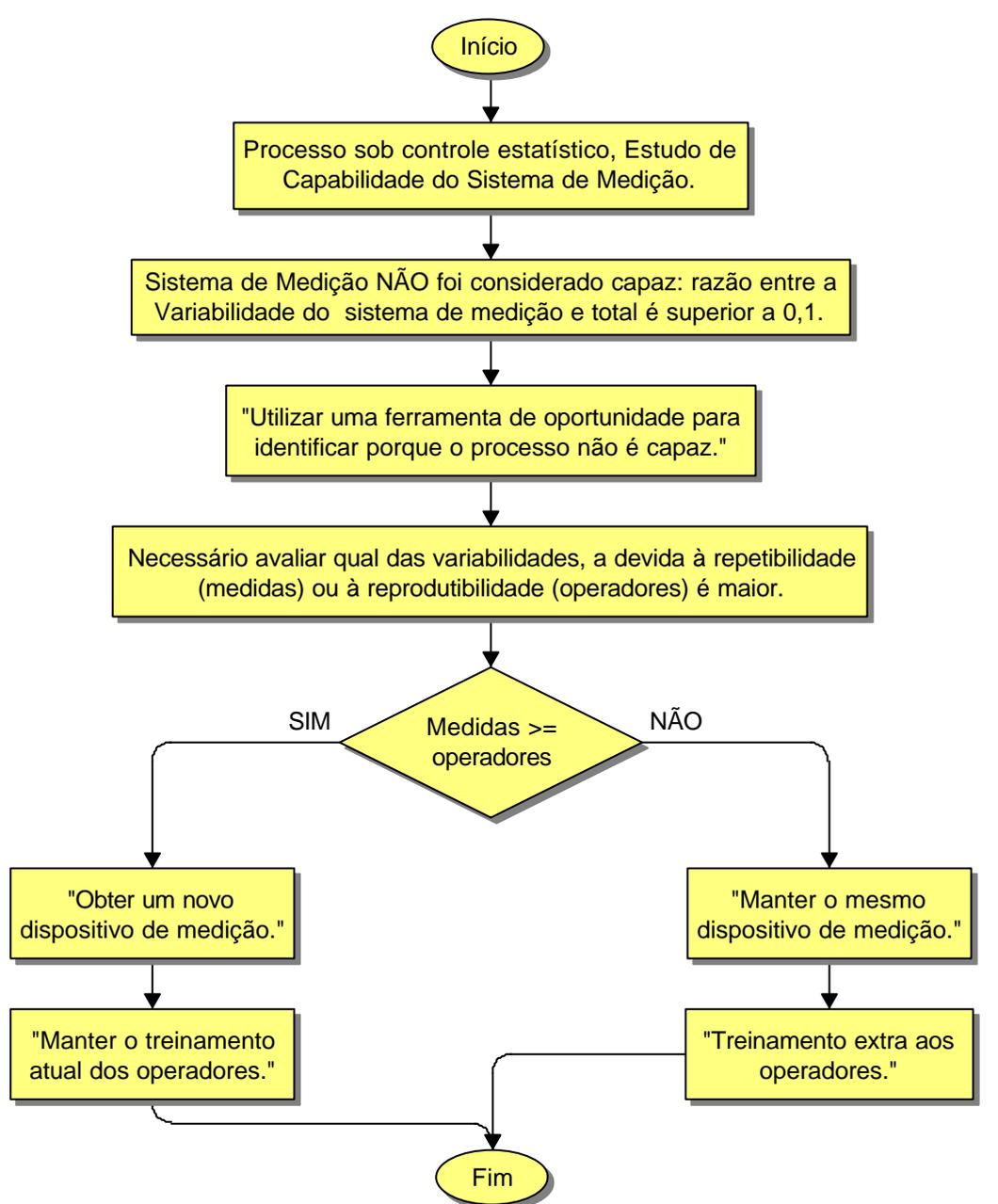
Figura 36 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 7 e 8 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico



Uma vez tendo identificado se o sistema de medição é capaz ou não (quando o processo está fora de controle nada se pode afirmar, ver Quadro 44), o Especialista recomenda o que fazer em seguida. O Especialista do STCEQ escolherá a ação que propiciar a redução da maior Variabilidade: se a de repetibilidade for maior deverá ser obtido um novo equipamento de medição (e mantido o treinamento atual dos operadores), se a de reprodutibilidade for maior deverá ser dado treinamento extra aos operadores (e mantido o mesmo dispositivo de medição). O Especialista age assim de maneira a priorizar as ações, e assim também conscientizar o usuário da necessidade de assim proceder, obtendo indiretamente também uma redução nos custos das ações corretivas. O fluxograma do processo de recomendação

está descrito na Figura 37.

Figura 37 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questão 9 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico



O comportamento do módulo Especialista nos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade vai incorporar muito do que foi descrito na seção 4.6.1, e nesta seção a 4.6.2, com algumas modificações. Agregará também as rotinas para respostas das duas últimas questões daquele tipo de problema. Este será o tema da próxima seção.

4.6.3 – Especialista para os problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos

As primeiras cinco questões dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos são iguais às apresentadas nos problemas de apenas Gráficos de Controle. E as três questões seguintes são iguais às questões apresentadas para cada tipo de Estudo nos problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos (ver seção 4.4.5, Quadros 37 e 38). Sendo assim optou-se por utilizar os mesmos procedimentos de decisão descritos na seção 4.6.1, sem modificações, quando o módulo Especialista for responder as cinco primeiras questões dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos. O Quadro 47 indica quais quadros e figuras descrevem como o Especialista irá elaborar as respostas.

Quadro 47 - Respostas do módulo Especialista às 5 primeiras questões de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos

Questões	Quadro e/ou Figura na seção 4.6.1
Questões 1 a 3, quando houver 2 Gráficos	Quadro 42
Questões 1 a 3, quando houver 1 Gráfico apenas	Quadro 43
Questões 4 e 5	Figuras 32 e 33

As três questões seguintes (6 a 8) abordam Estudos de Capabilidade de Processos, e os procedimentos utilizados na seção 4.6.2 precisam sofrer algumas alterações e receber acréscimos. A próxima seção explica por quê.

4.6.3.1 – Especialista para Estudos de Capabilidade em problemas de Gráficos de Controle seguido de Estudos de Capabilidade – Questões 6,7 e 8.

Nos problemas de apenas Estudos de Capabilidade a avaliação era sempre por Variáveis. Isso acarretava que o quarto tipo de Estudo de Capabilidade, em que era avaliado apenas o valor médio de um atributo (como fração de defeituosos ou número de defeitos) não era realizado naqueles problemas. Embora nenhum problema de Gráfico de Controle seguido por Estudo de Capabilidade por atributos esteja previsto (ver Quadros 34 a 36) o STCEQ tem

implementadas as rotinas necessárias para responder questões a respeito. Além disso, apenas um tipo de Estudo de Capabilidade é realizado nestes problemas: ou apenas por histograma, ou apenas por Índices, ou apenas do sistema de medição, ou apenas por atributos. Por estes motivos os procedimentos descritos na seção 4.6.2 precisam sofrer alguns acréscimos e modificações.

Para as Questões 6 e 7, quando o Estudo for por histograma, Índices ou do sistema de medição, podem ser usados os mesmos procedimentos da seção 4.6.2, como mostra o Quadro 48.

Quadro 48 - Respostas do módulo Especialista às Questões 6 e 7 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por histogramas, Índices ou do sistema de medição – Processo sob controle estatístico.

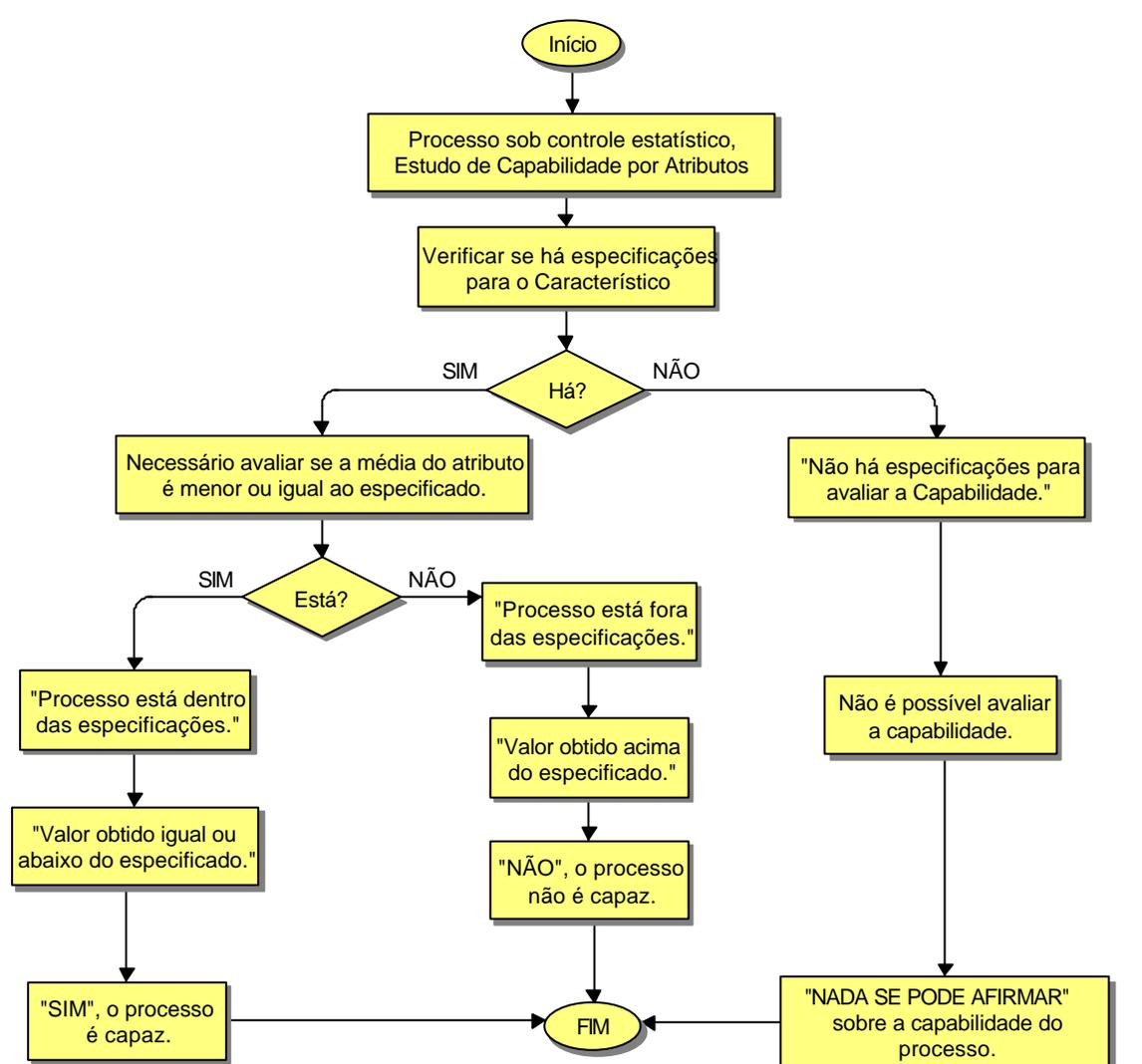
Tipo de Estudo	Questão em Gráficos seguidos de Estudos de Capabilidade	Questão equivalente em apenas Estudos de Capabilidade	Quadro ou figura com os procedimentos para as respostas
Histograma	6 e 7	1 e 2	- Quadro 44 quando o processo está fora de controle. - Figura 34 quando o processo está sob controle.
Índices	6 e 7	4 e 5	- Quadro 44 quando o processo está fora de controle. - Figura 35 quando o processo está sob controle.
Sistema de medição	6 e 7	7 e 8	- Quadro 44 quando o processo está fora de controle. - Figura 36 quando o processo está sob controle.

O Quadro 44 é usado para responder as Questões 6, 7 e 8 (equivalentes às 1, 2 e 3 daquele quadro) dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade, independente do tipo de Estudo realizado, sempre que o(s) Gráfico(s) de Controle identifique(m) que o processo está fora de controle.

Se o processo estiver sob controle estatístico, e o Estudo realizado for por histograma, Índices ou do sistema de medição, devem ser usadas as indicações do Quadro 48. Se o Estudo

foi realizado por atributos, a Figura 38 apresenta os procedimentos.

Figura 38 - Fluxo de decisão do módulo Especialista - Questões 6 e 7 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade – Processo sob controle estatístico - Estudo de Capabilidade por atributos



A resposta da Questão 8 dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos, que tem o mesmo enunciado e mesmas opções das Questões 3, 6 e 9 de apenas Estudos de Capabilidade, quando o processo está sob controle estatístico, depende de outros fatores além dos resultados dos Gráficos e do próprio Estudo sob análise. Dependerá também de informações da instância do problema que está sendo resolvido, que, por meio de palavras-chave, indicarão se o tipo de Estudo é o mais apropriado. Novamente, essas mesmas informações serão transmitidas ao usuário durante a apresentação do problema.

Os Quadros 49, 50, 51 e 52 apresentam os procedimentos que o Especialista utiliza para responder a Questão 8, quando o Estudo de Capabilidade é por histogramas, por Índices, do sistema de medição e por atributos, respectivamente.

Quadro 49 - Respostas do módulo Especialista à Questão 8 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por histograma - Processo sob controle estatístico

Resposta da Questão 6	Opções marcadas na Questão 7	Opções marcadas na Questão 8 (recomendações)*
“NADA SE PODE AFIRMAR”.	“Distribuição do Característico não pode ser considerada normal.”	“Transformar os dados para obter uma normal”. “Construção de um histograma dos dados.”
	“Não há especificações para avaliar a capacidade.”	“Buscar especificações para o Característico.” “Construção de um histograma dos dados.”
	“Quantidade insuficiente de dados”.	“Obter um número suficiente de dados.” “Construção de um histograma dos dados.”
“NÃO”	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Quantidade suficiente de dados”. “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para descobrir porque o processo não é capaz.” “Construção de um histograma dos dados.”
“SIM”	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Quantidade suficiente de dados”. “Processo está dentro das especificações.”	“Manter o processo como está enquanto a Capabilidade for adequada.”

* Se as condições do problema indicarem que um tipo de Estudo diferente de por histograma deve ser realizado as opções a seguir devem ser incorporadas às recomendações da Questão 8, nas células apropriadas do Quadro 49:

- se por Índices: “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”

- se do sistema de medição: “Realização de um Estudo de Capabilidade do sistema de medição.”

Quadro 50 - Respostas do módulo Especialista à Questão 8 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por Índices - Processo sob controle estatístico

Resposta da Questão 6	Opções marcadas na Questão 7	Opções marcadas na Questão 8 (recomendações) *
“NADA SE PODE AFIRMAR”	“Distribuição do Característico não pode ser considerada normal.”	“Transformar os dados para obter uma normal”. “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
	“Não há especificações para avaliar a capabilidade.”	“Buscar especificações para o Característico.” “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
	“Não há valor mínimo para os Índices de Capabilidade”.	“Buscar valor mínimo para os Índices de Capabilidade.” “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
“NÃO”	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Processo não está centrado no valor nominal.” “Índices de Capabilidade Cp e Cpk diferentes”. “Índices de Capabilidade abaixo do especificado.” “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para descobrir porque o processo não é capaz.” “Buscar as razões por que o processo não está centrado.” “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Processo está centrado no valor nominal.” “Índices de Capabilidade Cp e Cpk semelhantes”. “Índices de Capabilidade abaixo do especificado.” “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para descobrir porque o processo não é capaz.” “Buscar as razões por que o processo não está centrado.” “Cálculo dos Índices Cp e Cpk.”
“SIM”	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Processo não está centrado no valor nominal.” “Índices de Capabilidade Cp e Cpk diferentes”. “Índices de Capabilidade iguais ou acima do especificado.” “Processo está dentro das especificações.”	“Buscar as razões por que o processo não está centrado.”
	“Distribuição do Característico é aproximadamente normal.” “Processo está centrado no valor nominal.” “Índices de Capabilidade Cp e Cpk semelhantes”. “Índices de Capabilidade iguais ou acima do especificado.” “Processo está dentro das especificações.”	“Manter o processo como está enquanto a Capabilidade for adequada.”

* Se as condições do problema indicarem que um tipo de Estudo diferente de por Índices deve ser realizado as opções a seguir devem ser incorporadas às recomendações da Questão 8, nas

células apropriadas do Quadro 50:

- se por histograma: “Construção de um histograma dos dados.”
- se do sistema de medição: “Realização de um Estudo de Capabilidade do sistema de medição.”

Para um Estudo do sistema de medição é importante relembrar as Figuras 36 e 37.

Quadro 51- Respostas do módulo Especialista à Questão 8 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos do sistema de medição - Processo sob controle estatístico

Resposta da Questão 6	Opções marcadas na Questão 7	Opções marcadas na Questão 8 (recomendações) *
NÃO	“Valor obtido acima do especificado”. “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para identificar por que o processo não é capaz.” “Obter um novo dispositivo de medição.” “Manter o treinamento atual dos operadores.”
	“Valor obtido acima do especificado.” “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para identificar por que o processo não é capaz.” “Manter o mesmo dispositivo de medição.” “Treinamento extra aos operadores.”
SIM	“Valor obtido igual ou abaixo do especificado”. “Processo está dentro das especificações.”	“Manter o processo como está enquanto a Capabilidade for adequada.” “Manter o mesmo dispositivo de medição.” “Manter o treinamento atual dos operadores.”

* Se as condições do problema indicarem que um tipo de Estudo diferente deve ser realizado as opções a seguir devem ser incorporadas às recomendações da Questão 8, nas células apropriadas do Quadro 50:

- se por histograma: “Construção de um histograma dos dados.”
- se por Índices: “Cálculo dos Índices de Capabilidade Cp e Cpk.”

Finalmente, para Estudos de Capabilidade por atributos, lembrando a Figura 38, o Quadro 52 apresenta as respostas possíveis para a Questão 8.

Quadro 52 - Respostas do módulo Especialista à Questão 8 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por atributos - Processo sob controle estatístico

Resposta da Questão 6	Opções marcadas na Questão 7	Opções marcadas na Questão 8 (recomendações) *
“NADA SE PODE AFIRMAR”	“Não há especificações para avaliar a Capabilidade.”	“Buscar especificações para o Característico.”
“NÃO”	“Valor obtido acima do especificado.” “Processo está fora das especificações.”	“Utilizar uma ferramenta de oportunidade para descobrir porque o processo não é capaz.”
“SIM”	“Valor obtido igual ou abaixo do especificado.” “Processo está dentro das especificações.”	“Manter o processo como está enquanto a capacidade for adequada.”

* Se as condições do problema indicarem que um tipo de Estudo diferente deve ser realizado as opções a seguir devem ser incorporadas às recomendações da Questão 8, nas células apropriadas do Quadro 50:

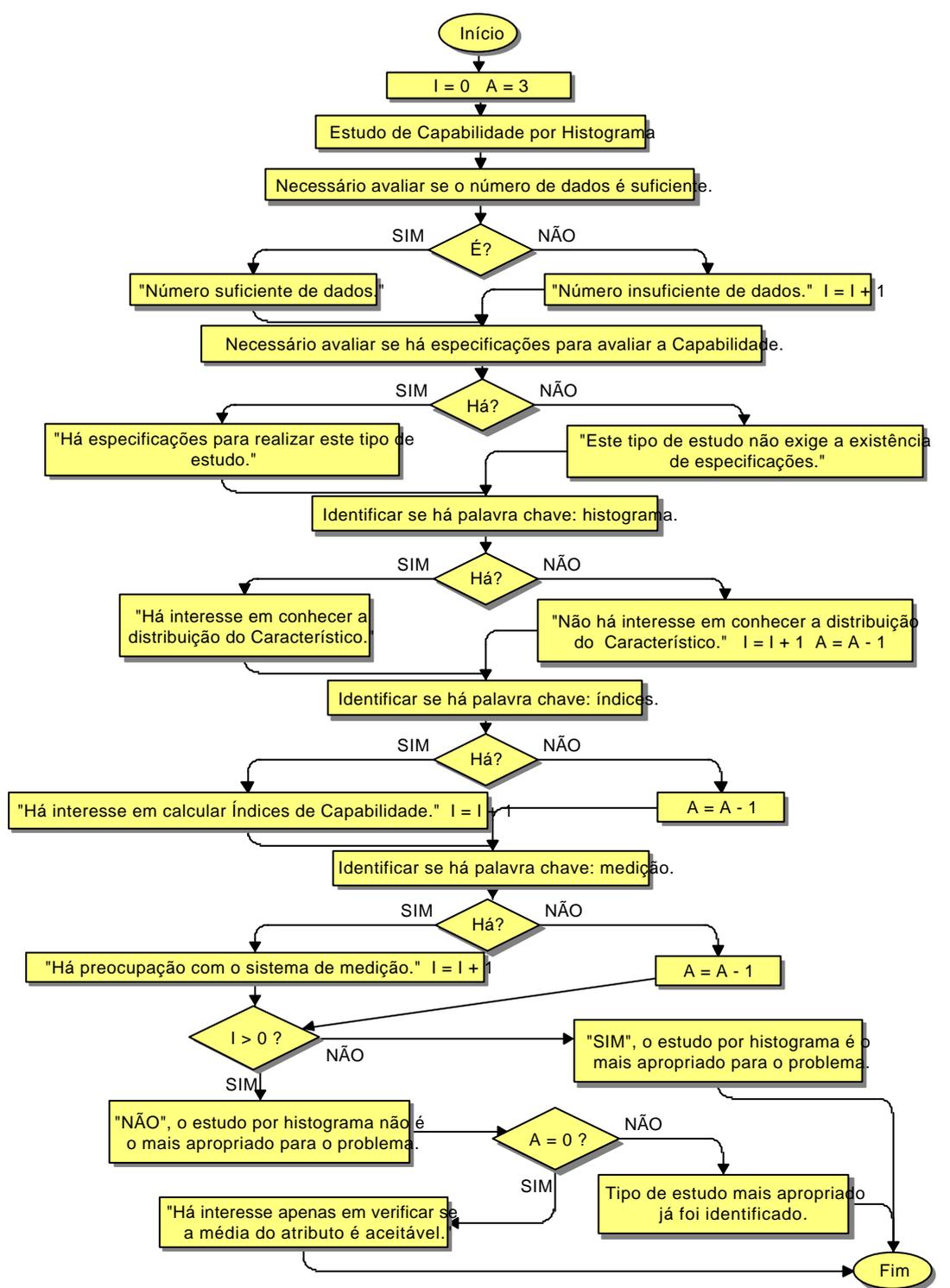
- se por histograma: “Construção de um histograma dos dados.”
- se por Índices: “Cálculo dos Índices de Capabilidade Cp e Cpk.”
- se do sistema de medição: “Realização de um Estudo de Capabilidade do sistema de medição.”

Para responder as duas últimas questões (9 e 10) dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade, o módulo Especialista atua de forma semelhante às Questões 4 e 5 dos problemas de apenas Gráficos de Controle. Nestes últimos o usuário deveria opinar se considerava o(s) Gráfico(s) utilizado(s) adequado(s) ou não. Na próxima seção serão apresentados os procedimentos que o módulo Especialista emprega para avaliar se o Estudo de Capabilidade realizado é o mais apropriado para o problema e por que (as Questões 9 e 10), com base nos resultados dos Gráficos de Controle, e nas informações do problema (mesmas informações que já serviram para auxiliar na resposta da Questão 8).

4.6.3.2 - Especialista para Estudos de Capabilidade em problemas de Gráficos de Controle seguido de Estudos de Capabilidade – Questões 9 e 10.

A Figura 39 mostra como o Especialista responde as Questões 9 e 10 quando o Estudo de Capabilidade é por histograma.

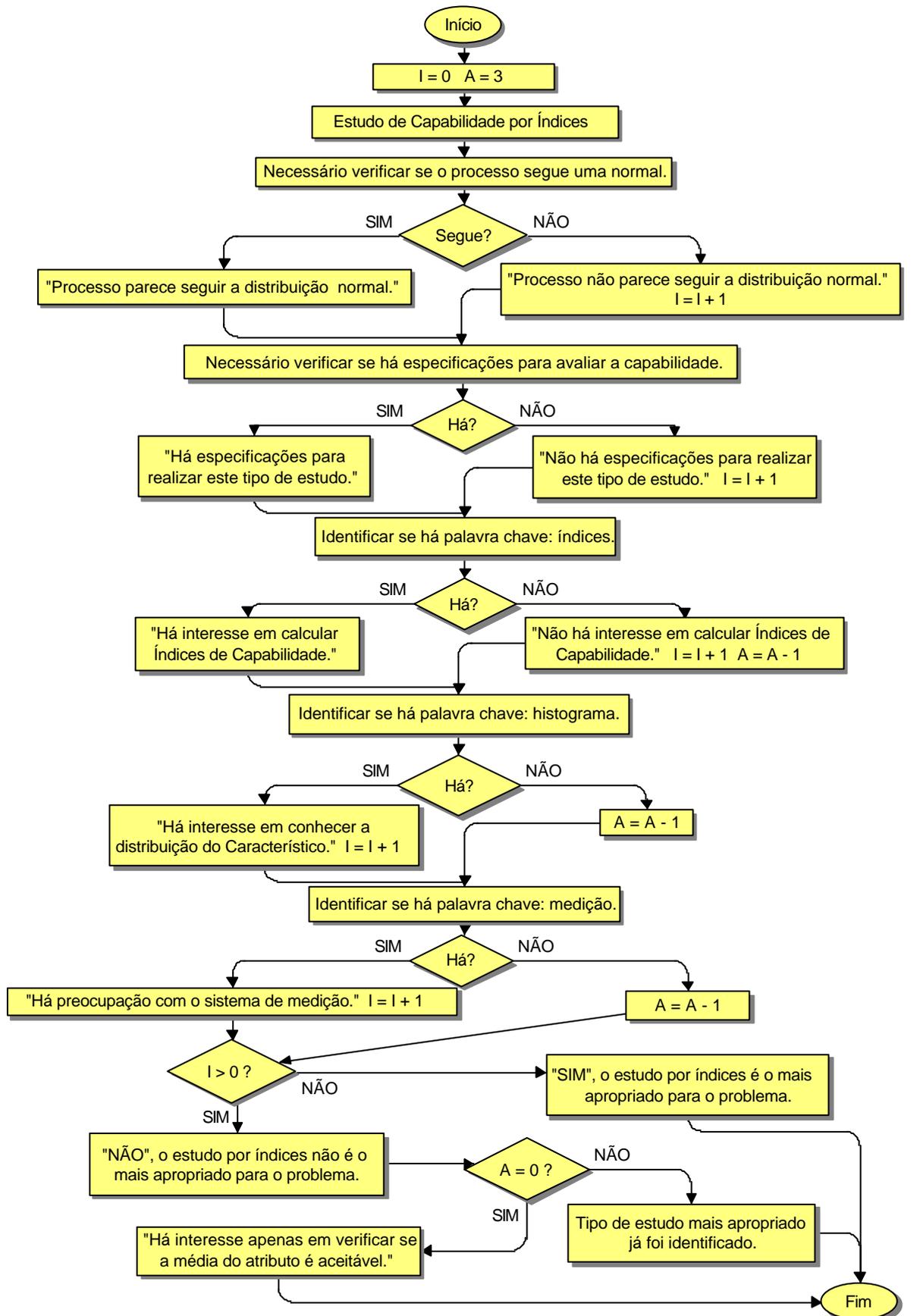
Figura 39 - Respostas do Especialista às Questões 9 e 10 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por histograma



A Figura 40 mostra como o Especialista responde as Questões 9 e 10 quando o Estudo

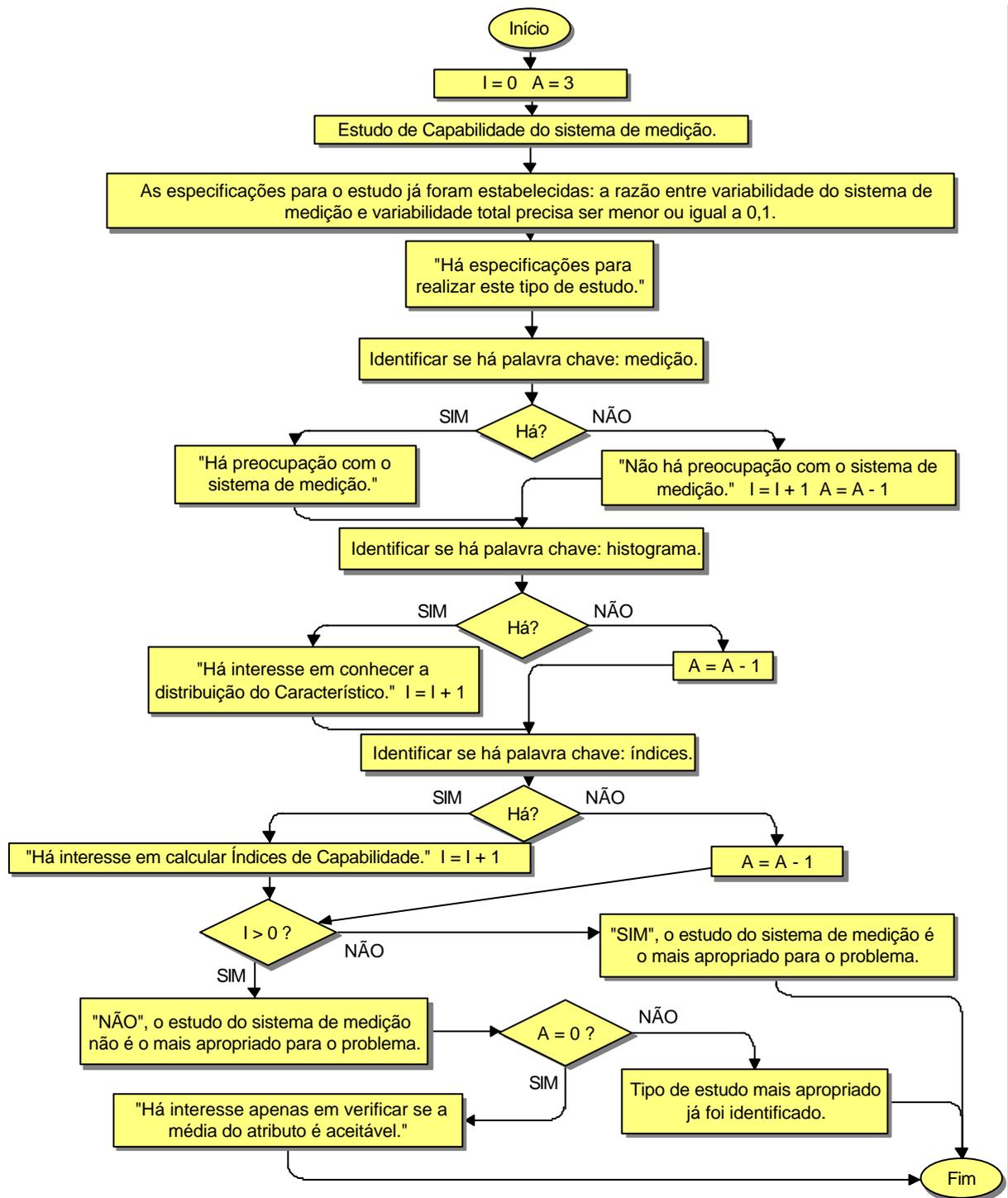
de Capabilidade é por Índices de Capabilidade.

Figura 40 - Respostas do Especialista às Questões 9 e 10 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por Índices



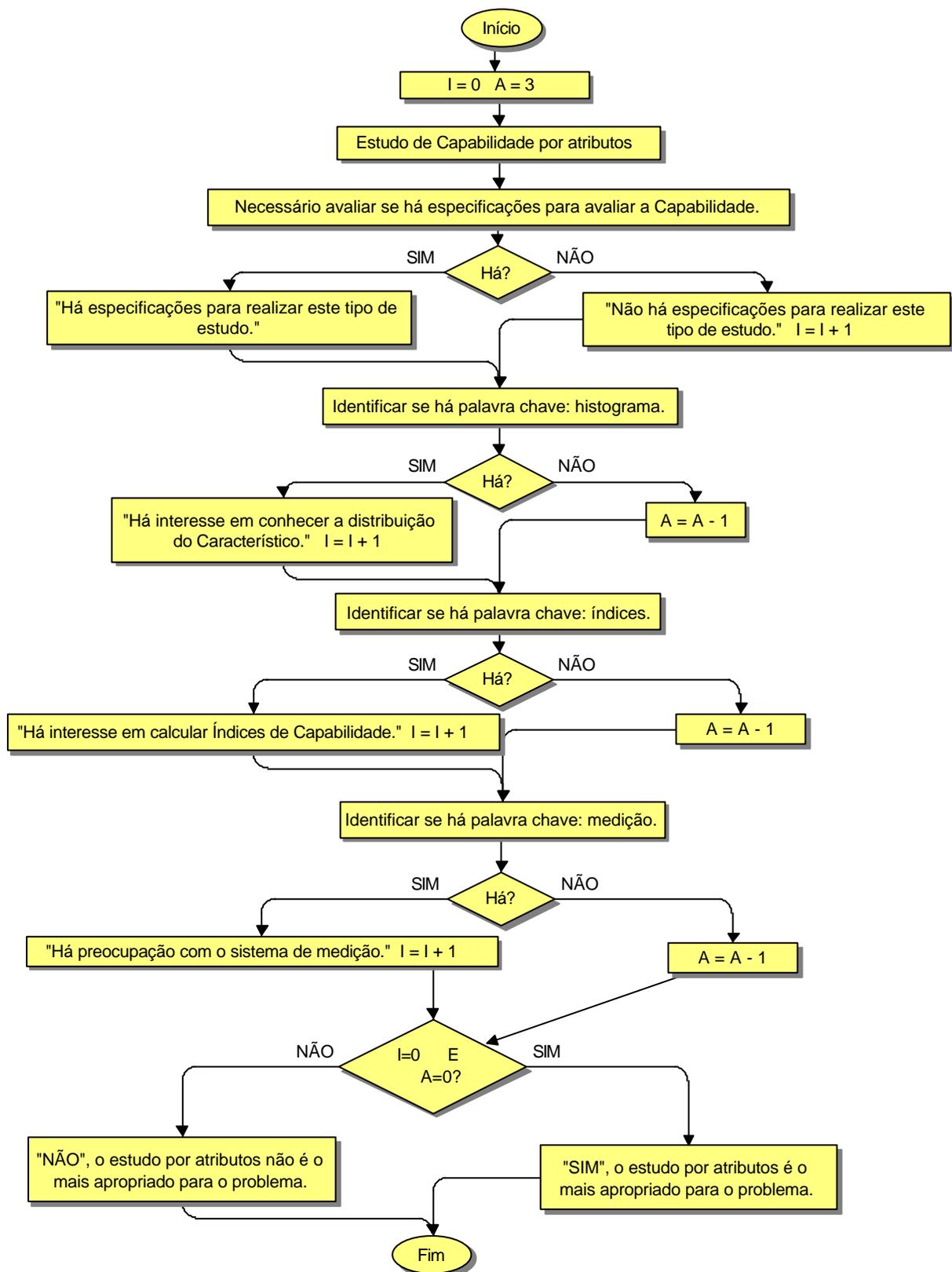
A Figura 41 mostra como o Especialista responde as Questões 9 e 10 quando está sendo avaliada a Capabilidade do sistema de medição.

Figura 41- Respostas do Especialista às Questões 9 e 10 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos do sistema de medição



E finalmente a Figura 42 mostra como o Especialista responde as Questões 9 e 10 quando o Estudo de Capabilidade é por atributos.

Figura 42- Respostas do Especialista às Questões 9 e 10 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos – Estudos por atributos



Com base nas respostas do Especialista o módulo Tutor pode avaliar o desempenho do usuário, e recomendar os tutoriais que devem ser consultados e os problemas que poderiam

ser resolvidos em seguida. O módulo Tutor será detalhado na próxima seção.

4.7 – Módulo Tutor

O módulo Tutor é o responsável pela parte pedagógica do STCEQ. Na terminologia de Sistemas Tutoriais Inteligentes o STCEQ poderia ser classificado como um sistema especialista articulado por sobreposição: o módulo Tutor compara as respostas do módulo Especialista com as do usuário e atua quando há diferenças (Pozo, 1996).

4.7.1 – Características gerais

A atuação do módulo Tutor somente ocorre durante a resolução de problemas, acompanhando as respostas do usuário a cada questão ou grupo de questões: o usuário não pode prosseguir a resolução sem pedir a avaliação de seu desempenho, e tampouco sem corrigir as respostas porventura incorretas. Cada resposta incorreta detectada representa uma redução de 10% no desempenho na questão, e se o usuário chegar a nove repetições o processo é encerrado, e recomenda-se que o usuário reinicie a resolução do problema⁴². A partir do momento que a avaliação é pedida pelo usuário vários algoritmos são executados, para comparar as respostas do usuário e do Especialista. Se não houver *nenhuma* diferença o usuário recebe uma mensagem de parabenização e pode continuar a resolução do problema. Se houver *alguma* diferença, o STCEQ emite uma ou mais mensagens, apropriada(s) à(s) diferença(s) encontrada(s), que se espera, permitirão ao usuário tomar consciência e corrigir seu(s) erro(s).

⁴² Este expediente é adotado para reduzir a possibilidade de obter respostas corretas por meio de tentativa e erro.

Estabeleceu-se uma hierarquia para a emissão das mensagens ao usuário. Primeiramente serão veiculados os alertas sobre os erros mais grosseiros, que muito provavelmente ocorreram por falta de atenção, e portanto seriam facilmente percebidos e corrigidos: por exemplo, o usuário constatou corretamente que um processo está fora de controle estatístico, e recomenda que seja feito um Estudo de Capabilidade em seguida. Posteriormente serão emitidas as respostas sobre os erros mais sutis, que o usuário talvez tivesse uma maior dificuldade de perceber: por exemplo, o usuário identificou corretamente pelos Índices de Capabilidade que o processo não está centrado no valor nominal, mas não recomenda que sejam buscadas as causas de tal comportamento.

Na seção 4.6 foram descritos os vários procedimentos utilizados pelo módulo Especialista para responder as questões dos diferentes tipos de problemas do STCEQ. As questões de diagnóstico são respondidas em pares: se o processo está sob controle (uma única resposta possível) e os motivos para este diagnóstico (múltiplas opções), se o processo é capaz e os motivos; se o tipo de Gráfico de Controle utilizado é adequado para o problema e os motivos; se o tipo de Estudo de Capabilidade realizado é adequado para o problema e os motivos. As questões de recomendação (o que fazer se o processo está sob/fora de controle, que fazer se o processo é ou não capaz) são respondidas “isoladamente”, mas suas respostas dependem das questões de diagnóstico também.

O módulo Tutor irá avaliar as questões da mesma forma que elas foram respondidas no módulo Especialista: as questões de diagnóstico em conjunto, e as questões de recomendação separadamente (mas também levando em conta as respostas nas questões de diagnósticos). Essa abordagem foi escolhida para facilitar o processo de manutenção de ambos os módulos, sabe-se exatamente onde ocorrerão no módulo Tutor os reflexos de uma modificação no módulo Especialista. Nas próximas versões do STCEQ, em que serão

acrescentadas mais técnicas, e portanto expandido o módulo Especialista, isso será extremamente útil.

Outra característica interessante do módulo Tutor é a sua possibilidade de levar em conta respostas incompletas do usuário (apenas nas questões que admitirem múltiplas opções). Esta possibilidade ocorre nas questões de diagnóstico, mais precisamente nas questões que enumeram os motivos para o diagnóstico sobre a estabilidade do processo (processo sob ou fora de controle estatístico), Capabilidade do processo, ou se as técnicas utilizadas (Gráficos ou Estudos de Capabilidade) são adequadas. O usuário não marcou todas as opções marcadas pelo Especialista, mas também não incluiu nenhuma opção incorreta. Nestes casos o seu diagnóstico *poderá* ser considerado aceitável. Mas, a classificação do diagnóstico incompleto como aceitável (acarretando uma redução de apenas 5% no seu desempenho), o que permite que o usuário continue a resolução do problema, dependerá da resposta na questão de diagnóstico associada que apresenta apenas uma opção possível:

- quando o Especialista declara que o processo está sob controle, ou o processo é capaz, ou o tipo de Gráfico de Controle utilizado é adequado, ou o tipo de Estudo de Capabilidade utilizado é adequado, o diagnóstico incompleto do usuário é considerado *inaceitável*, e interpretado como resposta errada.

- quando o Especialista declara que o processo está fora de controle, ou o processo não é capaz, ou nada se pode afirmar sobre a Capabilidade do processo, ou o tipo de Gráfico de Controle utilizado é inadequado, ou o tipo de Estudo de Capabilidade utilizado é inadequado, o diagnóstico incompleto do usuário é considerado *aceitável*, e interpretado como tal (acarretando uma menor redução no desempenho na questão), permitindo que o usuário continue a resolução do problema.

Optou-se por lidar com o diagnóstico incompleto desta forma pelos seguintes motivos:

- para considerar o processo sob controle estatístico é preciso que *nenhum* dos padrões não aleatórios seja identificado, e que o usuário marque *todas* as opções referentes à não existência dos padrões⁴³ (raciocínio análogo pode ser feito para a Capabilidade do processo, e a adequação do tipo de Gráfico e tipo de Estudo de Capabilidade).

- para considerar o processo fora de controle estatístico é preciso que *apenas um* dos padrões não aleatórios seja identificado, qualquer um deles, bastando que o usuário marque pelo menos um dos padrões identificados pelo Especialista (novamente, o raciocínio pode ser estendido para as demais questões de diagnóstico).

De uma maneira geral o módulo Tutor procura não indicar exatamente o que o usuário errou, procurando fazer com que este perceba seu engano e corrija suas respostas.

Tal como no módulo Especialista há diferenças nos procedimentos adotados pelo módulo Tutor para os três tipos de problemas da atual versão do STCEQ, como também para os diferentes tipos de Gráficos de Controle e Estudos de Capabilidade de Processos. As próximas seções irão explicitar tais diferenças.

4.7.2 – Tutor para problemas de apenas Gráficos de Controle

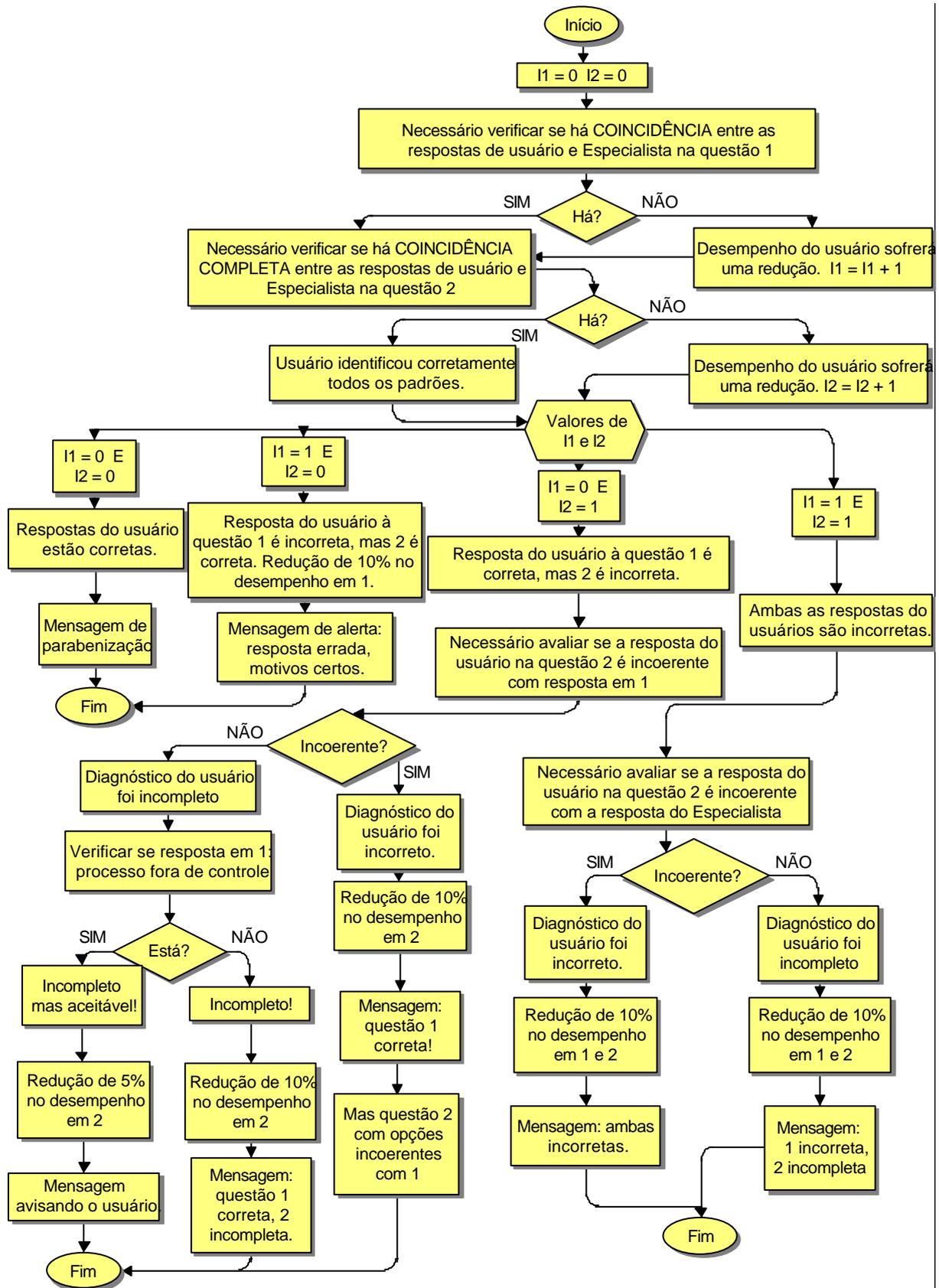
Basicamente o Tutor procura identificar se há diferenças entre as respostas do usuário e do Especialista, e qual a extensão dessas diferenças, para as cinco questões que fazem parte dos problemas de apenas Gráficos de Controle. As questões estão descritas no Quadro 37, e as respostas do Especialista nos Quadros 42 e 43, e nas Figuras 32 e 33.

A Figura 43 apresenta o procedimento do tutor para as Questões 1 e 2 dos problemas de apenas Gráficos de Controle, em que o usuário deve indicar se o processo está sob ou fora

⁴³ Ver quadro 37 para observar as opções de resposta.

de controle (Questão 1) e as razões para tal (Questão 2).

Figura 43 - Tutor para Questões 1 e 2 de problemas de apenas Gráficos de Controle



Na Figura 43 há referência sobre a coerência da resposta do usuário na Questão 2, em

relação à resposta do Especialista. Trata-se de verificar se as opções marcadas pelo usuário são consistentes com as condições do problema e com a resposta do Especialista na Questão 1 (que pode também ter sido a resposta do usuário). Se, por exemplo o processo está sob controle estatístico (conclusão do Especialista), e o usuário não marcou nenhuma opção que indique que está fora de controle, mas não marcou *todas* as que eram necessárias para considerar o processo sob controle: neste caso o diagnóstico do usuário está coerente, mas incompleto. Se, porém, o usuário houvesse marcado alguma opção que indique que o processo está fora de controle seu diagnóstico seria incoerente. O modo como o módulo Tutor lida com o diagnóstico incompleto já foi explicado na seção 4.7.1.

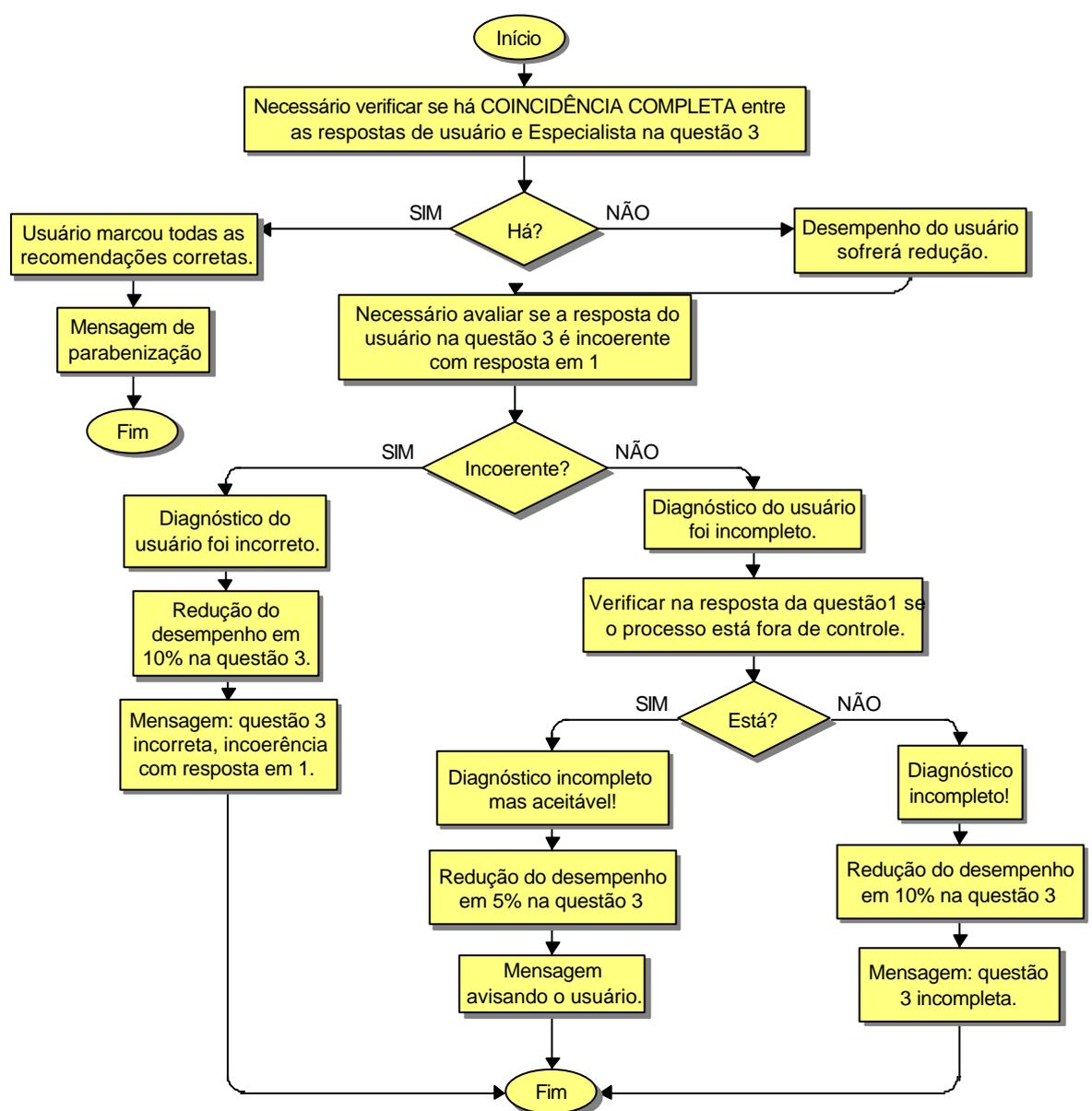
“Mas por que o diagnóstico incompleto e inaceitável causa a mesma redução no desempenho do usuário que o diagnóstico incoerente, teoricamente mais grave”? Porque é importante que o usuário perceba a importância de fazer um diagnóstico correto quando o processo está sob controle estatístico. O diagnóstico incompleto poderia levar o usuário a considerar que o processo é estável quando na realidade não é (em outra situação o padrão “esquecido” poderia ser o único identificável, e o processo seria considerado, erroneamente, sob controle). As conseqüências deste erro de julgamento podem ser muito sérias, o que justifica a “penalidade” imposta.

Obviamente a verificação da coerência das respostas do usuário, citada na Figura 43, dependerá do tipo de Gráfico de Controle utilizado no problema. Quando dois Gráficos são utilizados é preciso avaliar também a seqüência de análise: o de Variabilidade sempre deve ser o primeiro analisado, e se nele houver indicação de que o processo está fora de controle o Especialista sequer irá analisar o Gráfico de tendência central. Espera-se que o usuário também proceda desta maneira. Outro ponto importante é a identificação das regras que são admissíveis para cada tipo de Gráfico de Controle (o Quadro 41, na seção 4.6.1.2 indica quais

regras são apropriadas para cada tipo de Gráfico): o diagnóstico do usuário será considerado incoerente se utilizar uma regra não indicada para o tipo de Gráfico do problema (por exemplo, a regra de identificação de Estratificação para um Gráfico CUSUM).

A Figura 44 apresenta o procedimento do tutor para a Questão 3 dos problemas de apenas Gráficos de Controle, em que o usuário deve recomendar o que fazer em função da resposta na Questão 1 (se o processo está sob ou fora de controle estatístico).

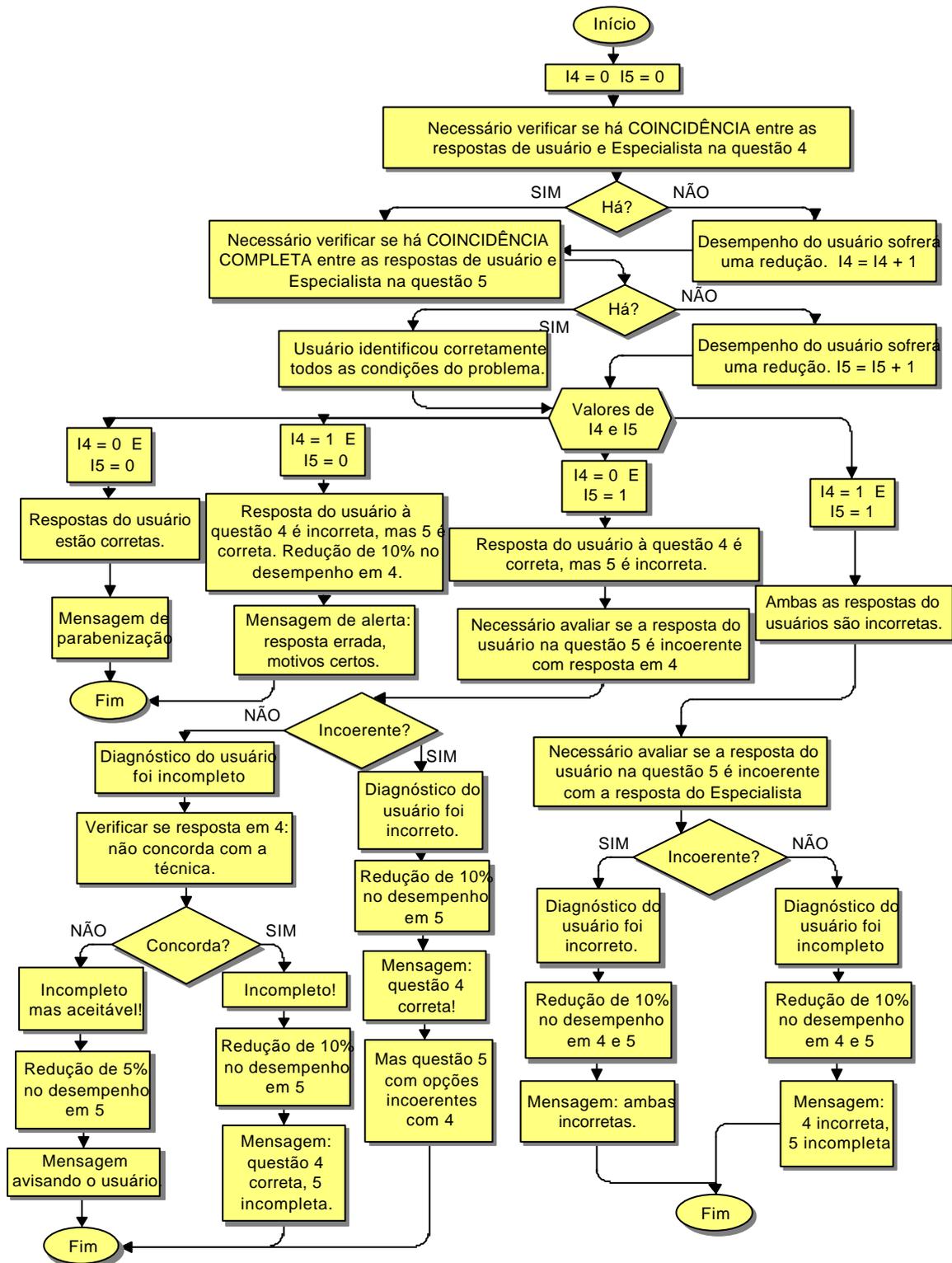
Figura 44- Tutor para Questão 3 de problemas de apenas Gráficos de Controle



O procedimento para a Questão 3, descrito na Figura 44, tem as mesmas diretrizes e justificativas utilizadas para as Questões 1 e 2, com as devidas adaptações.

A Figura 45 apresenta os procedimentos do módulo Tutor para as Questões 4 e 5 dos problemas de apenas Gráficos de Controle, onde o usuário deve dizer se concorda ou não com a técnica (Gráfico) utilizada, e os motivos para tal decisão.

Figura 45- Tutor para Questões 4 e 5 de problemas de apenas Gráficos de Controle



A verificação da coerência das respostas do usuário, no procedimento mostrado na Figura 45, é feita de forma análoga à realizada para as Questões 1 e 2. A diferença reside que agora são avaliadas as condições do problema: se a avaliação deve ser por Variáveis ou por Atributos, se há interesse em detectar grandes ou pequenos desvios no processo, se devem ser usadas medidas individuais ou estatísticas de amostras, se as estatísticas escolhidas são as mais apropriadas. Com base nestas condições o Especialista decide se a técnica (tipo de Gráfico) é adequada ou não para o problema, e o Tutor irá comparar estas respostas com as do usuário, usando um raciocínio análogo ao utilizado para avaliar as Questões 1 e 2, mas agora para a adequação ou não da técnica, ao invés da estabilidade do processo.

O modo como os diagnósticos incompletos do usuário serão tratados também é semelhante: se o usuário marcou *ao menos uma* das opções que levaram o Especialista a concluir que a técnica é inadequada (e não marcou nenhuma incorreta), seu diagnóstico incompleto será considerado aceitável. Se o Especialista concluiu que a técnica é adequada, mesmo que o usuário não tenha marcado nenhuma opção incorreta, mas deixou de marcar *alguma* das corretas, o seu diagnóstico será considerado incompleto e acarretará a mesma redução no seu desempenho que um diagnóstico incorreto. Os motivos para esta decisão são semelhantes aos apontados para as Questões 1 e 2: o usuário deve somente recomendar uma determinada técnica se *todas* as condições do problema assim o indicarem.

A próxima seção irá apresentar os procedimentos do módulo Tutor para os problemas de apenas Estudos de Capabilidade. A estrutura é semelhante à utilizada para os problemas de apenas Gráficos de Controle, naturalmente sofrendo algumas modificações e acréscimos.

4.7.3 – Tutor para problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos

As questões dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade foram descritas no Quadro 38, e as respostas do Especialista estão no Quadro 44 (Questões 1 a 9, quando o processo está fora de controle estatístico), Figura 34 e Quadro 45 (Questões 1 a 3, Estudos por histograma, processo sob controle estatístico), Figura 35 e Quadro 46 (Questões 4 a 6, Estudos por Índices de Capabilidade, processo sob controle estatístico), e Figuras 36 e 37 (Questões 7 a 9, Estudos de Capabilidade do sistema de medição, processo sob controle estatístico).

A abordagem do módulo Tutor para avaliar as Questões 1 e 2, 4 e 5, 7 e 8 dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade será semelhante à utilizada para as Questões 1 e 2 dos problemas de apenas Gráficos de Controle. As diferenças residem nos seguintes aspectos:

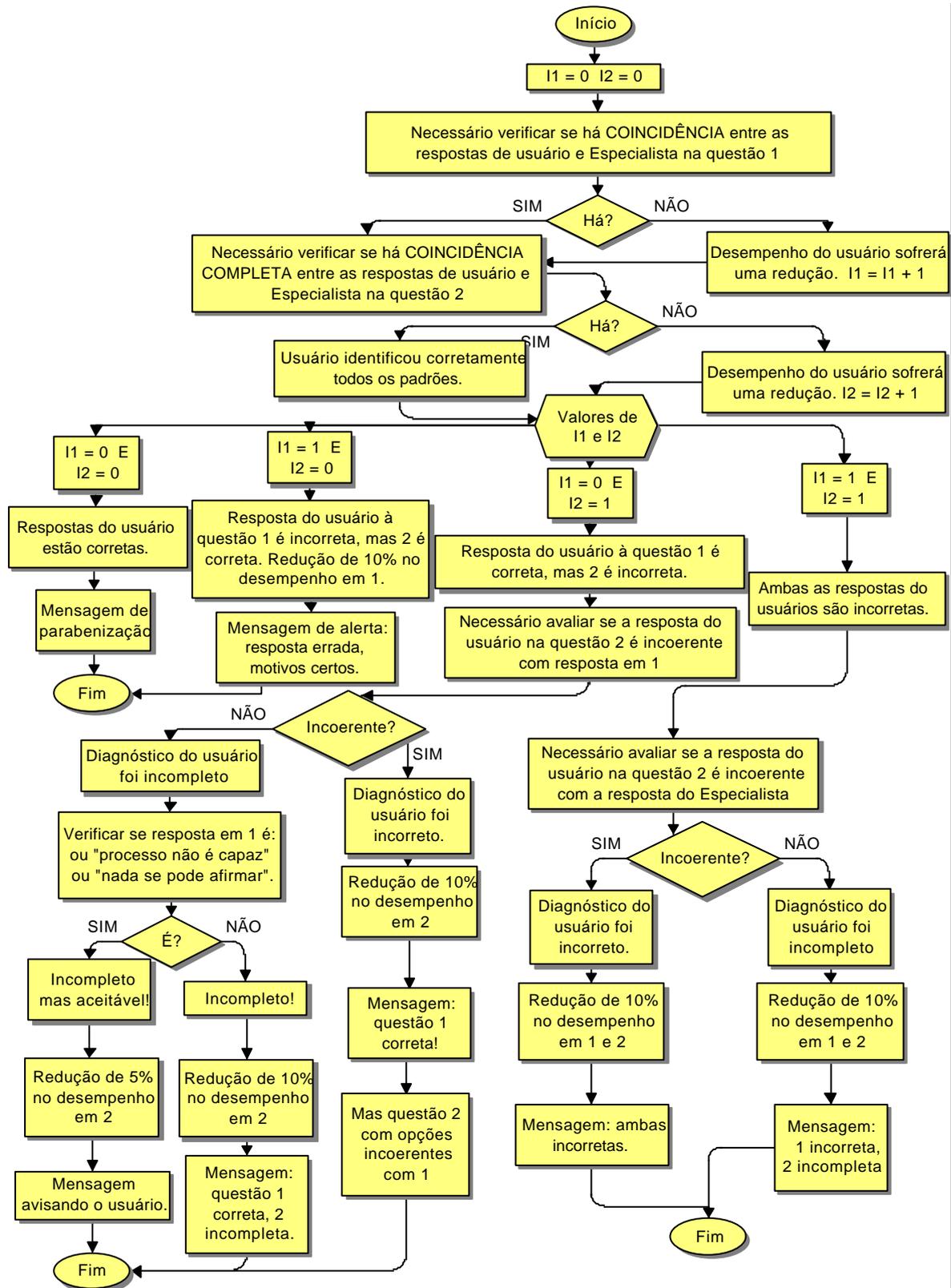
- há mais uma opção de resposta, além de o “processo é capaz” (que equivale à opção “processo sob controle estatístico” em apenas Gráficos de Controle), e o “processo não é capaz” (que equivale à opção “processo fora de controle estatístico” em apenas Gráficos de Controle), que declara que “nada se pode afirmar sobre a capacidade do processo” (devido ao processo estar fora de controle, quantidade insuficiente de dados, inexistência de especificações).
- necessidade de alertar o usuário quando este marcar opções não apropriadas para o tipo de Estudo abordado na questão, que serão consideradas incoerentes (por exemplo, marcar a opção Índices de Capabilidade abaixo do especificado quando o Estudo é por histograma, Questão 2).

A existência de diagnóstico incompleto mas aceitável continua, sendo possível tanto para a resposta “processo não é capaz” quanto para “nada se pode afirmar sobre a capacidade do

processo.”

A Figura 46 apresenta os procedimentos do tutor para as Questões 1 e 2 dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade (que podem ser estendidos para as Questões 4 e 5, 7 e 8).

Figura 46 - Tutor para Questões 1 e 2 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade



A abordagem do módulo Tutor para as Questões 3, 6 e 9 dos problemas de apenas Estudos de Capabilidade será semelhante à utilizada para a Questão 3 dos problemas de apenas Gráficos de Controle, com algumas modificações. As diferenças residem nos seguintes aspectos:

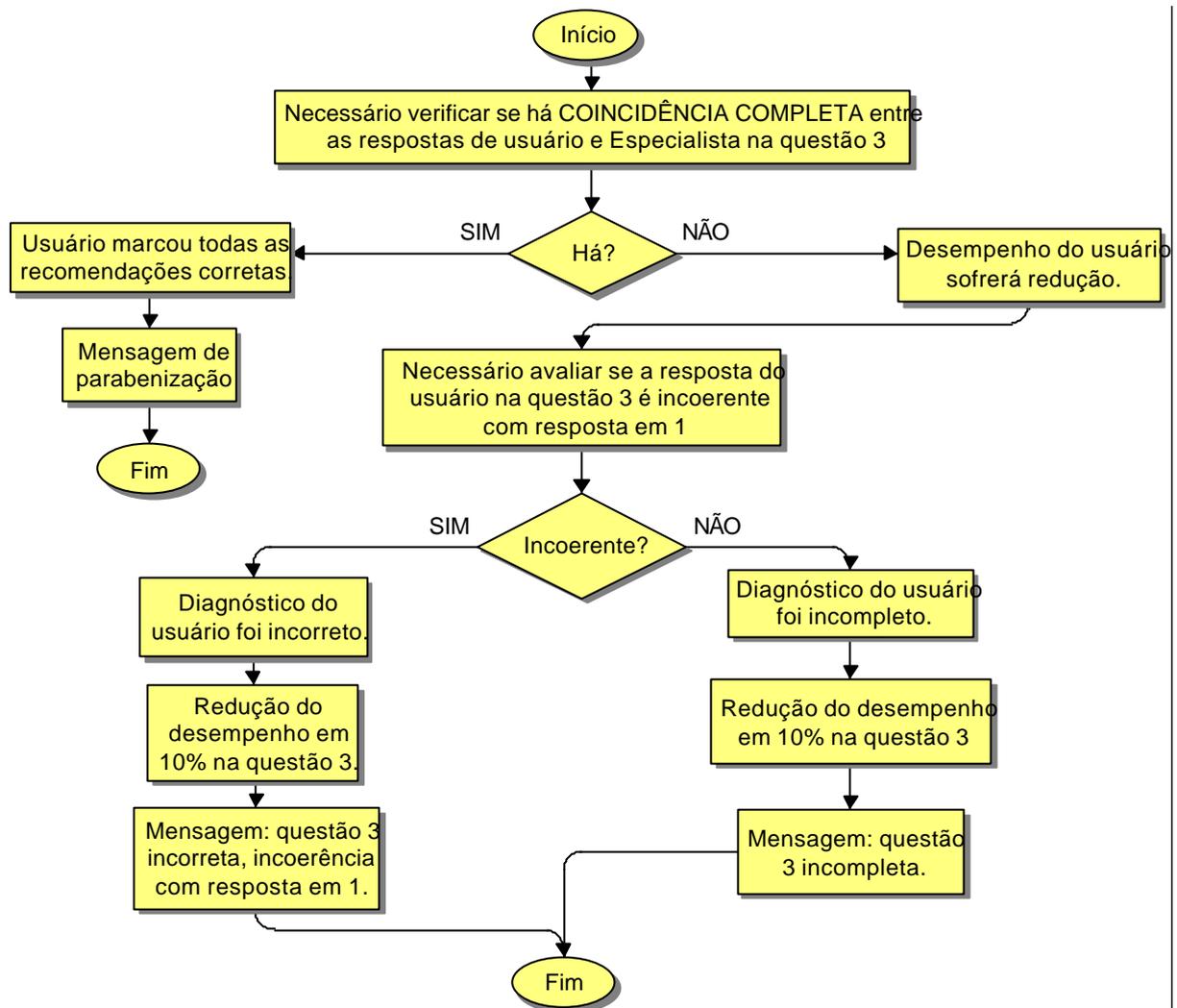
- a existência de uma terceira opção de resposta para as Questões 1, 4 e 7, irá obviamente afetar as recomendações possíveis.
- a já citada necessidade de alertar o usuário sobre opções não apropriadas para o tipo de Estudo abordado nas duas questões imediatamente anteriores (as Questões 1 e 2 são sobre um Estudo por histograma, 4 e 5 sobre um Estudo por Índices de Capabilidade, 7 e 8 sobre um Estudo do sistema de medição).
- a impossibilidade de considerar um diagnóstico incompleto do usuário como aceitável.

As recomendações possíveis após a avaliação da Capabilidade do processo são de caráter substancialmente diferente daquelas possíveis após a avaliação da estabilidade do processo (por meio de Gráficos de Controle). Quando o processo é considerado sob controle estatístico não causa nenhum problema sério se for recomendado apenas que se faça um Estudo de Capabilidade, sem sugerir que os limites de controle sejam mantidos como referência, por exemplo. Mas, se ao realizar um Estudo da Capabilidade de um processo por histograma, e “nada se puder afirmar” sobre a Capabilidade porque não há especificações e a quantidade de dados for insuficiente: nas recomendações o usuário sugere apenas que se obtenham as especificações, mas esquece de mencionar a necessidade de mais dados, o próximo Estudo de Capabilidade continuará sendo tão inconclusivo quanto o anterior. Sendo assim, resolveu-se eliminar a possibilidade de o Tutor considerar aceitável um diagnóstico incompleto do usuário, independente da situação da Capabilidade do processo.

A Figura 47 apresenta os procedimentos do tutor para a Questão 3 dos problemas de

apenas Estudos de Capabilidade (que podem ser estendidos para as Questões 6 e 9).

Figura 47 - Tutor para a Questão 3 de problemas de apenas Estudos de Capabilidade



As mensagens de diagnóstico incorreto que serão apresentadas ao usuário naturalmente irão variar de acordo com o erro cometido: opções não apropriadas para o tipo de estudo da questão, ou opções incoerentes com as condições do problema (estabilidade do processo, Capabilidade do processo, existência de especificações entre outras).

Nos problemas de apenas Estudos de Capabilidade de Processos o usuário não precisa opinar sobre a adequação dos Estudos realizados. Nos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade isso ocorrerá. A próxima seção irá explicitar como o módulo Tutor lida com tais problemas.

4.7.4 –Tutor para problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos

Os problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos são uma conjunção dos dois tipos anteriores. Quando da descrição do módulo Especialista para este tipo de problema mostrou-se que vários dos procedimentos utilizados nos outros tipos de problemas continuavam válidos. Isso também pode ser feito com os procedimentos do módulo Tutor.

As cinco primeiras questões dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade de Processos (1 a 5) são exatamente iguais às de apenas Gráficos de Controle. Da mesma forma que os procedimentos do módulo Especialista eram reaproveitados sem modificações, também os procedimentos do módulo Tutor para aquelas questões de apenas Gráficos de Controle (descritos na seção 4.7.2, Figuras 43, 44 e 45) serão utilizados novamente, sem modificação.

As três questões seguintes (6 a 8) têm enunciado e opções de resposta exatamente iguais aos grupos de três questões (1,2,3 – 4,5,6 – 7,8,9) de apenas Estudos de Capabilidade. A diferença reside no fato que apenas um tipo de Estudo de Capabilidade é realizado. É possível utilizar os procedimentos do módulo Tutor para apenas Estudos de Capabilidade (descritos na seção 4.7.3, Figuras 46 e 47), considerando mais um elemento na avaliação da coerência das respostas do usuário: justamente o tipo de Estudo de Capabilidade realizado. As respostas do Especialista para as Questões 6 a 8, de acordo com o tipo de estudo, estão descritas no Quadro 48 e Figura 38 (Questões 6 e 7), e Quadros 49 a 52 (Questão 8), e serão usadas como base para o Tutor avaliar a coerência das respostas do usuário. Assim sendo, os procedimentos do módulo Tutor para as Questões 6 e 7 de problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade serão aqueles descritos na Figura 46 (apenas trocando 1

por 6, e 2 por 7), levando-se em conta o tipo de Estudo de Capabilidade na verificação da coerência das respostas do usuário. De forma análoga, os procedimentos do Tutor para a Questão 8 serão aqueles descritos na Figura 47 (apenas trocando 3 por 8), também considerando o tipo de Estudo de Capabilidade na avaliação da coerência.

Somente as Questões 9 e 10 são exclusivas dos problemas de Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade. Nelas o usuário deve opinar sobre a adequação do tipo de Estudo de Capabilidade aplicado no problema. A essência dessas questões é bastante similar à das Questões 4 e 5 dos problemas de apenas Gráficos de Controle, em que o usuário opinava sobre o(s) Gráfico(s) de Controle utilizado(s), justificando que o módulo Tutor use procedimentos semelhantes para aquelas questões (descritos na seção 4.7.2, Figura 45, trocando 4 por 9, e 5 por 10). O modo como o Especialista responde tais questões, de acordo com o tipo de Estudo de Capabilidade usado, foi descrito nas Figuras 39, 40, 41 e 42, e será utilizado para verificar a coerência das respostas do usuário.

Assim que o usuário tiver terminado de resolver o problema, e suas respostas tenham sido consideradas aceitáveis, o módulo Tutor apresenta alguns relatórios sobre o desempenho do usuário e faz algumas recomendações. Este é o tema da próxima seção.

4.7.5 – Relatórios e recomendações do módulo Tutor

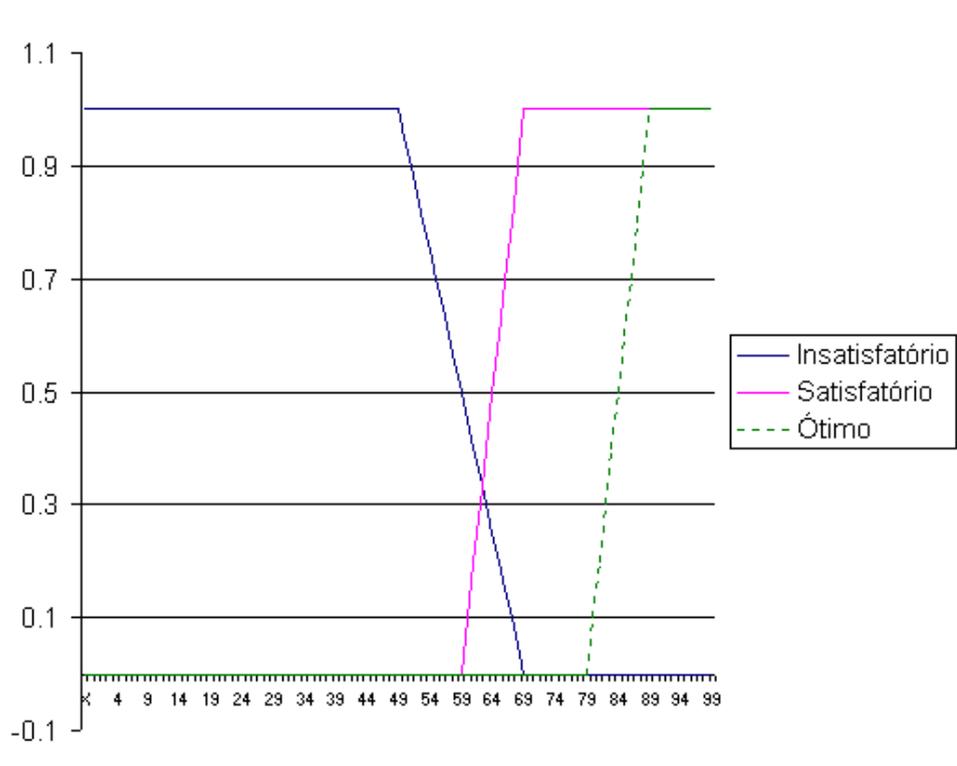
Uma vez terminada a resolução do problema (de qualquer tipo) pelo usuário o módulo Tutor inicia o processo de avaliação global do desempenho do usuário. O objetivo é reunir elementos para definir o que deve ser recomendado para fazer em seguida.

As reduções no desempenho do usuário em cada questão já foram calculadas. O Tutor agora obtém a média final do usuário no problema: as questões com apenas uma opção de

resposta têm peso 1, e as com múltiplas opções têm peso 2,5. Esta diferença justifica-se porque nas questões com múltiplas opções a probabilidade do usuário realmente ter refletido para responder (com base nos resultados e condições do problema) é substancialmente maior do que nas de resposta única, onde a possibilidade de uma resposta correta “por acaso” é bem maior.

Com base na média do usuário no problema o seu desempenho poderá ser classificado como “Ótimo”, “Satisfatório” ou “Insatisfatório”. Foi desenvolvido um classificador difuso bastante simples para rotular o desempenho do usuário, cujos conjuntos são mostrados na Figura 48.

Figura 48 - Classificação do desempenho do usuário em um problema



Os graus de pertinência do desempenho do usuário a cada conjunto são calculados: comparam-se os valores, o maior definirá como o desempenho será classificado. Se por exemplo o desempenho do usuário for igual a 50 apresentará pertinência 1 ao conjunto “Insatisfatório” e zero aos demais: o desempenho do usuário naquele problema será classificado como “Insatisfatório”. Quando houver empates duas opções ocorrerão: se o

empate foi entre “Insatisfatório” e “Satisfatório”, classifica-se como “Insatisfatório”, e entre “Satisfatório” e “Ótimo” classifica-se como “Ótimo”.

Adotou-se esta classificação com apenas três conjuntos, e com os limites mostrados na Figura 48 porque um desempenho de 70 (70% de acerto⁴⁴) é o mínimo aceitável para ser considerado satisfatório, abaixo disso o usuário teve muitas dificuldades na resolução do problema. Optou-se por utilizar conjuntos difusos na classificação para evitar as mudanças abruptas, e muitas vezes injustas, de uma categoria para outra.

De acordo com a classificação do desempenho do usuário o Tutor irá recomendar ou não que os tutoriais associados ao problema sejam consultados. O Quadro 53 indica quais tutoriais.

Quadro 53 - Tutoriais recomendados de acordo com o desempenho do usuário no problema

Desempenho do usuário	Tutoriais recomendados
Ótimo	Nenhum, o usuário teve um bom desempenho, não precisa consultar tutoriais para o problema recém resolvido.
Satisfatório	Apenas os tutoriais ditos complexos, associados ao problema recém resolvido (ver Quadro 31, seção 4.4). O desempenho do usuário foi razoável, mas poderia ser melhor, talvez a consulta dos tutoriais complexos associados ao problema possa ajudar nos outros problemas semelhantes.
Insatisfatório	Todos os tutoriais (simples e complexos) associados ao problema recém resolvido. O desempenho do usuário deixou a desejar, a consulta de todos os tutoriais associados poderá ajudar a melhorar o desempenho nos próximos problemas.

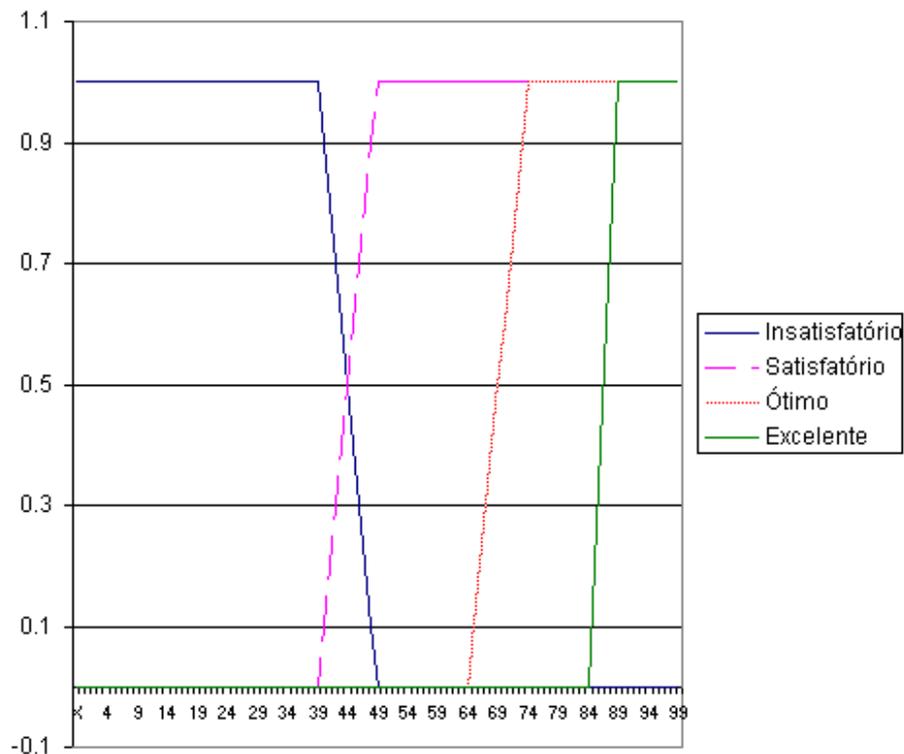
Os tutoriais recomendados são apresentados pelo STCEQ em uma tela específica (maiores detalhes na seção 4.8). O usuário pode consultá-los exatamente na ordem que estão listados, ou na seqüência que lhe aprouver, ou ainda pode decidir ignorar as recomendações, consultando outros tutoriais ou mesmo nenhum.

⁴⁴ Este valor mínimo de média é usado em muitas instituições de ensino.

Uma vez que o usuário tenha consultado todos os tutoriais recomendados, ou ignorado as recomendações, o módulo Tutor apresenta um relatório com o desempenho do usuário (a média de todos os problemas já resolvidos) em cada tipo de problema (apenas Gráficos de Controle, apenas Estudos de Capabilidade e Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade). Este relatório também indica quantos problemas de cada tipo foram resolvidos. O objetivo é proporcionar ao usuário um panorama da sua situação, para orientar o seu planejamento nas futuras interações.

Da mesma forma que para cada problema foi desenvolvido um classificador difuso para os valores médios de desempenho nos tipos de problemas, que podem ser classificadas de “Excelente”, “Ótimo”, “Satisfatório” e “Insatisfatório”. Os conjuntos são mostrados na Figura 49.

Figura 49 - Classificação do desempenho do usuário por tipo de problemas.



O procedimento utilizado para rotular o desempenho por tipo de problemas, mas agora há quatro ao invés de três rótulos (conjuntos). O mecanismo de solução de empates entre os

graus de pertinência é análogo ao utilizado anteriormente.

“Por que quatro rótulos para o conjunto de problemas”? O quarto rótulo, “Excelente” foi criado com o objetivo de estimular o usuário a continuar procurando obter bons resultados, e premiar a consistência do seu desempenho: conseguiu manter um alto desempenho em vários problemas.

A parte final do relatório apresenta os próximos problemas disponíveis de cada tipo, para que o usuário escolha um para resolver em seguida. Da mesma forma que os tutoriais recomendados, o usuário pode decidir retornar ao conjunto de problemas e escolher um outro qualquer, ou mesmo terminar a interação com o STCEQ.

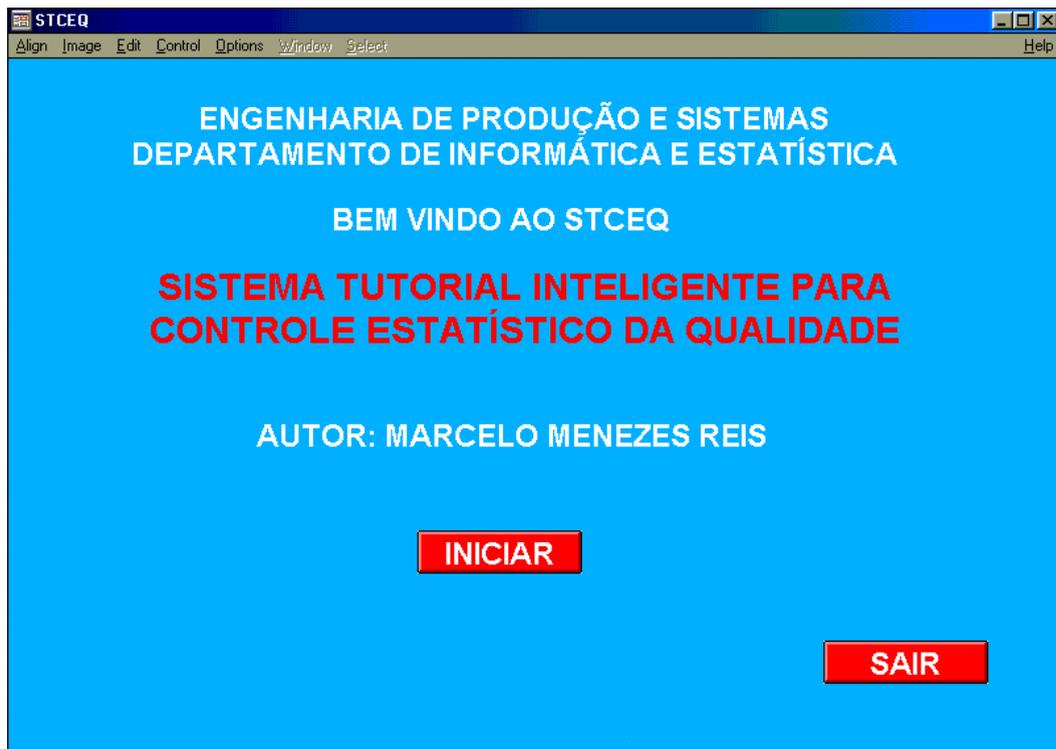
Nas próximas versões do STCEQ os relatórios e recomendações serão estendidos, pois serão incluídos outros tipos de problemas. Além disso o próprio cálculo do desempenho do usuário em cada problema poderá ser feito através de um classificador difuso mais sofisticado, que leve em conta os diferentes tipos de erro cometidos pelo usuário nas diferentes questões dos problemas.

A próxima seção apresentará os exemplos dos dois tipos básicos de interação entre usuário e STCEQ: “Consulta Livre de Tutoriais” ou “Resolução de Problemas de CEQ”. Muitas das informações que serão apresentadas foram citadas de forma esparsa nas seções anteriores deste Capítulo.

4.8 – Exemplos de Interação

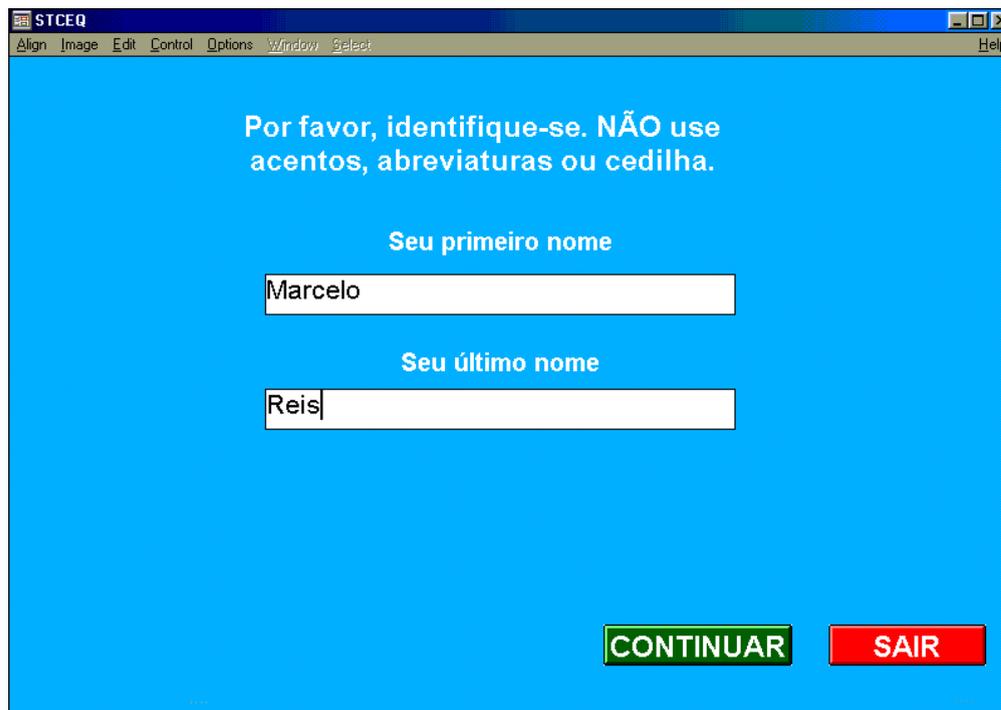
A interação inicia quando o usuário acessa o sistema. Surge então a tela mostrada na Figura 50.

Figura 50 - Tela inicial do STCEQ



Esta tela apresenta o STCEQ. Se o usuário desejar realmente iniciar a interação deve pressionar o botão “INICIAR”, caso contrário pode deixar o sistema pressionando o botão “SAIR”.

Se o usuário decide iniciar a interação uma função é executada para “limpar” todas as instâncias temporárias relacionadas com outros usuários, que acessaram previamente o sistema. Isto permitirá que a tela que pede a identificação do usuário seja apresentada, a qual é mostrada na Figura 51.

Figura 51 - Tela de identificação do usuário do STCEQ

STCEQ

Align Image Edit Control Options Window Select Help

Por favor, identifique-se. NÃO use acentos, abreviaturas ou cedilha.

Seu primeiro nome

Marcelo

Seu último nome

Reis

CONTINUAR SAIR

Na tela mostrada na Figura 51 o usuário precisa informar seu primeiro e último nomes, sem acentos ou outros caracteres especiais. Isso precisa ser feito porque a existência de tais caracteres, que não existem em inglês, pode causar problemas de processamento no Kappa-PC® (escrito em inglês). Assim que os nomes forem preenchidos o usuário pode continuar a interação (pressionando “CONTINUAR”) ou deixar o sistema (pressionando “SAIR”).

Se o usuário decide continuar, seus dois nomes são concatenados, e o STCEQ busca uma instância do módulo Aprendiz (que armazena as informações de todos os usuários que interagiram com o sistema anteriormente) que tenha *exatamente* a mesma identificação. Se nenhuma for encontrada, trata-se de um novo usuário, ou de alguém que está acessando com um nome diferente, uma nova instância é criada e uma mensagem de boas vindas é apresentada.

Se houver uma instância cujo nome coincide exatamente com os nomes concatenados, o usuário acessou previamente o sistema, e suas atividades prévias são então compiladas pelo módulo Aprendiz. Todos os tutoriais consultados previamente pelo usuário são listados, sejam os que o foram de forma livre (como em uma enciclopédia digital) ou de acordo com a recomendação do módulo Tutor após a resolução de algum problema. Todos os problemas previamente resolvidos pelo usuário também são listados, e seu desempenho médio em cada tipo de problema é apresentada, possibilitando uma análise completa de suas atividades anteriores, e um planejamento mais criterioso da interação em curso.

Todas as informações sobre as atividades prévias do usuário são apresentadas em uma tela específica, mostrada na Figura 52.

Figura 52 - Tela com a trajetória prévia de um usuário no STCEQ

Tutoriais consultados de forma livre

Título e descrição
Tutorial:2 Terminologia da Qualidade Apresenta as definições para a nomenclatura usada.
Tutorial:7 O que é ISO9000? Apresenta os principais aspectos e objetivos da série de certificados ISO9000 e ISO14000.
Tutorial:8 Benchmarking e QFD Apresenta os conceitos de Benchmarking e Desdobramento da Função da Qualidade (QFD).

Tutoriais consultados dentro de problemas

Título e descrição
Nenhum Tutorial Consultado

Problemas resolvidos

Número, tipo de problema
Problema:1 Tipo de Problema: Apenas Gráficos de Controle Fábrica de parafusos
Problema:2 Tipo de Problema: Apenas Gráficos de Controle Fábrica de chips eletrônicos
Problema:3 Tipo de Problema: Apenas Gráficos de Controle Abate de frangos em uma grande unidade de um grupo agroindustrial catarinense.
Problema:8 Tipo de Problema: Apenas Gráficos de Controle

Desempenho nos problemas

Apenas Gráficos	85.32
Gráficos e Capabilidade	90.00
Apenas Capabilidade	0.00

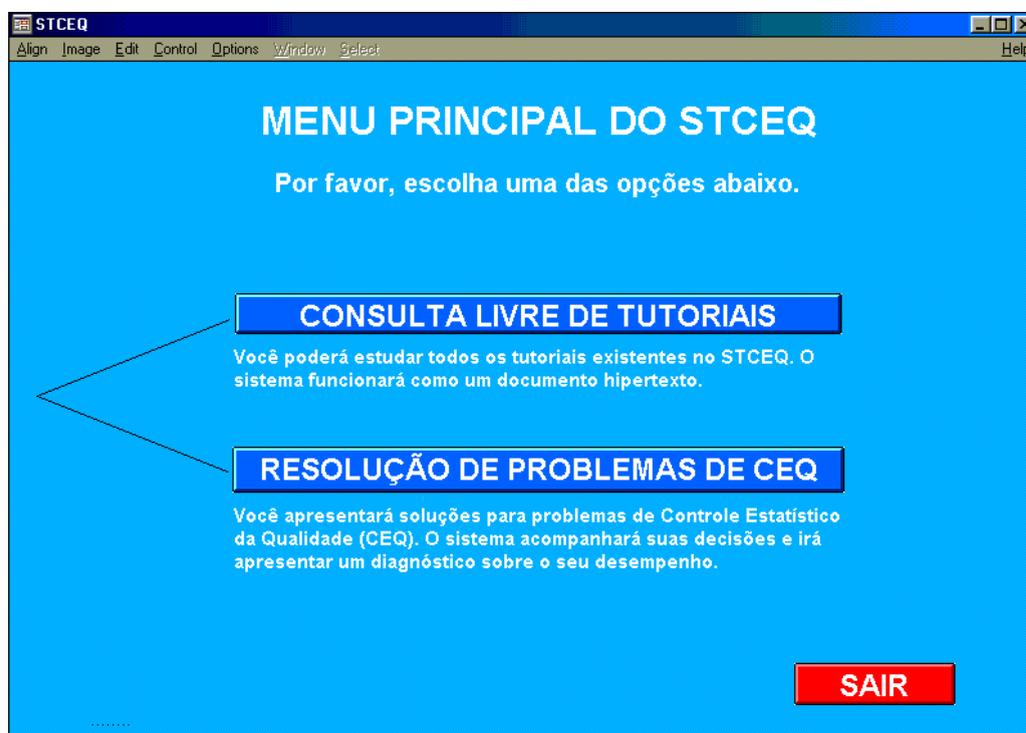
CONTINUAR **SAIR**

No canto superior esquerdo da tela mostrada na Figura 52 encontram-se os tutoriais consultados de forma livre (seus títulos e breve descrição). Os tutoriais que foram consultados

pelo usuário após recomendação do módulo Tutor (dentro de problemas), estão listados no canto inferior esquerdo da Figura 52 (no caso mostrado, o usuário não consultou nenhum). No lado direito da tela encontram-se as informações sobre os problemas resolvidos anteriormente pelo usuário: os problemas resolvidos (seu número, tipo e breve descrição), e o desempenho do usuário em cada um dos três tipos de problema (desempenho 0.0 nos problemas de apenas Capabilidade justifica-se porque nenhum deste tipo foi resolvido pelo usuário). Novamente o usuário pode continuar a interação (pressionando “CONTINUAR”) ou deixar o sistema (pressionando “SAIR”).

Se o usuário decide continuar, a tela descrita na Figura 53 será apresentada. O usuário precisará escolher como irá conduzir a interação: como uma consulta livre de tutoriais, ou como uma resolução de problemas de CEQ, pressionando o respectivo botão na tela mostrada na Figura 53.

Figura 53 - Menu principal do STCEQ



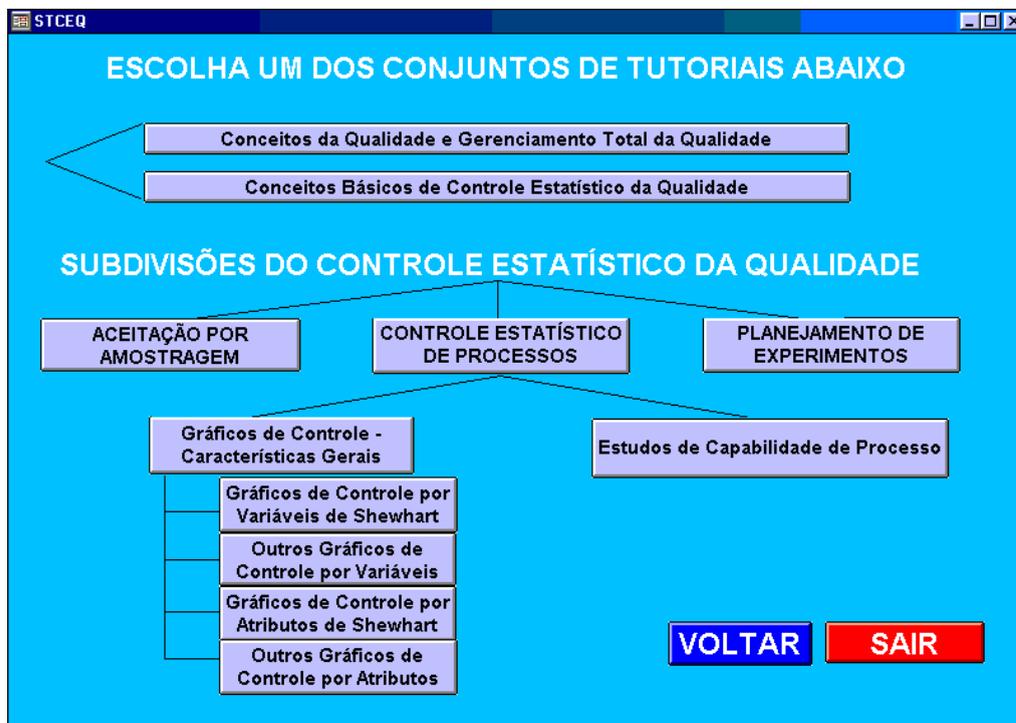
As duas próximas seções irão exemplificar os dois tipos de interação.

4.8.1 – Consulta livre de tutoriais

Supondo que o usuário resolveu consultar livremente tutoriais.

A descrição de todas as etapas de uma consulta livre de tutoriais, com as ações de cada módulo do STCEQ, foi feita na seção 4.2.2.1. Ao pressionar o botão ‘CONSULTA LIVRE DE TUTORIAIS’ na tela mostrada na Figura 53 o usuário fará com que o STCEQ apresente uma tela com o conjunto de tutoriais existentes no sistema, tal como mostrado na Figura 54.

Figura 54 - Tela com o conjunto de tutoriais do STCEQ

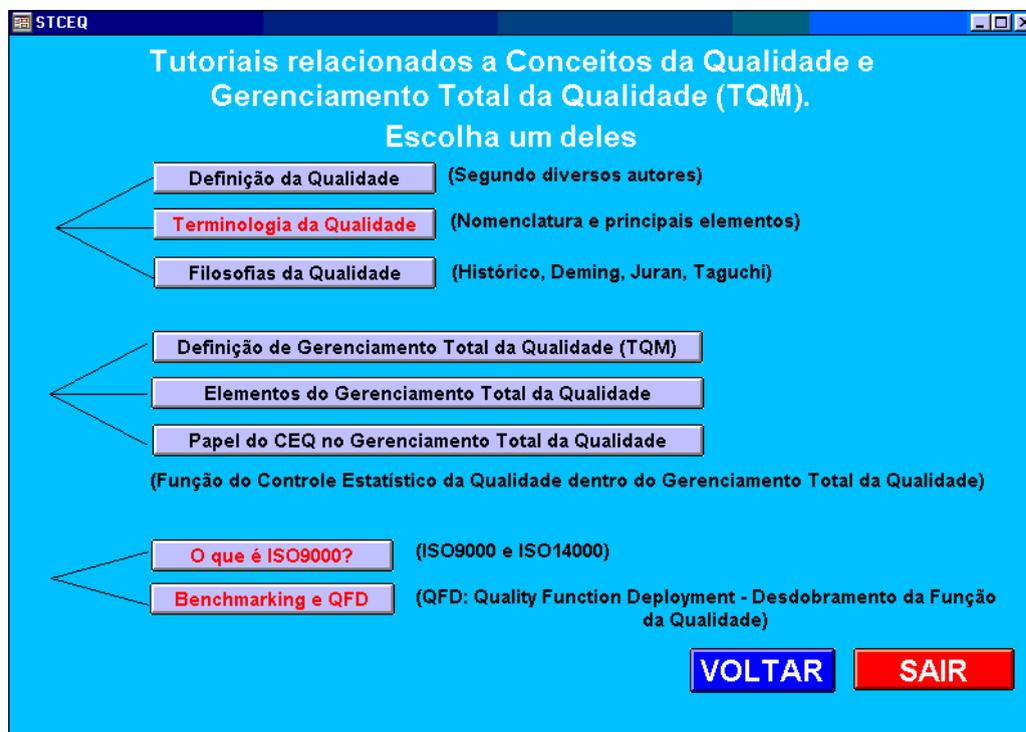


Cada botão existente na tela da Figura 54 leva a um conjunto de tutoriais específicos, uma das onze áreas em que estão agrupados os tutoriais previstos para o STCEQ, tal como foi descrito na seção 4.3. O usuário também pode retornar ao menu principal do STCEQ (pressionando “VOLTAR”), ou mesmo sair do sistema (pressionando “SAIR”).

Supondo que o usuário tenha pressionado o botão “Conceitos da Qualidade e

Gerenciamento Total da Qualidade”, na tela mostrada na Figura 54. O STCEQ apresenta então a tela com todos os tutoriais desta área, tal como na Figura 55.

Figura 55 - Tela com os tutoriais sobre Conceitos da Qualidade e Gerenciamento Total da Qualidade



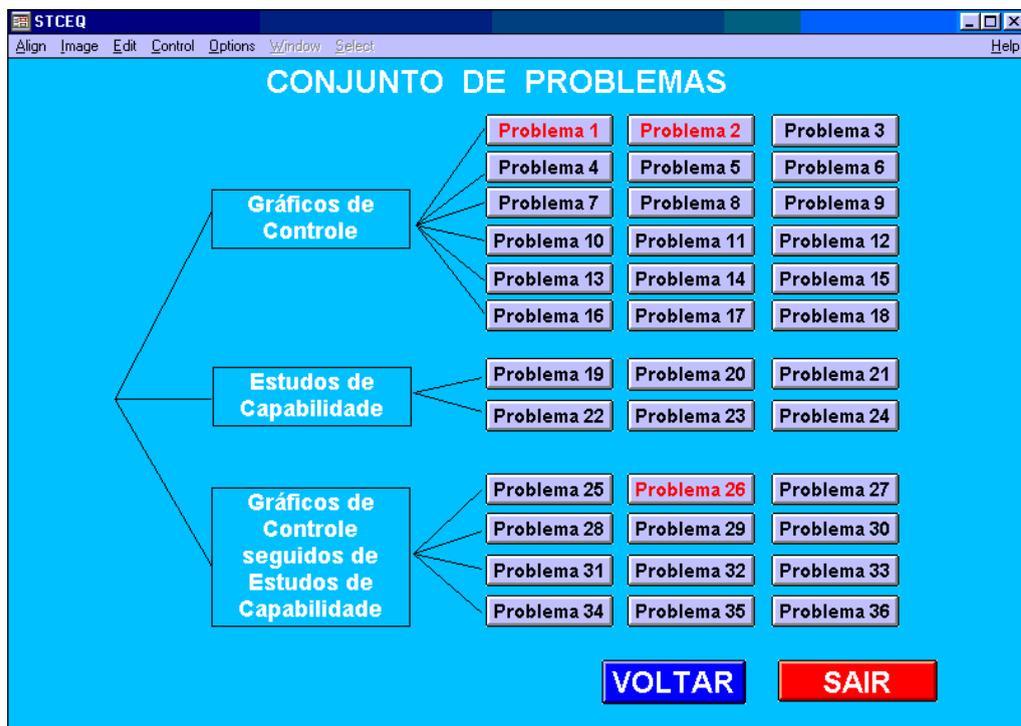
Na Figura 55 é possível observar que os tutoriais que foram consultados previamente pelo usuário têm a cor das letras dos seus títulos modificadas. A instância que armazena as informações do usuário forneceu os tutoriais já consultados pelo usuário ao módulo Interface, e este mudou as cores dos títulos, com o intuito de alertar o usuário. Nada impede que o usuário os consulte novamente, mas a mudança de cor serve como auxílio na escolha do tutorial a consultar. Quando o usuário pressionar qualquer um dos botões na tela exposta na Figura 55 o STCEQ apresentará a apresentação do PowerPoint® associada a aquele tutorial, cujo primeiro slide será semelhante ao mostrado na Figura 10. A estrutura de um tutorial foi descrita na seção 4.3.2.

O próximo passo é descrever como é a interação de resolução de problemas.

4.8.2 – Resolução de problemas de CEQ

A descrição de todas as etapas de uma resolução de problemas de CEQ, com as ações de cada módulo do STCEQ, foi feita na seção 4.2.2.2. Supondo que na tela da Figura 53 (menu principal do STCEQ) o usuário pressione o botão “RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE CEQ”. Neste caso o STCEQ apresentará a tela com o conjunto de problemas mostrada na Figura 56.

Figura 56 - Tela com o conjunto de problemas do STCEQ

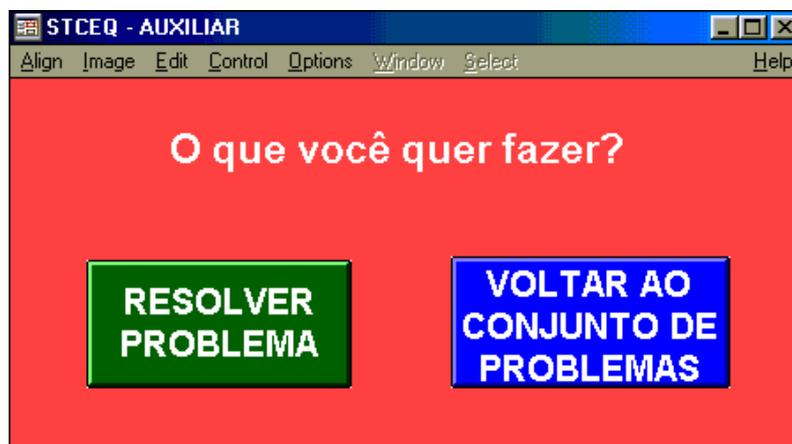


Todos os trinta e seis problemas previstos para a atual versão do STCEQ são mostrados na tela da Figura 56, agrupados por tipo: Gráficos de Controle (apenas), Estudos de Capabilidade (apenas) e Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade. Tal como os tutoriais consultados, os problemas resolvidos pelo usuário aparecem na tela com os títulos em cor diferente. Novamente, o objetivo é orientar o usuário na escolha do próximo problema a resolver. O conteúdo e as técnicas abordadas em cada problema foram descritos nas seções 4.4.2 e 4.4.3. Quando o usuário pressionar qualquer um dos botões na tela exposta na Figura 56 o STCEQ apresentará a apresentação do PowerPoint® associada a aquele problema.

Supondo que o usuário tenha pressionado o botão “Problema 11” na tela da Figura 56 o STCEQ mostrará uma apresentação cujo primeiro slide será semelhante ao da Figura 13. A estrutura de apresentação de um problema foi descrita na seção 4.4.4, e inclui também as Figuras 14,15,16,17 e 18.

Assim que o usuário tiver terminado de assistir a apresentação do problema, o STCEQ pedirá para que uma tela auxiliar seja maximizada. Esta tela auxiliar é mostrada na Figura 57.

Figura 57 - Tela auxiliar do STCEQ: resolução de problemas

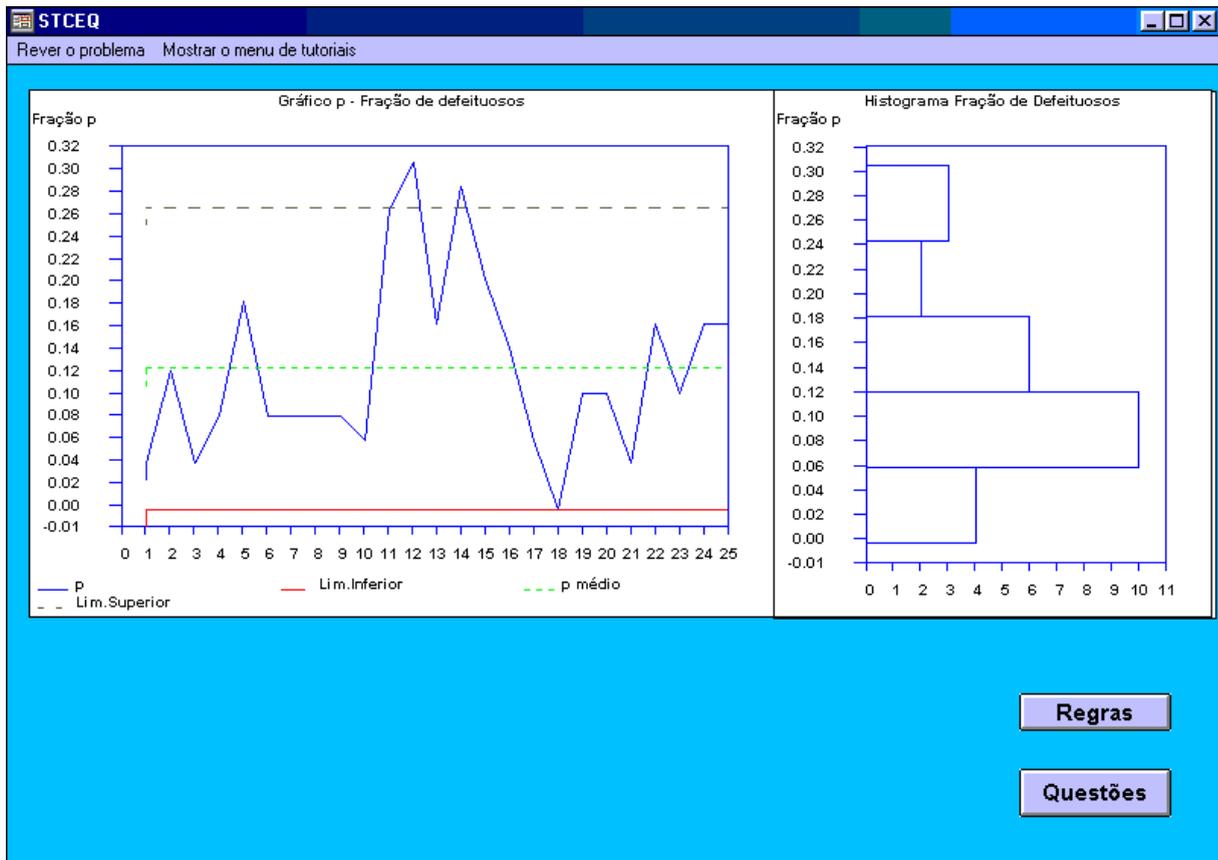


Na tela mostrada na Figura 57 o usuário precisa tomar uma decisão. Pode retornar à tela mostrada na Figura 56, para escolher outro problema para resolver, pressionando o botão “VOLTAR AO CONJUNTO DE PROBLEMAS”. Ou o usuário pode decidir realmente resolver o problema, pressionando o botão “RESOLVER PROBLEMA”. Se o usuário escolher esta última opção o módulo Simulador será acionado para gerar todos os resultados necessários para o Problema 11 (com base nas informações armazenadas na instância do problema).

Supondo que o usuário tenha decidido resolver o problema, o STCEQ irá gerar os resultados necessários para plotar um Gráfico de Controle de fração de defeituosos (p), a técnica utilizada no Problema 11 (ver Quadro 32), e o histograma associado das frações de defeituosos.

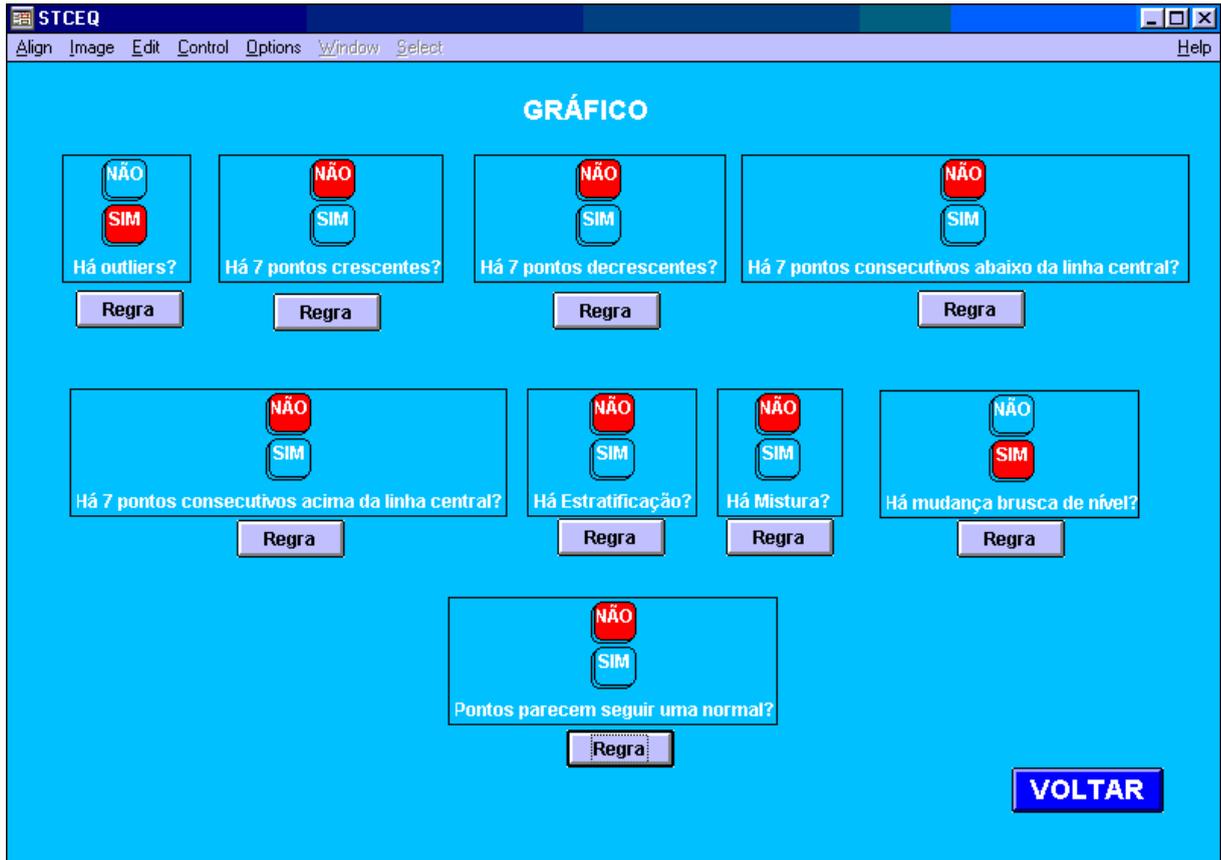
Os resultados são apresentados pelo STCEQ em uma tela como a da Figura 58.

Figura 58 - Tela com os resultados de um problema



Na Figura 58 é possível observar o Gráfico de Controle p, com sua linha central e limites de controle, e o histograma associado. Há claramente padrões não aleatórios no Gráfico, pois entre os subgrupos 10 e 15 houve um aumento considerável de p, podendo ser considerado uma mudança brusca de nível, chegando a ultrapassar o limite superior de controle. O histograma associado não parece sugerir que a distribuição de p pode ser aproximada por uma normal. Observe que na parte superior da tela existe um menu que permite ao usuário rever a apresentação do problema (“Rever o problema”) e consultar tutoriais de forma livre (“Mostrar o menu de tutoriais”). No canto inferior direito há dois botões: “Questões”, que uma vez pressionado fará com que o STCEQ apresente as duas primeiras questões do problema, e “Regras” que conduzirá o usuário a uma outra tela, onde podem ser aplicadas aos resultados do problema as diversas regras heurísticas previstas para o STCEQ (ver Quadro 41, seção 4.6.1.2). Essa tela é mostrada na Figura 59.

Figura 59 - Tela com as regras heurísticas para um Gráfico de Controle



Na Figura 59 verifica-se que há nove regras aplicáveis a um Gráfico de Controle (se houver dois Gráficos, Médias e Intervalos por exemplo, as regras serão apresentadas para cada Gráfico). Pressionando os botões “Regra” sob a descrição da regra o usuário fará o STCEQ aplicar as mesmas regras heurísticas que podem ter sido utilizadas pelo módulo Especialista para analisar o Gráfico de Controle e o histograma associado. Se a regra identifica o padrão não aleatório o indicador “SIM” da regra mudará de cor, caso contrário o indicador “NÃO” mudará de cor.

No caso do Gráfico p mostrado na Figura 58 as regras da Figura 59 identificaram os seguintes padrões não aleatórios: existência de outliers e mudança brusca de nível, significando que o processo está fora de controle (e o histograma das frações p não pode ser considerado normal).

É importante ressaltar que todas as regras são apresentadas para todos os tipos de Gráficos de Controle. E em alguns tipos a utilização delas não deve ser feita pois as suas suposições não são satisfeitas (por exemplo aplicar a regra de Estratificação a um Gráfico de Controle CUSUM ou EWMA). Cabe ao usuário decidir quais regras são apropriadas ou não.

Após examinar as regras o usuário pode retornar à tela apresentada na Figura 58 pressionando “VOLTAR”.

Se o usuário decidir (na tela da Figura 58) pressionar o botão “Questões”, o STCEQ apresentará a tela mostrada na Figura 60.

Figura 60 - Tela com questões do STCEQ

The screenshot shows a window titled "STCEQ" with a menu bar containing "Rever o problema", "Mostrar o menu de tutoriais", and "Mostrar resultados novamente". The main content area has a light blue background and contains two questions:

Questão 1 - O processo está sob controle estatístico? (apenas uma resposta correta)

SIM
NÃO

Questão 2 - Quais são os motivos para a sua decisão anterior? (múltiplas respostas)

Não_há_outliers_no_Gráfico
 Há_outliers_no_Gráfico
 Não_há_7_pontos_consecutivos_em_um_dos_lados_do_Gráfico
 Há_7_pontos_consecutivos_em_um_dos_lados_do_Gráfico
 Os_pontos_parecem_seguir_uma_normal_no_Gráfico
 Os_pontos_não_parecem_seguir_uma_normal_no_Gráfico
 Não_há_7_pontos_crescentes_ou_decrescentes_no_Gráfico
 Há_7_pontos_crescentes_ou_decrescentes_no_Gráfico
 Não_há_estratificação_no_Gráfico
 Há_estratificação_no_Gráfico
 Não_há_mistura_no_Gráfico
 Há_mistura_no_Gráfico
 Não_há_mudança_brusca_de_nível_no_Gráfico
 Há_mudança_brusca_de_nível_no_Gráfico

At the bottom, there are six buttons arranged in two rows and three columns:

- Top row: "MOSTRAR GRÁFICOS NOVAMENTE" (blue), "AVALIAR RESPOSTAS" (green), "VOLTAR AO MENU DE PROBLEMAS" (blue).
- Bottom row: "PRÓXIMA QUESTÃO" (yellow), "SAIR DO STCEQ" (red).

Na Figura 60 é possível observar as Questões 1 e 2 dos problemas de apenas Gráficos de Controle, quando há apenas um Gráfico (no caso o Gráfico p). Na Questão 1 o usuário dirá se o processo está sob controle estatístico (“SIM”) ou fora de controle (“NÃO”), sendo que

uma única opção pode ser marcada. Na Questão 2 o usuário irá marcar as razões para a sua resposta em 1, podendo marcar várias opções. O usuário deve responder com base na aparência do(s) Gráfico(s) e do(s) histograma(s) associado(s), e caso tenha acessado, nos resultados das regras.

Na parte superior da tela na Figura 60 há um menu que permite ao usuário rever os resultados, ou rever a apresentação do problema, ou consultar algum tutorial. O(s) Gráfico(s) também pode(m) ser examinado(s) novamente pressionando o botão “Mostrar Gráficos novamente”. Se o usuário desistir de resolver este problema pode voltar à tela mostrada na Figura 56 (Conjunto de problemas), pressionando “Voltar ao menu de problemas” e escolher outro. E há sempre a opção de sair do sistema, pressionando o botão “Sair do STCEQ”. Assim que tiver respondido as questões, o usuário poderá pedir que o STCEQ avalie suas respostas, pressionando “Avaliar respostas”, e não será permitido que prossiga para a próxima questão (pressionando “Próxima questão”) sem que suas respostas a *ambas* as questões sejam consideradas aceitáveis. Após analisar a situação do problema o usuário respondeu as questões apresentadas na Figura 60, e as respostas podem ser vistas na Figura 61.

Figura 61 - Tela com questões do STCEQ: respostas do usuário

The screenshot shows the STCEQ interface with the following content:

STCEQ
Rever o problema Mostrar o menu de tutoriais Mostrar resultados novamente

Questão 1 - O processo está sob controle estatístico? (apenas uma resposta correta)

SIM
 NÃO

Questão 2 - Quais são os motivos para a sua decisão anterior? (múltiplas respostas)

Não há outliers no Gráfico
 Há outliers no Gráfico
 Não há 7 pontos consecutivos em um dos lados do Gráfico
 Há 7 pontos consecutivos em um dos lados do Gráfico
 Os pontos parecem seguir uma normal no Gráfico
 Os pontos não parecem seguir uma normal no Gráfico
 Não há 7 pontos crescentes ou decrescentes no Gráfico
 Há 7 pontos crescentes ou decrescentes no Gráfico
 Não há estratificação no Gráfico
 Há estratificação no Gráfico
 Não há mistura no Gráfico
 Há mistura no Gráfico
 Não há mudança brusca de nível no Gráfico
 Há mudança brusca de nível no Gráfico

MOSTRAR GRÁFICOS NOVAMENTE AVALIAR RESPOSTAS VOLTAR AO MENU DE PROBLEMAS
 PRÓXIMA QUESTÃO SAIR DO STCEQ

Na Figura 61 o usuário declarou que “SIM”, o processo está sob controle estatístico, pelos motivos: “não há outliers no Gráfico”, “não há 7 pontos consecutivos em um dos lados da do Gráfico”. O módulo Especialista, ao analisar os resultados mostrados na Figura 58 teria concluído que “NÃO”, o processo não está sob controle estatístico, e enumeraria os seguintes motivos: “há outliers no Gráfico”, “não há 7 pontos consecutivos em um dos lados do Gráfico”, “os pontos não parecem seguir uma normal no Gráfico”, “não há 7 pontos crescentes ou decrescentes no Gráfico”, “não há estratificação no Gráfico”, “não há mistura no Gráfico”, “há mudança brusca de nível”. Então há diferenças entre as respostas do usuário e do módulo Especialista. Ao pressionar “Avaliar Questão”, o usuário receberá as mensagens expostas nas Figuras 62, 63 e 64.

Figura 62 - Mensagem de erro do módulo Tutor

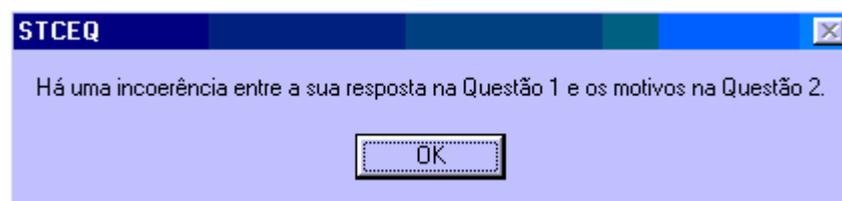


Figura 63 - Orientação ao usuário

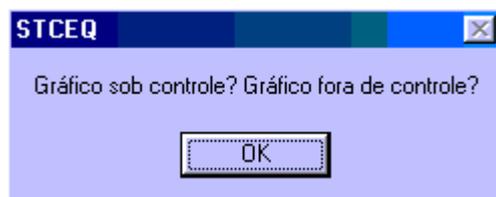
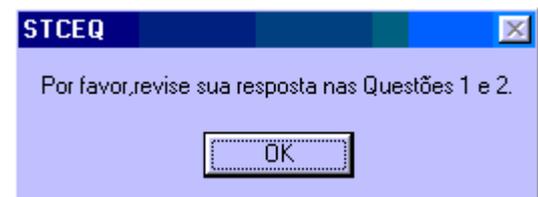


Figura 64 - Pedido para revisar respostas



O módulo Tutor observou que há uma incoerência entre a resposta do usuário na Questão 1 e os motivos declarados na Questão 2 (ver Figura 61): para uma resposta “SIM” na Questão 1 o usuário deveria marcar *todas* as opções para o processo sob controle (todas as opções “não há”), tal como descrito na seção 4.7.1. Por isso o STCEQ emitiu a mensagem da Figura 62, alertando o usuário para a incoerência de suas respostas. Além disso, a resposta do usuário na Questão 1 está incorreta, pois o processo está fora de controle, e as opções marcadas na Questão 2 estão incorretas também, pois uma está errada, e faltam várias outras.

Esse é o motivo para a emissão da mensagem da Figura 63, que procura fazer o usuário refletir sobre os resultados do problema. Finalmente, a mensagem da Figura 64 pede que o usuário revise as respostas de ambas as questões (se a Questão 1 estivesse correta seria pedida a revisão apenas da Questão 2).

Supondo que após responder todas as questões do Problema 11, com intervenções do módulo Tutor quando necessário, o usuário decide pedir o relatório sobre o problema (há um botão para isso na tela da última questão de cada problema), que foi detalhado na seção 4.7.5. Neste momento o STCEQ registra todas as informações sobre o problema resolvido na instância do usuário do módulo Aprendiz: desempenho no problema, número do problema.

A primeira parte do relatório apresenta o desempenho do usuário em cada uma das questões do problema, tal como mostrado na Figura 65.

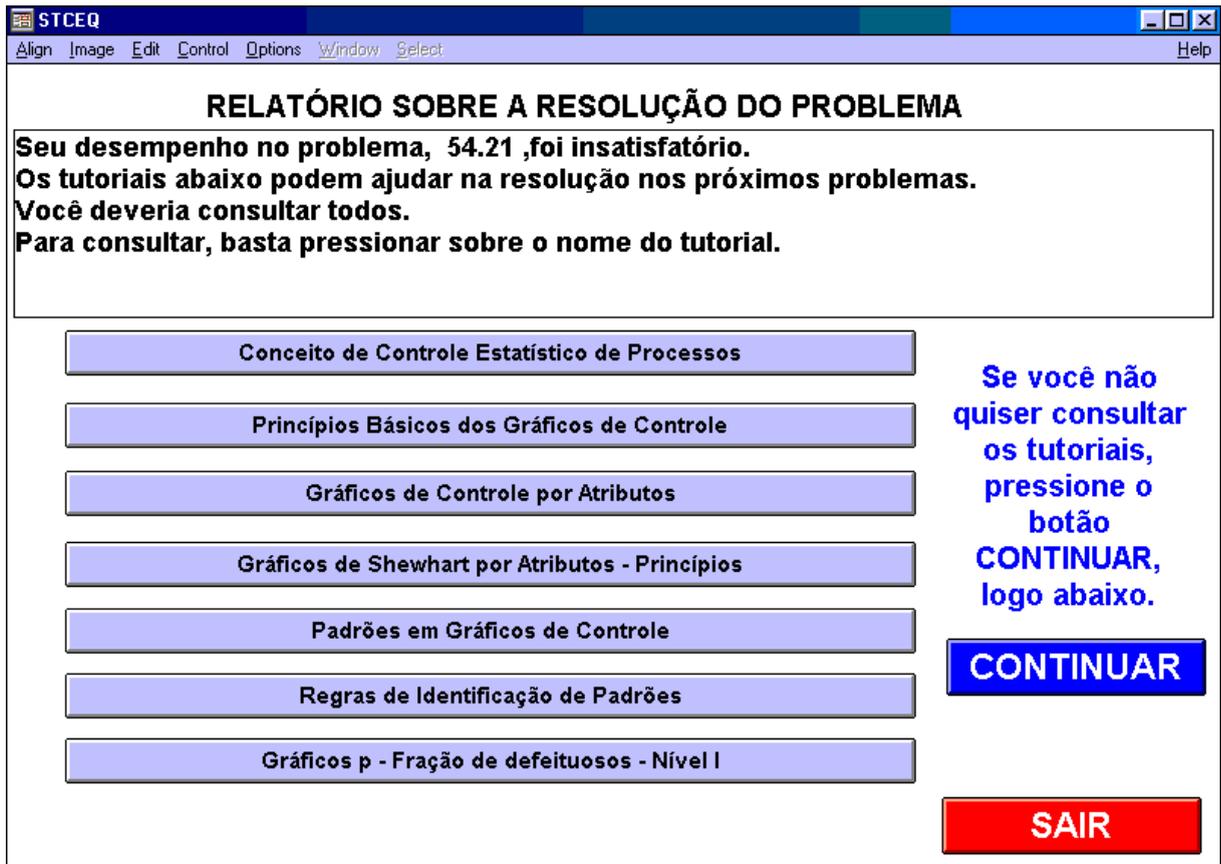
Figura 65 - Relatório do módulo Tutor - Primeira parte

RELATÓRIO SOBRE A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA					
Problema:	Problema11	Profundidade:	1	N.deQuestões:	5
Tipo de problema:	Apenas Gráficos de Controle				
Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	
Desempenho: 70 Repetições: 3	Desempenho: 50 Repetições: 4	Desempenho: 40 Repetições: 5	Desempenho: 70 Repetições: 3	Desempenho: 50 Repetições: 5	
				CONTINUAR	

Na Figura 65 o módulo Tutor resumiu o desempenho do usuário no problema: indicou o nome do problema, a profundidade (1 significa interpretação de resultados), o número de

questões do problema (cinco), o tipo de problema (apenas Gráficos de Controle), e como o usuário se saiu em cada questão. Observe-se que são apresentados tanto o valor final do desempenho quanto o número de repetições, número de respostas incorretas, do usuário. Pressionando o botão “Continuar” o STCEQ apresentará a segunda parte do relatório, mostrada na Figura 66.

Figura 66 - Relatório do módulo Tutor - Segunda parte

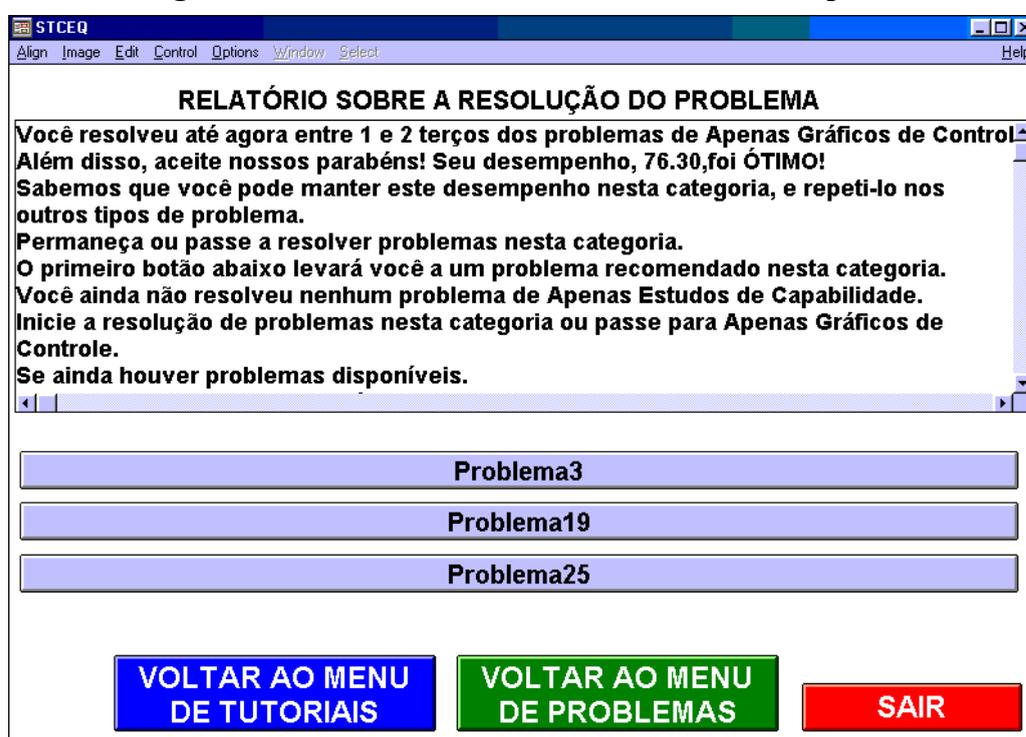


Após calcular a média do desempenho do usuário no problema, com os valores apresentados na Figura 65, o STCEQ obteve o valor 54,21, mostrado na Figura 66. Se esta média for utilizada na Figura 48 para calcular os graus de pertinência aos conjuntos “Ótimo”, “Satisfatório”, e “Insatisfatório”, o maior valor de pertinência obtido indicará que o desempenho do usuário foi “Insatisfatório” (o grau de pertinência aos outros conjuntos foi menor). De acordo com o Quadro 53, quando o desempenho do usuário é classificado como “Insatisfatório” todos os tutoriais associados ao problema (complexos e simples) devem ser consultados. O STCEQ apresenta na Figura 66 os tutoriais associados ao Problema 11.

Conforme mencionado na seção 4.7.5, o usuário pode ou não seguir as recomendações do STCEQ, consultando quantos tutoriais quiser, na ordem que quiser. Pode também ignorar as recomendações.

Supondo que o usuário consultou os tutoriais que lhe interessavam, ou ignorou as recomendações, ao pressionar “Continuar”, na Figura 66, o STCEQ apresentará a última parte do relatório, em uma tela tal como a mostrada na Figura 67.

Figura 67 - Relatório do módulo Tutor - Terceira parte



Na terceira etapa do relatório, mostrada na Figura 67 o STCEQ calcula a nova média do usuário no grupo de problemas a que pertence o recém resolvido (apenas Gráficos de Controle no caso do problema 11), e classifica o desempenho do usuário de acordo com o classificador da Figura 49. No presente caso o desempenho do usuário no grupo de problemas foi considerado “Ótimo”. Esta etapa do relatório também comunica ao usuário quantos problemas foram resolvidos de cada tipo (entre um terço e dois terços para apenas Gráficos de Controle), e conclama o usuário a permanecer (se estiver resolvendo problemas de apenas Gráficos de Controle) ou passar para os problemas de apenas Gráficos de Controle (se estiver

resolvendo problemas de um outro tipo, e ainda houver problemas de apenas Gráficos de Controle remanescentes), cujos problemas deveriam ser resolvidos em primeiro lugar (seguindo a seqüência sugerida na seção 4.4.2).

O relatório mostrado na Figura 67 também apresenta os primeiros problemas disponíveis em cada tipo, descontando os problemas já resolvidos pelo usuário: o Problema 3 (apenas Gráficos de Controle), o Problema 19 (apenas Estudos de Capabilidade) e o Problema 25 (Gráficos de Controle seguidos de Estudos de Capabilidade). O usuário pode escolher um desses para resolver em seguida, simplesmente pressionando o respectivo botão, ou ignorar a recomendação e voltar ao menu de tutoriais ou ao menu de problemas, ou ainda deixar o sistema (“Sair do STCEQ”), encerrando esta interação.

4.9 – Considerações finais

O Capítulo 4 descreveu o Sistema Tutorial Inteligente, o STCEQ, que está integrado ao modelo para o ensino do CEQ apresentado no Capítulo 3.

Foi apresentada a arquitetura do STCEQ, e os modos básicos de interação usuário-sistema. Os módulos Tutorial, Problema, Simulador, Especialista e Tutor foram descritos em profundidade, mostrando suas características e o modo como se relacionam. Dois pequenos exemplos de interação foram incluídos, com as telas que são apresentadas aos usuários do STCEQ.

O Capítulo 5 finalizará este documento, apresentando as conclusões e contribuições do trabalho, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

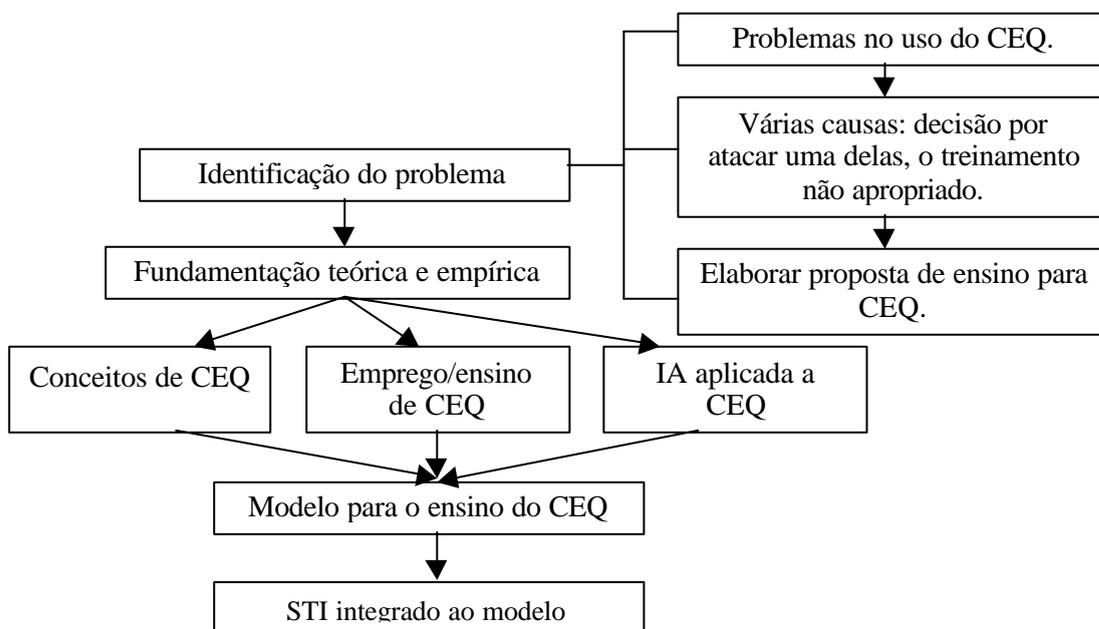
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Neste Capítulo será feita uma análise do conteúdo do presente trabalho, apresentadas as conclusões e as contribuições obtidas, as limitações e as sugestões para futuros trabalhos, e as possibilidades de extensão dos conceitos desenvolvidos para outras áreas de conhecimento.

5.1 – Desenvolvimento do trabalho

O trabalho foi desenvolvido ao longo de quatro etapas: identificação do problema, fundamentação teórica e empírica, a elaboração do modelo para o ensino do CEQ, e o Sistema Tutorial Inteligente integrado ao modelo. O desenvolvimento pode ser resumido na Figura 68.

Figura 68 - Resumo do desenvolvimento do trabalho



Acompanhando o conteúdo da Figura 68 é possível fazer uma análise conclusiva do trabalho.

5.1.1 – Introdução

No Capítulo 1 foi identificado um problema: as técnicas de Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) estavam sendo empregadas de forma inadequada nas organizações (Alwan e Roberts,1995) (Epprecht e Machado Neto,1996) (Paladini,1995). Mesmo algumas organizações detentoras de certificados ISO 9000, e declaradamente comprometidas com a Qualidade muitas vezes não utilizam CEQ (Lee, 1997). Dada a importância de tais técnicas para a própria sobrevivência das organizações, pois permitem monitorar e melhorar a Qualidade de produtos e processos, uma análise mais cuidadosa do problema se faz necessária.

Através de um diagrama de causa e efeito foram levantadas as possíveis causas do mau uso das técnicas de CEQ: má atitude perante o CEQ (causada por más experiências prévias com o CEQ ou com Estatística), equipamento inadequado (há uma dificuldade material impedindo a utilização correta das técnicas), gerenciamento inadequado (não é reconhecida a importância do CEQ, ou se teme o que sua adoção possa vir a causar), e o treinamento não apropriado (seja ele em Qualidade, CEQ propriamente dito, ou Estatística). Dentre as diversas causas possíveis, observou-se que está última tende a ser uma das mais importantes, e que por isso merece um estudo mais aprofundado.

Outro diagrama de causa e efeito foi utilizado para identificar as possíveis causas do treinamento inapropriado: em Qualidade (devido à confusão do conceito com produtividade), em Estatística (devido ao excesso de rigor matemático, ou pelo excesso de simplificações), especificamente em CEQ (conteúdo deficiente, ou abordagem inadequada, novamente ou muito matemática ou muito simplificada), e a falta de conhecimento prévio (que inviabiliza muitos programas de treinamento que não levaram isso em conta durante sua elaboração).

A tentativa de solucionar este problema passou a ser o objetivo geral deste trabalho, e este objetivo foi atingido através da elaboração de um modelo para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade. Integrado ao modelo foi previsto um ambiente computacional que com suas características particulares (possibilidade de simulações, interação rápida) possibilitasse a prática dos conceitos. Resolveu-se utilizar técnicas de Inteligência Artificial na implementação do ambiente, porque tais técnicas permitem lidar com raciocínio heurístico, o que pode auxiliar em muitas situações práticas de CEQ, representar e processar conhecimento de forma simbólica e possibilitar a construção de uma interação amigável com o usuário. Decidiu-se que o ambiente seria materializado em um Sistema Tutorial Inteligente, que pode propiciar um ambiente de aprendizado do tipo “aprenda – fazendo”, no qual há maior possibilidade de que o estudante realmente desenvolva habilidades e construa um conhecimento para toda vida. Além disso, pode permitir uma assistência individualizada ao estudante, além de viabilizar o aprendizado no ritmo do aluno, uma vez que acompanha cada um dos seus passos e de acordo com estes aplica diferentes estratégias de ensino. A adição do ambiente computacional, em forma de um Sistema Tutorial Inteligente, permite uma melhoria no aprendizado dos estudantes/treinandos.

A melhoria no uso do CEQ pode ser obtida através de um ensino/treinamento apropriado, que permita o aprendizado e a prática dos conceitos de CEQ, e o modelo proposto é um passo importante nesta direção.

5.1.2 – Fundamentação teórica e empírica

Para dar suporte bibliográfico e empírico ao modelo, foram pesquisados e analisados uma série de conceitos que formaram a fundamentação teórica e empírica do trabalho, descrita no Capítulo 2.

Os conceitos da Qualidade foram listados e organizados, salientando a importância da Avaliação da Qualidade para as organizações, e dos métodos estatísticos para descrever e controlar a Variabilidade dos processos. Aspectos relativos ao gerenciamento da Qualidade e padrões da Qualidade também foram abordados.

Em um segundo momento foram discutidos os conceitos específicos de CEQ: suas subdivisões, definições, seus pontos positivos e negativos. As técnicas costumeiramente recomendadas pela literatura foram mencionadas, constatando-se que o Planejamento de Experimentos é uma área extremamente ampla, merecendo talvez um estudo à parte, e que a Aceitação por Amostragem não permite realmente estimar a Qualidade de um produto, justificando talvez um estudo mais superficial. Técnicas mais avançadas, especialmente de Gráficos de Controle, também foram avaliadas, devido à sua utilidade em muitas situações nas quais os Gráficos mais comuns não obtém bons resultados. Com essa pesquisa obteve-se um conjunto de conceitos julgados necessários para a compreensão e correta aplicação das técnicas de CEQ.

Os conceitos de Inteligência Artificial (IA) também foram pesquisados, no intuito de obter diretrizes para o desenvolvimento do ambiente computacional, integrado ao modelo. Os diferentes paradigmas e as aplicações específicas de IA em CEQ foram estudados. As aplicações de IA em educação, especialmente os Sistemas Tutoriais Inteligentes mereceram particular atenção. Mesmo outras aplicações de informática no ensino de CEQ, que não utilizam propriamente Inteligência Artificial, foram vistas em detalhe, com o objetivo de estudar diferentes abordagens possíveis.

Na literatura pesquisada não foi encontrada nenhuma aplicação de Sistema Tutorial Inteligente ao ensino de CEQ.

Uma pesquisa empírica sobre o emprego das técnicas de CEQ em organizações de diferentes países também foi realizada. A pesquisa indicou quais técnicas eram as mais disseminadas, e procurou também identificar as habilidades consideradas mais importantes para os praticantes do CEQ. As conclusões serviram para definir o conteúdo necessário no modelo para o ensino do CEQ, a profundidade com que cada tópico deveria ser abordado, e também quais habilidades dos estudantes/treinandos deveriam ser desenvolvidas prioritariamente: interpretação de resultados de Gráficos de Controle e Estudos de Capabilidade de Processos.

Outra pesquisa, desta feita sobre o ensino de CEQ nos cursos superiores de Engenharia e Estatística no Brasil também foi conduzida, permitindo conhecer o conteúdo, carga horária e pré-requisitos das disciplinas, e ter uma idéia da metodologia empregada. Os dados obtidos serviram de base para a definição do conteúdo e metodologia do modelo desenvolvido, contrastando-os com os resultados da pesquisa sobre o ensino de CEQ.

O resultado da pesquisa para elaboração da fundamentação teórica e empírica mostrou que havia espaço para a elaboração de um novo modelo para o ensino do CEQ, integrando um ambiente computacional.

5.1.3 – Modelo para o ensino do CEQ

Uma vez identificada a viabilidade de elaborar o modelo, sua apresentação foi feita no Capítulo 3. O modelo foi dividido em duas partes: conteúdo e metodologia. Adotou-se esta divisão para facilitar a construção do modelo, e também para possibilitar que eventuais adaptações para outros públicos alvo (que não os estudantes de Engenharia) pudessem ser feitas sem maiores problemas: modificações no conteúdo não afetariam demasiadamente a metodologia, e vice-versa. O conteúdo do modelo foi definido em função das conclusões do

Capítulo 2, sobre conceitos, emprego e ensino de CEQ, sendo apresentadas as justificativas para a inclusão de cada um dos tópicos. A metodologia foi definida em função também das conclusões da fundamentação teórica e empírica, e das experiências prévias do autor deste trabalho, além de uma compilação adicional realizada no próprio Capítulo 3.

O conteúdo do modelo previu um aprofundamento maior nas técnicas de Controle Estatístico de Processos (CEP) e em Estudos de Capabilidade de Processos, limitando a abordagem de Aceitação por Amostragem e Planejamento de Experimentos ao mínimo indispensável.

A metodologia foi definida em função de resultados obtidos por meio da literatura técnica, de aplicações no ensino de inferência estatística (intrinsecamente relacionada à certas técnicas de CEQ), e pela experiência prévia do autor: propõe-se apresentar primeiramente cada conceito de CEQ, e em seguida os exemplos necessários para fixação do conteúdo, utilizando intensivamente diagramas e gráficos para explicar e praticar os tópicos. Entre as vantagens da utilização da metodologia proposta encontram-se: obteve bons resultados quando testada experimentalmente (Hong e O'Neil,1992), permite atingir vários estilos de aprendizagem, e é bastante apropriada para o CEQ (cujas técnicas incluem muitas aplicações gráficas). A metodologia prevê uma parte prática, que inclui um ambiente computacional: este permitiria que os estudantes/treinandos praticassem a interpretação de resultados e resolução de problemas, pois poderia incluir simulações e acompanhamento contínuo. Optou-se por implementar tal ambiente como um Sistema Tutorial Inteligente porque a existência de um tutor, aconselhando e recomendando cursos de ação, poderia auxiliar na obtenção de uma aprendizagem por descoberta, “aprenda-fazendo”, o mais próximo possível do ideal construtivista.

Ainda no Capítulo 3 foram definidas as características do Sistema Tutorial Inteligente que iria ser implementado que basicamente incluíam: possibilidade de implementar problemas reais de Controle Estatístico da Qualidade, abranger todo o conteúdo definido pela proposta de ensino, acompanhamento contínuo das atividades do usuário, e liberdade para o usuário conduzir a interação com o sistema. Essas características foram definidas em função das recomendações encontradas na fundamentação teórica e empírica: conceitos de IA e Sistemas Tutoriais Inteligentes (acompanhamento contínuo, usuário com o controle da interação), e da pesquisa sobre emprego do CEQ nas organizações e aplicações de informática no ensino de CEQ (implementação de problemas reais de CEQ, abranger conteúdo da proposta). Os problemas incorporados ao sistema privilegiariam a interpretação de resultados, havendo várias referências recomendando tal ênfase. Como os Sistemas Tutoriais Inteligentes são tradicionalmente estruturados em forma de módulos responsáveis por tarefas específicas, e que se comunicam entre si para auxiliar na aprendizagem do estudante/treinando, optou-se por utilizar uma abordagem por Inteligência Artificial Distribuída (IAD) no desenvolvimento do sistema, provisoriamente chamado de STCEQ – Sistema Tutorial Inteligente para Controle Estatístico da Qualidade.

5.1.4 – Descrição do sistema

A apresentação detalhada do protótipo de sistema implementado foi feita no Capítulo 4. A arquitetura do STCEQ e os modos de interação previstos para o protótipo, e as funções que cada módulo exerceria foram discutidas, a princípio, brevemente. Os módulos mais extensos foram descritos pormenorizadamente, para que fosse possível compreender exatamente como se processa a interação entre os estudantes/treinandos e o STCEQ.

No módulo Tutorial foram incorporados os tópicos do conteúdo previstos no modelo para o ensino do CEQ descrito no Capítulo 3. A elaboração da apresentação dos tutoriais foi

feita procurando atingir todos os estilos de aprendizagem, e portanto o maior número possível de estudantes/treinandos. Em função das conclusões do Capítulo 2 (fundamentação teórica e empírica) alguns dos tópicos mereceram um maior aprofundamento, o que resultou na implementação de dois ou mais tutoriais por tópico, enquanto que para outros apenas um tutorial foi considerado suficiente. Por exemplo, Gráficos de Controle de Médias e Intervalos (técnicas bastante utilizadas) foram apresentados em quatro tutoriais, enquanto Gráfico CUSUM para fração de defeituosos foi apresentado em apenas um. Como resultado de tais considerações chegou-se a um total de oitenta e dois tutoriais.

O módulo Problema contém as informações sobre os processos produtivos que permitirão a prática dos conceitos de CEQ. Foram apresentadas as justificativas para a composição e número dos problemas, em função das técnicas de CEQ, e em função das limitações propostas para o sistema desde o início. Trinta e seis problemas foram explicitados.

A implementação do módulo Simulador permitiu gerar, a partir das informações dos problemas, os resultados que seriam analisados e interpretados pelos estudantes/treinandos durante a resolução dos problemas. Os resultados foram produzidos através de geradores de números pseudo-aleatórios, cuja eficácia foi estatisticamente comprovada.

O módulo Especialista recebeu o conhecimento de interpretação de resultados e resolução de problemas. Os procedimentos utilizados foram detalhadamente descritos, para os diversos tipos de técnicas de CEQ abordadas no STCEQ. As respostas e decisões do módulo Especialista serviram de base para a construção do módulo Tutor.

O módulo Tutor foi o último a ser implementado. A função deste módulo é lidar com as respostas dos estudantes/treinandos, comparando-as com as do Especialista, para a partir

das diferenças encontradas recomendar o que deve ser feito em seguida para melhorar a aprendizagem. Novamente os procedimentos utilizados foram descritos em profundidade, para que fosse possível compreender como o STCEQ “ensina” os estudantes/treinandos.

Exemplos dos dois tipos de interações possíveis foram apresentados, com praticamente todas as telas do STCEQ a que os estudantes/treinandos serão expostos durante o acesso ao sistema, proporcionando uma idéia de como seria a consulta e prática dos conceitos de CEQ (dentro do modelo para o ensino de CEQ, descrito no Capítulo 3).

Em síntese, o trabalho atingiu os objetivos propostos originalmente, e o autor acredita que proporcionará uma grande melhoria no ensino do Controle Estatístico da Qualidade.

As conclusões do trabalho serão descritas na próxima seção.

5.2 – Conclusões do trabalho

As conclusões serão apresentadas por assunto, de maneira a facilitar sua descrição.

5.2.1 – Sobre o emprego do CEQ nas organizações

Após as avaliações in-loco em empresas, entrevistas com responsáveis pela Qualidade em empresas nos EUA, e pesquisa na literatura técnica foram obtidas as seguintes conclusões a respeito do emprego do CEQ nas organizações:

- as técnicas de Gráficos de Controle (especialmente os de Shewhart), e em menor escala os Estudos de Capabilidade de Processos são as ferramentas de CEQ mais utilizadas em locais

tão díspares quanto os EUA, Suécia e Hong-Kong; as organizações situadas em países orientais, contudo, parecem estar mais conscientes da importância não só do CEQ mas do adequado gerenciamento da Qualidade.

- a existência de um certificado ISO 9000, cujas recomendações incluem a utilização de métodos estatísticos onde apropriado, não implica a organização estar empregando o CEQ.
- mesmo sendo o CEQ tão importante para a descrição, controle e redução da Variabilidade, e portanto melhoria da Qualidade, com que certas organizações se declaram comprometidas, muitas vezes elas não o utilizam.
- em muitas situações, foi somente por pressão de clientes, especialmente da indústria automobilística, que as técnicas de CEQ foram adotadas em muitas organizações.
- a literatura técnica (Banks, 1995) (Woodall e Montgomery, 1997) (Palm et al., 1997) (Lago Neto, 1999) (Balestrassi, 2000) aponta para pesquisa em técnicas multivariadas, de monitoração de dados em tempo real, de abordagem de dados autocorrelacionados; isso precisará ser levado em conta, mais cedo ou mais tarde, nos processos de ensino de CEQ.

A teoria e a prática mostram que os Gráficos de Controle e os Estudos de Capabilidade de Processos surgem como as técnicas de CEQ mais disseminadas nas organizações.

5.2.2 – Sobre o ensino de CEQ no Brasil atualmente

Após a pesquisa efetuada nas instituições de ensino, e por meio de uma série de contatos pessoais concluiu-se que:

- nos cursos de Engenharia o CEQ costuma ser estudado em uma disciplina apenas, muitas vezes optativa, sendo obrigatória nos cursos de Estatística.
- o conteúdo da(s) disciplina(s) de CEQ aborda basicamente CEP e Aceitação por Amostragem, sendo que esta última vem tendo sua participação reduzida (na Universidade dos EUA em que o autor esteve sequer faz parte do conteúdo da disciplina de CEQ).

- o CEP basicamente enfoca os Gráficos de Controle, e entre os Gráficos os de Shewhart são os predominantemente abordados (embora nem todos sejam estudados em alguns casos).
- os Gráficos ditos avançados (CUSUM, EWMA) são muitas vezes abordados rápida e superficialmente, o que também ocorre com os Estudos de Capabilidade.
- o Planejamento de Experimentos em alguns casos, especialmente nos cursos de Estatística (o que era esperado) constitui uma disciplina à parte.
- pela pesquisa feita este autor acredita que as cargas horárias de quarenta e cinco, às vezes de apenas trinta horas, seriam insuficientes mesmo para focar somente Gráficos de Controle e Estudos de Capabilidade de Processos em profundidade, sessenta horas seria o mínimo (o modelo descrito neste trabalho prevê tal valor).
- há a necessidade de incluir aspectos gerenciais, ao menos a noção sistêmica da organização e seu impacto no gerenciamento da Qualidade (Neave,1996).

O autor deste trabalho acredita que a prática usual de integrar apenas uma disciplina, aos currículos dos cursos de Engenharia de Produção e Industrial, seja insuficiente para abordar os conceitos mais importantes de CEQ. A formação dos egressos pode ser prejudicada, especialmente se a disciplina for optativa, como ocorre em muitos casos, e com as cargas horárias atualmente previstas. A ênfase em Aceitação por Amostragem também poderia ser reduzida, em prol de Estudos de Capabilidade de Processos. Deveriam haver pelo menos duas disciplinas, obrigatórias, de pelo menos sessenta horas cada, uma para aspectos gerenciais da Qualidade, e outra específica para CEQ. Além disso, uma disciplina específica de Planejamento de Experimentos poderia ser incorporada ao currículo, prática adotada em universidades dos EUA.

5.2.3 – Sobre o modelo para o ensino do CEQ

Muitos dos aspectos já foram mencionados anteriormente, mas alguns precisam ser ressaltados:

- o conteúdo do modelo cobre os principais tópicos necessários para a correta aplicação do CEQ, da Qualidade às técnicas de CEQ propriamente ditas.
- há uma ênfase maior nas técnicas mais empregadas (CEP e Estudos de Capabilidade), que além disso permitem avaliar a Qualidade dentro do processo produtivo.
- a metodologia teve a estratégia instrucional proposta testada experimentalmente para Inferência Estatística, que é fortemente relacionada com o CEQ, e não obstante tal teste ter sido realizado em outro país, coincide com a experiência prática do autor deste trabalho.
- a inclusão da discussão sistemática dos conceitos na metodologia do modelo propiciará a reflexão sobre o assunto, possibilitando atingir vários estilos de aprendizagem.
- a integração de um aplicativo computacional ao modelo possibilitará um incremento na aprendizagem, concretizando um ambiente “aprenda-fazendo”.

O modelo desenvolvido apresenta uma proposta pedagógica para o ensino do CEQ, com as características descritas a seguir.

- 1) **Complexidade**: o modelo reconhece a complexidade do ensino de CEQ.
- 2) **Uso de Inteligência Artificial**: o modelo incorpora técnicas de Inteligência Artificial para apoiar o processo de ensino.
- 3) **Construtivismo**: o modelo adota um enfoque construtivista para o ensino do CEQ.
- 4) **Proposta operacionalizada**: através do modelo desenvolvido e do ambiente computacional integrado, um Sistema Tutorial Inteligente.

Considera-se, aqui, que o modelo elaborado constituirá uma grande melhoria para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade.

5.2.4 – Sobre o STCEQ

A implementação do STCEQ concretizou algumas contribuições:

- o STCEQ permite a consulta a todo o conteúdo previsto no modelo para o ensino do CEQ, materializado em seus oitenta e dois tutoriais.
- a estrutura modular do STCEQ, e a representação do conhecimento por meio de orientação a objeto, facilitam a manutenção e expansão prevista para o sistema.
- o STCEQ incorpora problemas com processos produtivos reais dos mais diversos setores, utilizando várias técnicas diferentes (algumas bastante sofisticadas).
- o STCEQ permite que o usuário pratique a interpretação de resultados de forma supervisionada, sendo orientado acerca das regras adequadas a utilizar em cada técnica.
- o STCEQ inclui a simulação pseudo-aleatória (estatisticamente testada) dos resultados, apresentando um caso novo a cada usuário, a cada vez que o mesmo problema é resolvido, forçando-o a realmente realizar a interpretação.
- os algoritmos das técnicas de CEQ foram implementados no STCEQ com base na literatura técnica consagrada internacionalmente.
- o STCEQ permite o acompanhamento constante das ações do usuário (no modo de resolução de problemas), ajustando as recomendações ao seu desempenho, possibilitando uma atenção individualizada.
- o controle da interação com o STCEQ está sempre nas mãos do usuário, que pode decidir o que fazer, na seqüência que lhe aprouver, podendo rever apresentações de problemas ao resolvê-los, consultar tutoriais ou reavaliar os resultados a qualquer momento.

O módulo Tutor do STCEQ, um tutor “virtual”, realmente apresenta características de um tutor “inteligente” (justificando a denominação de Sistema Tutorial Inteligente).

1) **Percebe o estudante:** avalia as necessidades e potencialidades dos diferentes usuários, ao registrar suas trajetórias prévias e levá-las em conta quando da apresentação das

recomendações.

2) **Percebe o ambiente de ensino:** adapta as recomendações ao tipo de problema, tipo de técnica e condições do problema, e ao recomendar os tutoriais e problemas mais apropriados para aquele momento de aprendizado.

3) **Não se repete nos desafios pedagógicos propostos:** a utilização de simulação fornece resultados novos a cada interação, fazendo com que o usuário, da mesma forma que o tutor, tenha que analisar cada nova situação.

A utilização do STCEQ, como parte do modelo para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade, pode proporcionar grandes benefícios aos estudantes/treinandos, constituindo um ambiente de prática supervisionada dos conceitos e de desenvolvimento de habilidades necessárias para a aplicação das técnicas do CEQ.

A próxima seção apresentará as contribuições do trabalho.

5.3 – Contribuições do trabalho

Considera-se que as principais contribuições do trabalho podem ser enumeradas a seguir:

- organização dos conceitos da Qualidade e de CEQ necessários para a correta aplicação das técnicas.
- pesquisa bibliográfica atualizada sobre as aplicações de Inteligência Artificial em CEQ, e de informática em ensino de CEQ.
- pesquisa empírica, incluindo avaliações in-loco e via literatura técnica, sobre o emprego de CEQ em vários países, determinando quais as técnicas mais aplicadas e as habilidades

julgadas mais importantes para os praticantes.

- pesquisa sobre o ensino de CEQ nos cursos superiores de Engenharia e Estatística do Brasil, levantando conteúdo, carga horária e pré-requisitos das disciplinas.
- determinação do conteúdo do modelo para o ensino do CEQ para alunos de Engenharia, definindo sua abrangência e profundidade, de modo a procurar fazer com que os egressos saibam aplicar, delinear e interpretar os resultados das técnicas, e estejam conscientes das suposições e limitações de tais técnicas.
- definição da metodologia que será usada no modelo para o ensino do CEQ com o objetivo de atingir ao maior número possível de estilos de aprendizagem, procurando assim contribuir para a melhoria da aprendizagem dos conceitos.
- elaboração e implementação de um protótipo de Sistema Tutorial Inteligente que funciona como ambiente de consulta do conteúdo do modelo e de prática dos conceitos; trata-se de um ambiente do tipo “aprenda-fazendo” com acompanhamento das ações do usuário e recomendações personalizadas durante a resolução de problemas.

Outras contribuições poderiam também ser arroladas: a implementação e teste estatístico do gerador de números pseudo-aleatórios, a elaboração e teste de uma regra heurística de identificação de mudança brusca de nível em Gráficos de Controle, elaboração dos tutoriais de modo a procurar atingir todos os estilos de aprendizagem, entre outras.

É importante ressaltar, novamente, que na literatura pesquisada não foi encontrada nenhuma aplicação de Sistema Tutorial Inteligente ao ensino de Controle Estatístico da Qualidade. Além disso, a implementação do modelo proposto neste trabalho, pode causar uma melhoria no ensino do CEQ, e, portanto, no seu uso, resultando em uma maior exatidão da Avaliação da Qualidade dos produtos e processos. A consequência dessa melhoria será um

maior conhecimento sobre a própria Qualidade dos produtos e processos, o que atualmente é vital para as organizações.

O desenvolvimento deste trabalho não foi uma tarefa isenta de dificuldades. A seção a seguir irá enumerar algumas que foram encontradas durante o desenvolvimento do trabalho.

5.4 – Dificuldades encontradas

As dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do trabalho podem ser divididas basicamente em dois grupos: as decorrentes de aspectos operacionais e as decorrentes de aspectos conceituais.

5.4.1 – Dificuldades operacionais

Um dos principais problemas foi a obtenção de problemas reais para inclusão no Sistema Tutorial Inteligente. Houve certa dificuldade para obter informações das empresas, especialmente se relativas a algum problema da Qualidade de seus processos. Houve a necessidade de recorrer intensivamente à produção acadêmica, em forma de dissertações e teses, que descreviam processos produtivos e Característicos da Qualidade, os quais serviram como base para a grande maioria dos problemas que fazem parte do STCEQ. Recorreu-se também à informações disponibilizadas na INTERNET. Se para a obtenção de simples descrições de processos produtivos houve considerável dificuldade, que se dirá sobre os dados para elaboração dos Gráficos de Controle e Estudos de Capabilidade de Processos, motivando a implementação de geradores de números pseudo-aleatórios para fornecer os resultados.

Outra dificuldade residiu na pesquisa sobre o emprego de CEQ nas organizações. Nem todas as empresas contatadas permitiriam a avaliação in-loco de suas instalações⁴⁵, ou seus funcionários não responderam adequadamente os questionários.

Muitas instituições de ensino superior não responderam aos vários pedidos de informação sobre a existência de disciplinas de CEQ em seus cursos, e muito menos sobre seus conteúdos e metodologia. Cabe a este autor apenas especular sobre as razões para tal comportamento: a inexistência das disciplinas de CEQ (e a suposição de que a ausência de resposta significaria isso), desconhecimento do assunto por parte de quem recebeu o pedido de informações, consideração de que o pedido não era prioritário, entre outras.

O levantamento do estado da arte das aplicações de Inteligência Artificial e Informática em ensino de CEQ, e até mesmo em Estatística, foi consideravelmente complexo. Há poucas referências a respeito, situação diametralmente oposta à da aplicação de IA em reconhecimento de padrões em CEQ, onde há profusão de referências, especialmente nos periódicos “International Journal of Production Research” e “Computers and Industrial Engineering” (ver seção 2.6.6 e as Referências Bibliográficas).

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do STCEQ, que apresenta excelentes características para representar e processar o conhecimento necessário, não dispunha de muitos recursos para a construção de uma interface mais atrativa para o usuário. De fato, para a elaboração dos tutoriais e das apresentações dos problemas foi necessário recorrer à apresentações no Microsoft PowerPoint ®.

⁴⁵ Uma empresa de equipamentos de defesa nos EUA recusou-se a receber o autor por este não ser cidadão americano.

5.4.2 – Dificuldades conceituais

A determinação do conteúdo e do número de tutoriais que seriam incorporados ao STCEQ foi motivo de considerável reflexão. A simples extensão do conteúdo e a necessidade de aprofundamento em muitos tópicos dificultaram a determinação de como este conteúdo seria dividido entre os tutoriais, ou seja definir quantos tutoriais deveriam fazer parte, e como deveriam ser elaborados. Após muitas ponderações, considerou-se que a solução adotada, oitenta e dois tutoriais agrupados em onze áreas, era a mais adequada. Reconhece-se porém que mais tutoriais poderiam ser acrescentados (aumentando o conteúdo ou desdobrando os tutoriais existentes), o que poderá ser feito em novas versões do STCEQ.

Situação semelhante ocorreu quando da determinação das técnicas que iriam fazer parte dos problemas. Sendo o número extenso, optou-se pelas mais empregadas, de acordo com os resultados da pesquisa sobre o emprego do CEQ nas organizações (ver seções 2.4 e 5.2.1) sem porém se descuidar das menos conhecidas. As que ficaram de fora dos problemas, embora previstas no módulo Simulador do STCEQ, poderiam ser agregadas em futuras versões do sistema.

Mas, possivelmente, as dificuldades mais sérias surgiram quando foi necessário definir qual seria o formato dos tutoriais e das apresentações dos problemas, que deveria ser o mais amigável possível. Não se podia correr o risco de entediar o usuário, ou pior do que isso, dar a impressão de falta de seriedade ao utilizar uma abordagem “lúdica demais”. Assim, a solução adotada procurou na medida do possível motivar o usuário, usando elementos lúdicos quando apropriado, e procurando atingir todos os diferentes estilos de aprendizagem, e então aumentar as chances de melhorar o aprendizado dos usuários. Naturalmente, espera-se obter as impressões dos usuários, durante a aplicação do STCEQ, para avaliar a necessidade de modificações.

5.5 – Limitações do trabalho

Este trabalho apresenta algumas limitações, conforme já mencionado na seção 1.4.

O modelo para o ensino do CEQ apresentado foi desenvolvido tendo em mente um público alvo de estudantes de Engenharia. Supõe-se que tais estudantes cursaram pelo menos uma disciplina prévia de Estatística. Para diferentes públicos, operadores de chão de fábrica, supervisores, o modelo precisará ter seu conteúdo revisado, pelo menos, e cuidados extras na utilização do STCEQ deverão ser tomados.

O Sistema Tutorial Inteligente implementado admite dois tipos básicos de interação: a consulta livre de tutoriais e a resolução de problemas de CEQ. A adição de um eventual terceiro tipo exigiria muitas mudanças no sistema, especialmente na interface. No modo de consulta livre de tutoriais não há a possibilidade de realizar simulações dentro dos tutoriais, pretende-se corrigir isso nas próximas versões. Já no modo de resolução de problemas os problemas de interpretação de resultados foram priorizados, sendo os problemas de escolha e delineamento das técnicas deixados para as próximas versões do STCEQ. Também não há nenhum problema sobre processos produtivos *não* industriais, o que pode ser corrigido futuramente.

O STCEQ é uma aplicação “stand-alone”. Não há como operá-lo a partir de uma rede ou mesmo através da INTERNET, pelo menos por enquanto. Não obstante, o autor deste trabalho considera que sua filosofia básica permitiria a implementação em um ambiente distribuído sem maiores problemas.

As limitações do atual trabalho constituem uma inspiração para trabalhos futuros.

5.6 – Sugestões para trabalhos futuros

Quanto às sugestões para trabalhos futuros, muitas já foram apresentadas ao longo do trabalho, mas é possível salientar as mais importantes, classificando-as de acordo com alguns critérios.

5.6.1 – Extensão do modelo para o ensino do CEQ

Como extensões possíveis do modelo para o ensino do CEQ, proposto neste trabalho, podem ser enumeradas as seguintes sugestões:

- inclusão de problemas de escolha e delineamento de técnicas de CEQ (e também incorporá-los ao STCEQ).
- inclusão de problemas que apresentem dados com autocorrelação, e as técnicas que permitam lidar com tal situação (devido à popularização dos sistemas automáticos de coleta de dados a presença de autocorrelação nos dados tende a se tornar mais e mais freqüente, exigindo que isso seja visto nos processos de ensino); também incorporar tais características ao STCEQ.
- inclusão de problemas sobre aplicações de CEQ em processos não industriais (uma área pouco estudada, mas extremamente promissora); também incorporar tais problemas ao STCEQ.
- inclusão de um módulo sobre Planejamento de Experimentos (agregar problemas, o conhecimento sobre o tópico aos módulos Especialista e Tutor, além de tutoriais mais aprofundados), incorporando-o também ao STCEQ.
- inclusão de aspectos relativos a custos da Qualidade; há várias referências que poderiam servir de base para esta tarefa, tais como os trabalhos de Montgomery (1980,1997), Ho e Case (1994) e Turnes (1997); também incorporar tais aspectos ao STCEQ.

Este autor acredita que os tópicos citados anteriormente constituem temas promissores para pesquisas futuras, e que o seu desenvolvimento pode proporcionar uma grande melhoria no modelo para o ensino do CEQ proposto neste trabalho.

5.6.2 – Aspectos conceituais do STCEQ

O STCEQ poderia ser grandemente aperfeiçoado com a incorporação das seguintes características conceituais:

- estabelecimento de níveis de dificuldade para os problemas, de maneira que o usuário possa progressivamente passar para os mais complexos, após ter seu desempenho considerado adequado, de forma semelhante a um jogo de computador.
- agregar mecanismos que permitam levar em conta a opinião do usuário sobre os diagnósticos (para aperfeiçoar os módulos Especialista e Tutor).
- agregar mecanismos que permitam a apresentação de problemas e questões mais sofisticados, e inclusão de simulações interativas nos tutoriais.

O desenvolvimento das sugestões acima citadas representaria uma melhoria substancial nas capacidades do STCEQ.

5.6.3 – Aspectos operacionais do STCEQ

A implementação das seguintes sugestões poderia facilitar em muito a utilização, manutenção e expansão do STCEQ:

- migrar o protótipo do STCEQ do atual ambiente de desenvolvimento, o Kappa-PC®, para um ambiente de programação, mais flexível e com mais recursos gráficos.
- inclusão de mecanismos que simplifiquem o processo de incorporação de novos problemas ao STCEQ (por parte de um instrutor ou mesmo de um usuário).

- desenvolvimento de uma versão “web-based” do STCEQ, permitindo a sua utilização em ensino à distância.

O autor deste trabalho tem plena convicção de que, uma vez implementadas as sugestões acima, o STCEQ ganharia uma flexibilidade que possibilitaria a sua real disseminação como ferramenta de apoio ao ensino de CEQ.

O modelo para o ensino do CEQ, descrito neste trabalho, constitui uma alternativa para o ensino de Controle Estatístico da Qualidade. Sua estrutura poderia ser aplicada no ensino de outras áreas de conhecimento, a saber: a própria Estatística, a qual o CEQ está intrínseca e fortemente relacionado; diagnóstico médico com base em imagens (provenientes de radiografias e tomografias, ferramentas gráficas); diagnóstico de problemas com base em imagens aéreas.

O autor não considera que o tema desta tese termina aqui. Os pontos que merecem uma atenção mais imediata foram listados nas recomendações acima citadas, mas é plenamente possível, sendo intenção do autor, o desenvolvimento de uma linha de pesquisa sobre o ensino de Controle Estatístico da Qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALWAN L. e ROBERTS H.V. The Problem of Misplaced Control Limits. *Applied Statistics* 44 No.3, pp269-278, 1995.

ANASTASIOU, L. Metodologia do Ensino Superior para Professor Ingressante: curso no 5o Programa de Formação Pedagógica para os docentes da UFSC, 11-12 de maio de 1995a.

_____, O Professor no Processo de Ensino Aprendizagem: do Plano de Ensino à Avaliação: curso no 6o Programa de Formação Pedagógica para os docentes da UFSC, 02-03 de outubro de 1995b.

ANDERSON, M.J. Success with DOE: Understanding and Controlling Variables Results in Usefulness of Statistics. *Quality*, pp.38-44, April, 2000.

ANJARD, R.P. Understanding and applying Deming's primary concept of "profound knowledge". *Training for Quality*, Vol.3, No.3, pp. 8-12, 1995.

ASQC . W. Edwards Deming: a mission pursued on two continents. Disponível em <<http://www.asqc.org/deming.html>>. Acesso em 3/02/1999.

_____/ AIAG - American Society for Quality Control/Automotive Industry Action Group Task Force, *Statistical Process Control (SPC): Reference manual* - Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation, 1992.

ATIENZA, O.O., ANG, B.W., TANG, L.C. Statistical Process Control and Forecasting. *International Journal of Quality Science*, Volume 2, No.1, pp. 37-51, 1997.

BALESTRASSI, P.P. Identificação de Padrões em Gráficos de Controle Estatístico de Processos, sob o Regime de Tempo Real, Usando Redes Neurais e Séries Temporais. Florianópolis. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

BANKS, D. – "Is Industrial Statistics Out of Control?"- *Statistical Science: Volume 8, No. 4*, pp. 356-409, 1995

BARBETTA, Pedro A. *Estatística Aplicada às Ciências Sociais*. 4.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

BARRETO, J.M. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. Florianópolis: J.M. Barreto, 1997.

BARTMANN, F. C. *Idéias básicas sobre Controle Estatístico da Qualidade*. VII Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, Campinas, SP, 1986.

BESTERFIELD, D. H.. *Quality Control*. 3rd edition. Prentice-Hall International Editions, 1990.

BESTERFIELD, D. H., BESTERFIELD-MICHNA, C., BESTERFIELD, G. H., BESTERFIELD-SACRE, M. Total Quality Management. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

BITTENCOURT, G.. Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias. 2ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

BONDUELLE, G. M., Avaliação e Análise dos Custos da Má Qualidade na Indústria de Painéis de Fibras. Florianópolis. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

BRÄNSTROM-STENBERG, A., DELERYD, M. Implementation of Statistical Process Control and Process Capability Studies: requirements or free will? Total Quality Management, Vol. 10, Nos. 4 & 5, pp. 439-446, 1999.

CABELAUTO, cabos para automóveis S.A., Portugal. Disponível em <http://www.cabelte.pt/cabelauto/p_main.htm>. Acesso em 14/04/2001.

CAFÉ DO SÍTIO, torrefação e moagem de café. Disponível em <<http://www.cafedositio.com.br/cafes.htm>> . Acesso em 14/04/2001.

CAMPOS, H. de. Estatística Experimental Não Paramétrica. 4^a Ed. Piracicaba, SP: USP-ESALQ, 1983.

CAMPOS, V. Falconi. TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Otoni, 1992.

CÂNDIDO, M.A.B. Sistema de Apoio à Prática do CEP usando Reconhecimento de Sintático de Padrões. Florianópolis. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

CARVALHO, M. M. de, Um Sistema de Controle de Qualidade para a Indústria Têxtil. Florianópolis. 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

CASCIO, J., WOODSIDE, G., MITCHELL, P., ISO14000 Guide: The New International Environmental Management Standards. New York: McGraw-Hill, 1996

CAULCUTT R. The Rights and Wrongs of Control Charts. Applied Statistics 44 No.3, pp279-288, 1995.

CECHINEL, C., REIS, M.M., OHIRA, M., NASSAR, S. M.. The Use of an Expert System to Support Statistics Teaching. Proceedings of Computers and Advanced Technology in Education (CATE'99), Philadelphia, Pennsylvania, EUA, 1999.

_____, e MOREIRA,L. Sistema Especialista de Apoio ao Ensino de Estatística. Florianópolis. Julho de 1998. Trabalho de Conclusão de Curso de Ciências da Computação – UFSC.

CHACON REINOSO, G. R.. An Expert Fuzzy Advisor for the Statistical Control of Manufacturing. Arlington, TX, EUA. 1989. PhD Thesis- University of Texas at Arlington.

- CHANG, S.I., AW, C.A. A neural fuzzy control chart for detecting and classifying process mean shifts. *International Journal of Production Research*, vol.34, no.8, pp. 2265-2278, 1996.
- CHEN, F. T. A Personal Computer Based Expert System Framework for the Design of Experiments. *Computers in Industrial Engineering*, Vol. 21, Nos. 1-4, pp 197-200, 1991.
- CHENG, C.-S. A Neural Network Approach for the Analysis of Control Chart Patterns. *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No. 3, pp 667-697, 1997.
- _____, HUBELE, N. F., Design of a Knowledge-based Expert System for Statistical Process Control. *Computers in Industrial Engineering*, Vol. 22, No. 4, pp 501-517, 1992.
- CHENG, P.C.-H. Simulation Based Training For Statistical Process Control. Disponível em <http://www.psychology.nottingham.ac.uk/research/credit/projects/statistical_process_control/>. Acesso em 23/04/2001.
- _____, DAWSON, S.D. A Study of Statistical Process Control: practice, problems and training needs. *Total Quality Management*, Volume 9, No. 1, pp. 3-20, 1998.
- CHUANG, P.-T. An Expert Multivariate Statistical Control System for Manufacturing Processes (Control Systems). Arlington, TX, EUA, 1992. PhD Thesis - University of Texas at Arlington
- CLARKSON, D.B. Re: Information about one of your papers [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <marcelo@inf.ufsc.br> em 6 de julho de 1999.
- _____, DONELL, D., HUNT, E., MADIGAN, D., MINSTRELL, J., TRAYNOR, C. VITAL: An Intelligent Tutorial System for Statistics. *Proceedings of the Section on Statistical Education*. American Statistical Association, pp. 88-93, 1994.
- CURILEM, G.M. Tutoriais Inteligentes. Seminário da disciplina de Inteligência Aplicada à Educação, Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFSC, Florianópolis, SC, 1998.
- DACHS, J. N. W., *Estatística Computacional*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1988.
- DAGLI, C. H., STACEY, R. A Prototype Expert System for Selecting Control Charts. *International Journal of Production Research*, Vol. 26, No. 5, pp 987-996, 1988.
- DAHLGAARD, J.J., KRISTENSEN, K., KANJI, G.K., JUHK, H.J., SOHAL, A.S. Quality Management Practices: a comparative study between East and West, *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 15, No. 8/9, pp. 812-826, 1998.
- DE RÉ, A. M. Sistemas Conexionistas Adaptativos Aplicados a Problemas de Controle de Tráfego Urbano. Florianópolis. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- DELERYD, M., GARVARE, R., KLEFSJÖ, B., Experiences of implementing statistical methods in small enterprises. *The TQM Magazine*. Volume 11, No. 5, pp. 341-350, 1999.
- DELLA, R. Harley Rides High on SPC Changes. *Quality*, pp. 40-43, January, 2000.

- DEMING, W. E. *Qualidade: a Revolução na Administração*. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.
- DEVIJVER, P.A., KITTLER, J. *Pattern Recognition: A Statistical Approach*. London: Prentice-Hall International Co., 1982.
- DIAMANTE, Salina. Disponível em <<http://www.salbrasil.com.br/bem.htm>>. Acesso em 14/04/2001.
- DOGDU, S., SANTOS, D. L. The Paradigm Shift in Statistical Process Control Due to the Latest Developments in Computer Technology. *Computers in Industrial Engineering*, Vol. 35, Nos. 1-2, pp 177-180, 1998.
- DU PLESSIS, J.P., VAN BILJON, J.A., TOLMIE, C.J., WOLLINGER, T. A Model for Intelligent Computer-Aided Education Systems. *Computers & Education*, Vol. 24, No.2, pp 89-106, 1995.
- DUNCAN, A. J. *Quality Control and Industrial Statistics*. 5th edition. Illinois: Irwin, 1986.
- DURKIN, John. *Expert Systems Design and Development*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1994.
- EPPRECHT, E. K., MACHADO NETO, W. M. Um Sistema a Base de Conhecimentos para Assistência em Controle Estatístico da Qualidade, ENEGEP, 1996.
- EVANS, J. R., LINDSAY, W. M. A Framework for Expert System Development in Statistical Quality Control. *Computers in Industrial Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp 335-343, 1988.
- FALTIN, F.W., MASTRANGELO, C.M., RUNGER, G.C., RYAN, T.P. Considerations in the Monitoring of Autocorrelated and Independent Data, *Journal of Quality Technology*, Vol. 29, No.2, pp. 131-133, April, 1997
- FARINHA TUPÃ. Disponível em <<http://www.peixer.com.br/homeport.htm>>. Acesso em 14/04/2001.
- FEIGENBAUN, A. V. *Total Quality Control*. New York: McGraw-Hill Co., 1983.
- FELDER, R.M. Matters of Style. *ASEE Prism*, Vol. 6, No.4, pp. 18-23, 1996.
- _____, SILVERMAN, L.K. Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Engineering Education*, Vol.78, No.7, pp.674-681, 1988.
- FREEMAN, J., EVANGELIOU, N. Simulation for Training in Quality Control. *Training for Quality*. Vol. 4, No.1, pp.27-31, 1996.
- FREITAS, A., ANACLETO, J., MORÁBITO, R. N., KIRNER, C., Algoritmos Genéticos e sua Aplicação ao Problema de Corte de Barras, *Anais do I Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, Rio Claro, SP, Setembro de 1993.
- FU, K.S. *Syntatic Pattern Recognition and Applications*. New Jersey: Prentice-Hall, 1982.

- GARDNER, H. A Estrutura da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas. Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 1995.
- GARVIN, D. A. Competing in the Eight Dimensions of Quality. Harvard Business Review, Sept-Oct 1987.
- GOLDBERG, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading, MA, EUA: Addison-Wesley, 1989.
- GRANT, E. L., LEAVENWORTH, R. S. Statistical Quality Control. 5th edition. New York: McGraw-Hill, 1980.
- GUIA ABRIL do Estudante 99. São Paulo: Editora Abril, 1998.
- GUO, Y., DOOLEY, K. J. Identification of Change Structure in Statistical Process Control. International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 7, pp 1655-1669, 1992.
- HAWKINS, D.M., OLWELL, D.H., Cumulative Sum Charts and Charting for Quality Improvement. New York: Springer Verlag, 1998.
- HO, C., CASE, K.E., Economic Design of Control Charts: a literature review for 1981-1991. Journal of Quality Technology, Vol.26, No.1, pp. 39-53, 1994.
- HONG, E., O'NEIL Jr., H.F. Instructional Strategies to Help Learners Build Relevant Mental Models in Inferential Statistics. Journal of Educational Psychology, Vol. 84, No.2, pp. 150-159, 1992.
- HWARNG, H. B. Multilayer Perceptrons for Detecting Cyclic Data on Control Charts. International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 11, pp 3101-3117, 1995.
- _____, CHONG, C.W. Detecting Process Non-Randomness through a Fast and Cumulative Learning ART – based Pattern Recognizer. International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 7, pp 1817-1833, 1995.
- IRMÃOS PARASMO, Indústria Mecânica. Disponível em <<http://www.parasmo.com.br/index.html>>. Acesso em 14/04/2001.
- ISHIKAWA, K. Guide to Quality Control. Tokyo: Asian Prod. Organization, 1990
- JORDAN, L.A. Beyond Six-Sigma. Tampa, FL: Transformation Technologies, 1999.
- JURAN, J. M., GRZYNA Jr., F. M., BINGHAM Jr., R. S. Quality Control Handbook. 3rd edition. New York: McGraw-Hill Co., 1979.
- KASABOV, N. Foundation of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering. MIT Press, 1996.
- KEARSLEY, G. Artificial Intelligence and Instruction Applications and Methods. Addison-Wesley, June, 1987.

- KOEHLER, C. Uma Abordagem Probabilística para Sistemas Especialistas. Florianópolis. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)- Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, UFSC.
- KOSKO, B. Neural Networks and Fuzzy Systems. New Jersey, EUA: Prentice-Hall, Inc., 1992.
- LAGO NETO, J.C. O Efeito da Autocorrelação em Gráficos de Controle para Variável Contínua: Um Estudo de Caso. Florianópolis. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- LAMPRECHT, J. L. ISO9000: Preparing for Registration. Milwaukee: ASQC Quality Press, 1992.
- LEE, T.Y., LEUNG, H.K.N., CHAN, K.C.C. Report on a consultancy study on companies and organizations in Hong-Kong. The Hong-Kong Quality Journey, SAR, 1997.
- LLAUGEL, F., CONFESOR, S. Computer-Aided Statistical Quality Control. Computers in Industrial Engineering, Vol. 33, Nos. 1-2, pp 125-128, 1997.
- LUCAS, J. M. Counted Data CUSUM's. Technometrics, Vol. 27, No.2, pp.129-144, 1985.
- MAFRA, A. T., Proposta de Indicadores de Desempenho para a Indústria de Cerâmica Vermelha. Florianópolis. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- MALHEIROS, R. de C. da C., Análise de Sistemas Industriais a Filière Avícola de Santa Catarina. Florianópolis. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- MANFRIM Comercial e Industrial Ltda. Disponível em < <http://www.manfrim.com.br/>>. Acesso em 25/04/2001.
- MARCY, W.M. Re: Information about SIMPLE [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <mmreis@eng.usf.edu> em 11 de fevereiro de 2000.
- _____, HAGLER, M.O. Implementing Issues in SIMPLE Learning Environments. IEEE Transactions on Education, Vol.39, No.3, pp. 423-429, August, 1996.
- MOMM, D. D., Planejamento, Desenvolvimento e Lançamento de uma Linha de Mesinhas para Produção em Série. Florianópolis. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments. 3rd. Edition. New York: John Wiley, 1991.
- _____, Introduction to Statistical Quality Control. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- _____, The Economic Design of Control Charts: A Review and Literature Survey. Journal of Quality Technology, Vol.12, No.2, 1980.

MURRAY, T. Authoring Intelligent Systems: An Analysis of the State of the Art. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 10, pp 98-129, 1999.

NASSAR, Silvia M. Sistema Estatístico Inteligente para Apoio a Pesquisas Médicas. Florianópolis, Dezembro de 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSC.

NEAVE, H.R., "I shall teach... the theory of a system and cooperation". *Training for Quality*, Volume 4, No.4, 1996, pp.25-31.

NIEVOLA, J. C. Sistema Inteligente para Auxílio ao Ensino em Traumatologia Crânio-Encefálica. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSC.

O'SULLIVAN, P. Psychological Aspects of Computer-Based Training for Statistical Process Control. Edinburgh. 1995. Dissertation (Master Degree in Cognitive Science and Natural Language)- University of Edinburgh.

PALADINI, E. P. Controle de Qualidade: uma Abordagem Abrangente. São Paulo: Editora Atlas, 1990.

_____, Gestão da Qualidade no Processo. São Paulo: Editora Atlas, 1995.

_____, Qualidade Total na Prática. São Paulo: Editora Atlas, 1997.

PALM, A. C., RODRIGUEZ, R. N., SPIRING, F. A., WHEELER, D. J., Some perspectives and Challenges for Control Chart Methods, *Journal of Quality Technology*, Volume 29, No.2, pp. 122-127, April 1997.

PALMER, C. Controle Total da Qualidade. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

PETRUS, C. R. F. J. S., Diagnóstico da Qualidade Utilizando Ferramentas Estatísticas e Modelo de Relacionamento com Fornecedores em uma Indústria Cerâmica. Florianópolis. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC

PHAM, D. T., OZTEMEL, E. Control Chart Pattern Recognition Using Learning Vector Quantization Networks. *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 3, pp 721-729, 1994.

QUALISINTER, Produtos Sinterizados Ltda. Disponível em <
<http://www.qualisinter.com.br/>> .Acesso em 14/04/2001.

RABITT, J. T., BERGH, P.A. The ISO 9000 Book: a global competitor's guide to compliance and certification. 2nd edition. New York: Quality Resources, 1994

RABUSKE, R.A. Inteligência Artificial. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

POZO, A.T. R. Sistema Inteligente para Treinamento do Controle da Infecção Hospitalar. Florianópolis, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSC.

- POZO, A.T. R. Um Sistema de Ensino Inteligente via Sociedade de Multi-Agentes Aplicado ao Diagnóstico da Epilepsia. Florianópolis, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSC.
- RAO, S.S., RAGU-NATHAN, T.S., SOLIS, L.E. Does ISO9000 have an effect on quality management practices? An international empirical study. *Total Quality Management*, Vol. 8, No. 6, pp. 335-346, 1997.
- REINHARDT, B., SCHEWE, S. A Shell for Intelligent Tutoring Systems. *Proceedings of Artificial Intelligence in Education*. USA: AACE, pp83-90, 1995
- REYE, J. A Goal-Centred Architecture for Intelligent Tutoring Systems. *Proceedings of Artificial Intelligence in Education*. USA: AACE, pp307-314, 1995
- REYNOLDS, JR., M. R., STOUMBOS, Z. G. A general approach to modeling CUSUM charts for a proportion. *IIE Transactions*, Vol. 32, pp.515-535, 2000.
- RIPASA, S.A., Celulose e Papel. Disponível em <<http://www.ripasa.com.br/index.htm>>. Acesso em 14/04/2001.
- RUSSEL, S.J., NORVIG, P. *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1995.
- SIEGEL, S. *Estatística Não-Paramétrica (para as Ciências do Comportamento)*. São Paulo: McGraw-Hill Editora, 1975.
- SLATOR, B. M., SCHWERT, D., SAINI-EIDUKAT, B. Phased Development of a Multi-Modal Virtual Education World, *Proceedings of Computers and Advanced Technology in Education (CATE'99)*, Philadelphia, Pennsylvania, EUA, 1999.
- SMITH, A. E. \bar{X} and R Control Chart Interpretation Using Neural Computing. *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 2, pp 309-320, 1994.
- SQUIRES, D., PREECE, J. Usability and Learning: Evaluating the Potential of Educational Software. *Computers & Education*, Vol. 27, No. 1, pp 15-22, 1996.
- STARKEY, M., BREWIN, R. OWEN, M. Learning to learn: from facts to knowledge. *Training for Quality*. Volume 4, No. 4, pp. 6-11, 1996.
- StatSoft, Inc. (1995). *STATISTICA for Windows: Electronic Manual*. Tulsa, Oklahoma, USA, 1995.
- TAGUCHI, G., ELSAYED, E. A., HSIANG, T. *Quality Engineering in Production Systems*. New York: McGraw-Hill Co., 1989.
- TAHA, P., *Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica da Produção de Surimi*. Florianópolis. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- THORNTON, R.V. The Role of ISO9000/14000 in Helping Prepare Companies for the Millenium. *The Quality Observer*, pp.26-48, 1999.

TURNES, O. Custos da Qualidade: Planejamento Econômico dos Gráficos de Controle por Atributos e Modelos Correlatos. Florianópolis. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

ULTRAFERTIL E FOSFERTIL S.A.. Disponível em <
<http://www.ultrafertil.ind.br/index.html> >. Acesso em 25/04/2001.

VAVASSORI, F. B. Ferramentas e Agentes para um Ambiente de Aprendizado na WEB. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, UFSC.

VIEIRA, M. L. H., Modelagem de um Sistema de Controle por Lógica Difusa Empregado na Secagem por Atomização de Produtos Cerâmicos. Florianópolis. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

VIOT, G. Fuzzy Logic in C, Dr. Dobb's Journal, February, 1993.

WANG, J.H, RAZ, T. On the construction of control charts using linguistic variables. International Journal of Production Research, 1990, vol28, no.3, pp 477-487.

WESTERN ELECTRIC COMPANY, Inc. Statistical Quality Control Handbook. New York: Mack Printing Company, 1956.

WHEELER, D.J. Advanced Topics in Statistical Process Control: the power of Shewhart's Charts. Knoxville, TN: SPC Press Inc., 1995.

WOODALL, W.H., MONTGOMERY, D.C., Research Issues and Ideas in Statistical Process Control. Journal of Quality Technology, Volume 31, No.4, pp.376-386, October, 1999.

XIE, M., GOH, T.N. Statistical Techniques for Quality. The TQM Magazine, Volume 11, No.4, pp. 238-241, 1999.

YAMAKAWA, Amidos. Disponível em <
<http://www.amidosyamakawa.com.br/fundo.shtml>>. Acesso em 25/04/2001.

ZHU, Z., SCHEUERMANN, L. A comparison of quality programmes: Total Quality Management and ISO9000. Total Quality Management, Vol.10, No.2, pp.291-297, 1999

ANEXO A – Questionário sobre CEQ

QUESTÕES SOBRE CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE

1. Sua empresa usa Controle Estatístico de Processos?

SIM – Vá para a Questão 2) Não – Vá para a Questão 15.

2. Quando (mês/ano) a empresa decidiu implementar o CEP?

3. Por que a empresa decidiu implementar o CEP?

exigência de cliente para obter algum certificado de Qualidade Outra _____

4. Que técnicas do CEP estão sendo usadas?

Cartas de Controle Estudos de Capabilidade Inspeção por Amostragem
 Planejamento de Experimentos Outras _____

5. Como a informação é coletada e como é apresentada?

Usando um sistema computadorizado – apresentada na tela de um computador
 Manualmente pelos operadores – apresentada usando um display manual outro _____

6. Houve algumas mudanças na estrutura da empresa devido à implementação do CEP?

Não Pequenas mudanças Grandes mudanças

7. Quais foram as necessidades de treinamento geradas pela implementação do CEP?

apenas os conceitos do CEP CEP e Estatística CEP e informática
 CEP, Estatística e informática Outras _____

8. Que tipos de empregados receberam o treinamento? Quantas pessoas?

operadores ____ supervisores ____ gerentes ____ engenheiros ____ outros ____

9. Quais foram os métodos de treinamento utilizados?

treinamento por consultoria externa treinamento por pessoal da empresa
 treinamento durante a própria operação outro _____

10. Qual foi a frequência e duração do treinamento?

11. Quais abordagens foram usadas para apresentar os conceitos de CEP e de Estatística?

palestras vídeos aulas práticas treinamento baseado em computador
 outro _____

12. Que conhecimento prévio os funcionários deveriam ter (identifique pelas letras a e b)?

a) Operários/supervisores b) Engenheiros/gerentes

sem conhecimento prévio em estatística _____
 sem conhecimento prévio de informática _____
 conhecimento básico de estatística (média, variância, histogramas) _____
 informática básica (sistema operacional, processador de texto, planilha) _____
 outro _____

13. Sua empresa teve problemas ao implementar o CEP?

atitudes dos treinandos material usada no treinamento
 equipamento usado na implementação do CEP mudanças estruturais devido ao CEP
 Outros _____

14. Quais são os benefícios percebidos da utilização do CEP?

padrão de Qualidade atingido maior satisfação do cliente Outros _____

FIM

15. Por que sua empresa não usa o CEP?

16. Sua empresa pretende implementar o CEP?

SIM Quando? _____
 NÃO Por que não? _____

FIM

ANEXO B – Ensino de CEQ no Brasil

Neste anexo serão primeiramente apresentados os cursos de Engenharia e de Estatística atualmente existentes no Brasil, de acordo com o Guia Abril do Estudante 99 [Guia Abril,1998]. Posteriormente serão apresentadas as ementas das disciplinas.

Curso	Instituição	Endereço
Engenharia: Computação, Mecânica, Elétrica, Produção	Instituto de Tecnologia da Amazônia	Av. Darcy Vargas, 1200, Manaus, AM, CEP 69050- 020
Engenharia Elétrica	Universidade do Amazonas	http://www.fua.br Manaus, AM
Estatística	Universidade do Amazonas	http://www.fua.br Manaus, AM
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Universidade Federal do Pará	http://www.ufpa.br Belém, PA
Engenharia: elétrica, produção	Centro de Estudos Superiores de Maceió	http://www.fejal.com.br Maceió, AL
Engenharia química	Universidade Federal de Alagoas	http://www.reitoria.ufal.com .br Maceió, AL
Estatística	Escola Superior de Estatística da Bahia	R. S. Raimundo, 15, Salvador , BA, CEP 40080- 240
Engenharia de Alimentos	Universidade Estadual de Feira de Santana	http://www.uefs.br Feira de Santana, BA
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Universidade Federal da Bahia	http://www.ufba.br Salvador, BA
Estatística	Universidade Federal da Bahia	http://www.ufba.br Salvador, BA
Engenharia química	Universidade Salvador	http://www.svn.com.br Salvador, BA
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade de Fortaleza	http://www.unifor.com.br Fortaleza, CE
Engenharia: elétrica, alimentos, mecânica, química	Universidade Federal do Ceará	http://www.ufc.br Fortaleza, CE
Estatística	Universidade Federal do Ceará	http://www.ufc.br Fortaleza, CE
Engenharia de Produção	Universidade Regional do Cariri	gabinete@urca.br Crato, CE
Engenharia industrial: elétrica, mecânica	Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão	Av. Getúlio Vargas, 4, São Luís, MA, CEP 65025-001
Engenharia Mecânica	Universidade Estadual do Maranhão	http://www.uema.br São Luís, MA
Engenharia elétrica	Universidade Federal do Maranhão	http://www.ufma.br São Luís, MA

Curso	Instituição	Endereço
Estatística	Universidade Estadual da Paraíba	http://www.uepb.rpp.br Campina Grande, PB
Engenharia: alimentos, elétrica, materiais, mecânica, produção, química	Universidade Federal da Paraíba	http://www.ufpb.br João Pessoa, PB
Engenharia química	Universidade Católica de Pernambuco	http://www.unicap.br Recife, PE
Estatística	Universidade Católica de Pernambuco	http://www.unicap.br Recife, PE
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade de Pernambuco	http://www.upe.br Recife, PE
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Universidade Federal de Pernambuco	http://www.npd.ufpe.br Recife, PE
Estatística	Universidade Federal de Pernambuco	http://www.npd.ufpe.br Recife, PE
Engenharia: elétrica, mecânica, produção, têxtil, química	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	http://www.ufrnet.ufrn.br Natal, RN
Estatística	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	http://www.ufrnet.ufrn.br Natal, RN
Engenharia: elétrica, química	Faculdade Pio Décimo	aecpd@transnet.com.br Aracaju, SE
Engenharia Química	Universidade Federal de Sergipe	http://www.ufs.br Aracaju, SE
Estatística	Universidade Católica de Brasília	http://www.ucb.br Brasília, DF
Engenharia: elétrica, mecânica, mecatrônica	Universidade de Brasília	http://www.unb.br Brasília, DF
Estatística	Universidade de Brasília	http://www.unb.br Brasília, DF
Engenharia de alimentos	Universidade Católica de Goiás	http://www.ucg.br Goiânia, GO
Engenharia elétrica	Universidade Federal de Goiás	http://www.ufg.br Goiânia, GO
Engenharia elétrica	Universidade Federal de Mato Grosso	http://www.cpd.ufmt.br Cuiabá, MT
Engenharia elétrica	Universidade Federal do Mato Grosso do Sul	reitor@nin.ufms.br Campo Grande, MS
Engenharia elétrica	Universidade para o Desenvolvimento do Estado e do Pantanal	http://www.misinternet.com.br Campo Grande, MS
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade Federal do Espírito Santo	http://www.ufes.br Vitória, ES
Estatística	Universidade Federal do Espírito Santo	http://www.ufes.br Vitória, ES
Engenharia industrial	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais	http://www.cefetmg.br Belo Horizonte, MG

Curso	Instituição	Endereço
Engenharia: alimentos, produção	Centro Universitário do Triângulo	http://www.triang.com.br/fit Uberlândia, MG
Engenharia: elétrica, mecânica, mecatrônica, produção	Escola Federal de Engenharia de Itajubá	http://www.efei.br
Engenharia: alimentos, mecânica	Faculdade de Engenharia de Varginha	http://www.sepesmig.com.br Varginha, MG
Engenharia: alimentos, mecânica	Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas	http://www.fepesmig.com.br Varginha, MG
Engenharia Industrial	Fundação de Ensino Superior de São João Del Rei	http://www.funrei.br São João Del Rei, MG
Engenharia Industrial	Instituto Católico de Minas Gerais	Av. Tancredo Neves, 3500, Coronel Fabriciano, MG, CEP 35170-056
Engenharia elétrica	Instituto Nacional de Telecomunicações de Santa Rita do Sapucaí	http://www.inatel.com.br Santa Rita do Sapucaí, MG
Engenharia: elétrica, mecânica, mecatrônica	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais	http://www.pucminas.br Belo Horizonte, MG
Engenharia elétrica	Universidade de Alfenas	http://www.unifenas.br Alfenas, MG
Engenharia industrial	Universidade de Itaúna	http://www.prover.com.br/uniiit Itaúna, MG
Engenharia elétrica	Universidade de Uberaba	http://www.uniube.br Uberaba, MG
Engenharia: elétrica, química	Universidade do Estado de Minas Gerais	http://www.uemg.br Belo Horizonte, MG
Engenharia elétrica	Universidade Federal de Juiz de Fora	http://www.ufjf.br Juiz de Fora, MG
Engenharia: elétrica, mecânica, mecatrônica, química	Universidade Federal de Minas Gerais	http://www.ufmg.br Belo Horizonte, MG
Estatística	Universidade Federal de Minas Gerais	http://www.ufmg.br Belo Horizonte, MG
Engenharia de produção	Universidade Federal de Ouro Preto	http://www.ufop.br Ouro Preto, MG
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Universidade Federal de Uberlândia	http://www.ufu.br Uberlândia, MG
Engenharia de alimentos	Universidade Federal de Viçosa	http://www.ufv.br Viçosa, MG
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade Vale do Rio Doce	http://www.bis.com.br/univale Governador Valadares, MG
Engenharia Industrial	Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil	http://www.cetiqt.senai.com.br Rio de Janeiro, RJ

Curso	Instituição	Endereço
Engenharia: elétrica, industrial, produção	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca	depes@cefet.rj.br Rio de Janeiro, RJ
Estatística	Escola Nacional de Ciências Estatísticas	ence@ibge.gov.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia elétrica	Faculdade da Cidade	Av. Epitácio Pessoa, 1664, Rio de Janeiro, RJ, CEP 22471-000
Engenharia mecânica	Fundação Técnico-Educacional Souza Marques	http://www.access-selecao.com.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia: elétrica, mecânica, materiais, química	Instituto Militar de Engenharia	http://www.ime.eb.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia: mecatrônica, elétrica, mecânica, produção, química	Pontifícia Universitária Católica do Rio de Janeiro	http://www.puc-rio.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia de produção	Universidade Castelo Branco	http://www.castelobranco.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade Católica de Petrópolis	reitoria@risc.ucp.br Petrópolis, RJ
Engenharia: elétrica, mecânica, produção, química	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	http://www.uerj.br Rio de Janeiro, RJ
Estatística	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	http://www.uerj.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia: alimentos, elétrica	Universidade Estácio de Sá	http://www.estacio.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia de materiais	Universidade Estadual do Norte Fluminense	http://www.uenf.br Campos dos Goytacazes
Engenharia: elétrica, mecânica, produção, química	Universidade Federal do Rio de Janeiro	http://www.ufrj.br Rio de Janeiro, RJ
Estatística	Universidade Federal do Rio de Janeiro	http://www.ufrj.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia: elétrica, mecânica, produção, química	Universidade Federal Fluminense	http://www.uff.br Niterói, RJ
Engenharia: alimentos, química	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	http://www.ufrjr.br Itaguaí, RJ
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Universidade Gama Filho	http://www.ugf.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia de alimentos	Universidade Salgado de Oliveira	http://www.ibase.org.br/~universo São Gonçalo, RJ
Estatística	Universidade Salgado de Oliveira	http://www.ibase.org.br/~universo São Gonçalo, RJ

Curso	Instituição	Endereço
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade Santa Úrsula	http://www.usu.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade Severino Sombra	fissbibl@br.homeshopping.com.br Vassouras, RJ
Engenharia elétrica	Universidade Veiga de Almeida	http://www.uva.br Rio de Janeiro, RJ
Engenharia de produção	Centro Universitário Nove de Julho	http://www.9julho.br São Paulo
Engenharia elétrica	Centro Universitário Salesiano de São Paulo	http://www.salesianos.org.br Americana, SP
Engenharia elétrica	Escola de Engenharia de Lins	http://www.fpted.br Lins, SP
Engenharia mecânica	Escola de Engenharia de Piracicaba	http://www.eep.br Piracicaba, SP
Engenharia industrial	Escola de Engenharia Industrial Mecânica de São José dos Campos	Av. Br. Do Rio Branco, 882, São José dos Campos, SP, CEP 12242-800
Engenharia: alimentos, elétrica, mecânica, produção, química	Escola de Engenharia Mauá	http://www.maua.br São Caetano do Sul, SP
Engenharia elétrica	Faculdade de Ciências Econômicas e Administrativas de Osasco	http://www.fito.br Osasco, SP
Engenharia elétrica	Faculdade de Engenharia de Sorocaba	http://www.facens.com.br Sorocaba, SP
Engenharia elétrica	Faculdade de Engenharia Einstein	einstein@waitsoft.com.br Limeira, SP
Engenharia: elétrica, mecânica, produção, química, têxtil	Faculdade de Engenharia Industrial	http://www.fei.br São Bernardo do Campo, SP
Engenharia: industrial, química	Faculdade de Engenharia Química de Lorena	http://www.fauenquil.br Lorena, SP
Estatística	Faculdades Capital	http://www.capital.br São Paulo, SP
Engenharia química	Faculdades Osvaldo Cruz	http://www.oswaldocruz.br São Paulo, SP
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Fundação Armando Álvares Penteado	http://www.faap.br São Paulo, SP
Engenharia: alimentos, elétrica	Fundação Educacional de Barretos	http://www.feb.br Barretos, SP
Engenharia: alimentos, elétrica, mecânica, produção, química	Instituto Mauá de Tecnologia	http://www.maua.br São Caetano do Sul
Engenharia: aeronáutica, eletrônica, mecânica	Instituto Tecnológico de Aeronáutica	http://www.ita.cta.br São José dos Campos, SP
Engenharia elétrica	Pontifícia Universidade Católica de São Paulo	http://www.pucsp.br São Paulo, SP

Curso	Instituição	Endereço
Engenharia: alimentos, produção, química	Universidade Bandeirante de São Paulo	http://www.uniban.com.br São Paulo, SP
Engenharia: industrial, mecatrônica, mecânica, produção	Universidade Braz Cubas	http://www.netmogi.com.br/ubc Mogi das Cruzes, SP
Engenharia química	Universidade Camilo Castelo Branco	unicast@eu.ansp.br São Paulo, SP
Engenharia: elétrica, mecatrônica	Universidade Cruzeiro do Sul	http://www.eu.ansp.br/~unic-sul São Paulo, SP
Engenharia: produção, química	Universidade de Franca	http://www.unifran.br Franca, SP
Engenharia química	Universidade de Guarulhos	http://www.eu.ansp.br/~ung/ Guarulhos, SP
Engenharia: alimentos, elétrica, mecânica, produção	Universidade de Marília	http://www.unimar.br Marília, SP
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Universidade de Mogi das Cruzes	http://www.umc.br Mogi das Cruzes, SP
Engenharia química	Universidade de Ribeirão Preto	http://unaerp.br Ribeirão Preto, SP
Engenharia: elétrica, materiais, mecânica, mecatrônica, produção, química	Universidade de São Paulo	http://www.usp.br São Paulo, SP
Estatística	Universidade de São Paulo	http://www.usp.br São Paulo, SP
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade de Taubaté	http://www.unitau.br Taubaté, SP
Engenharia: mecânica, produção	Universidade do Grande ABC	http://www.uniabc.br São Caetano do Sul
Engenharia: elétrica, materiais	Universidade do Vale do Paraíba	http://www.univap.br São José dos Campos, SP
Engenharia: alimentos, mecatrônica, elétrica, mecânica, química	Universidade Estadual de Campinas	http://www.unicamp.br Campinas, SP
Estatística	Universidade Estadual de Campinas	http://www.unicamp.br Campinas, SP
Engenharia: alimentos, elétrica, mecânica, produção	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	http://www.unesp.br São Paulo, SP
Engenharia: materiais, produção, química	Universidade Federal de São Carlos	http://www.ufscar.br São Carlos, SP
Estatística	Universidade Federal de São Carlos	http://www.ufscar.br São Carlos, SP
Engenharia: elétrica, materiais, mecânica, química	Universidade Mackenzie	http://www.mackenzie.br São Paulo, SP

Curso	Instituição	Endereço
Engenharia: industrial, produção, química	Universidade Metodista de Piracicaba	http://www.unimep.br Piracicaba, SP
Engenharia: alimentos, produção	Universidade Metropolitana de Santos	R. da Constituição, 374, Santos, SP, CEP11015-472
Engenharia: elétrica, mecânica, mecatrônica, produção, química	Universidade Paulista	http://www.unip-objetivo.br São Paulo, SP
Engenharia: elétrica, industrial, química	Universidade Santa Cecília	http://www.stcecilia.br Santos, SP
Engenharia: elétrica, industrial, mecânica, mecatrônica	Universidade São Francisco	http://www.usf.com.br Bragança Paulista, SP
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade São Judas Tadeu	http://www.saojudas.br São Paulo, SP
Engenharia elétrica	Universidade São Marcos	http://www.server.smarcos.br São Paulo, SP
Engenharia: elétrica, industrial, mecânica, produção	Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná	http://www.cefetpr.br Curitiba, PR
Engenharia de alimentos	Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel	http://www.ffalm.com.br Bandeirantes, PR
Engenharia: alimentos, mecatrônica, elétrica, mecânica, produção, química	Pontifícia Universidade Católica do Paraná	http://www.pucpr.br Curitiba, PR
Engenharia elétrica	Universidade Estadual de Londrina	http://www.uel.br Londrina, PR
Engenharia: têxtil, química	Universidade Estadual de Maringá	http://www.uem.br Maringá, PR
Engenharia: alimentos, materiais	Universidade Estadual de Ponta Grossa	http://www.uepg.br Ponta Grossa, PR
Engenharia de alimentos	Universidade Estadual do Centro-Oeste	http://www.tecpar.br/unicen tro Guarapuava, PR
Engenharia elétrica	Universidade Estadual do Oeste do Paraná	http://www.unioeste.br Cascavel, PR
Eng.:elétrica, química	Universidade Federal do Paraná	http://www.ufpr.br Curitiba, PR
Estatística	Universidade Federal do Paraná	http://www.ufpr.br Curitiba, PR
Engenharia: alimentos, elétrica	Universidade Norte do Paraná	http://www.unopar.embratel Londrina, PR
Engenharia: alimentos, elétrica, mecânica, produção	Universidade Tuiuti do Paraná	http://www.super.br/tuiuti Curitiba, PR
Engenharia: alimentos, mecânica	Fundação Universitária do Rio Grande	http://www.furg.br Rio Grande, RS

Curso	Instituição	Endereço
Engenharia: elétrica, mecânica, mecatrônica, química	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	http://www.pucrs.br Porto Alegre, RS
Engenharia elétrica	Universidade Católica de Pelotas	http://www.ucpel.tche.br Pelotas, RS
Engenharia: mecânica, química	Universidade de Caxias do Sul	http://www.ucs.tche.br Caxias do Sul, RS
Engenharia: alimentos, elétrica, mecânica	Universidade de Passo Fundo	http://www.upf.tche.br Passo Fundo, RS
Engenharia: mecânica, produção	Universidade de Santa Cruz do Sul	http://www.unisc.br Santa Cruz do Sul, RS
Engenharia: elétrica, mecânica, produção, alimentos	Universidade do Vale do Rio dos Sinos	http://www.unisinos.tche.br São Leopoldo, RS
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Universidade Federal de Santa Maria	http://www.ufsm.br Santa Maria, RS
Engenharia: alimentos, elétrica, materiais, mecânica, química	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	http://www.ufrgs.br Porto Alegre, RS
Estatística	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	http://www.ufrgs.br Porto Alegre, RS
Engenharia: elétrica, mecânica, química	Universidade Luterana do Brasil	http://www.ulbra.tche.br Canoas, RS
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul	http://www.unijui.tche.br Ijuí, RS
Engenharia: alimentos, industrial	Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões	http://www.st.com.br/urireitoria Erechim, RS
Engenharia: elétrica, mecânica	Universidade do Estado de Santa Catarina	http://www.udesc.br Florianópolis, SC
Engenharia: produção, química	Universidade do Oeste de Santa Catarina	reitor@unoesc.rct-sc.br Chapecó
Engenharia: produção, química	Universidade do Sul de Santa Catarina	http://www.unisul.rct-sc.br Tubarão, SC
Engenharia: alimentos, elétrica, mecânica, produção, química	Universidade Federal de Santa Catarina	http://www.ufsc.br Florianópolis, SC
Engenharia: industrial, química	Universidade Regional de Blumenau	http://www.furb.rct-sc.br Blumenau, SC

Ementas das disciplinas obtidas

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade de Fortaleza	Controle Industrial de Qualidade Pré-requisito: Estatística e Probabilidade 3 créditos	Graduação em Engenharia Mecânica - OBRIGATÓRIA Graduação em Engenharia Elétrica - OPTATIVA	Gráficos de controle, planos de amostragem simples, dupla e múltipla por atributos, aspectos da administração de um sistema de controle de qualidade.
Universidade Federal da Paraíba	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: Cálculo das Probabilidades e Estatística 3 créditos	Graduação em Engenharia Mecânica OPTATIVA	Sistema de controle total da qualidade. Custos e aspectos do controle de qualidade. Controle de processo e padrão subjetivos. Controle Estatístico de Qualidade. Gráficos de Variáveis e de Atributos. Tabelas. Investigação de processo
	Controle de Qualidade Pré-requisito: Cálculo das Probabilidades e Estatística 4 créditos	Graduação em Química Industrial OBRIGATÓRIA	Introdução: histórico e conceitos gerais. Controle de Fabricação: conceitos, controle de variáveis e de atributos. Inspeção de qualidade: completa e por amostragem, simples e dupla. Administração da qualidade: organização do sistema e fluxo de informações
	Controle de Qualidade de Alimentos Pré-requisito: Cálculo das Probabilidades e Estatística 3 créditos	Graduação em Engenharia de Alimentos OBRIGATÓRIA	Necessidade de controle de qualidade em alimentos. Princípios gerais. Organização de controle de qualidade de alimentos. Atributos de qualidade em alimentos. Desenvolvimento de controle de qualidade em alimentos. Padrões em alimentos. Amostragem e controle de qualidade em alimentos específicos.
Universidade Católica de Pernambuco	Controle de Qualidade I Pré-requisito: ? 4 créditos	Graduação em Estatística OBRIGATÓRIA	CONTROLE DE QUALIDADE Objetivos, Ciclo, Especificação, Tolerância; Atributos e Variações; DEFEITOS E DEMÉRITO; GRÁFICOS DE CONTROLE Introdução Esq. E Finalidades, Tipos de Gráficos, Formação de Subconjuntos racionais. Tamanho da Amostra; DISTRIBUIÇÃO NORMAL Sumário, Diferenças significantes; CONTROLE DE VARIÁVEIS Gráficos da média, Normas conhecidas e desconhecidas; ESTUDOS DA DISPERSÃO Gráficos do Desvio Padrão e da Amplitude, Normas Conhecidas e desconhecidas; SISTEMA INGLÊS DE CONTROLE; LIMITES DE CONTROLE E ESPECIFICAÇÕES Comparação e interpretação; CONTROLE DE ATRIBUTOS Aplicação gráfica da fração defeituosa e do número total de defeituosos; Gráficos de defeituosos pela unidade e do número de defeitos na amostra, distribuição binomial, hipergeométrica e Poisson, Sumário e aplicações.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade Católica de Pernambuco	Controle de Qualidade II Pré-requisito: ? 4 créditos	Graduação em Estatística OBRIGATÓRIA	<p>ATRIBUTOS Inspeção completa e por amostragem; NÍVEIS DE QUALIDADE Riscos do produtor e do consumidor; NÚMEROS DE ACEITAÇÃO E DE REJEIÇÃO Probabilidades de Aceitação e de Rejeição; CURVA CARACTERÍSTICA DE OPERAÇÃO Definição, Finalidades; POSIÇÃO E DECLIVIDADE DA CCO Poder Discriminante do Plano de Amostragem, Curva ideal, Construção da CCO; AMOSTRAGEM Tábuas e Planos de Amostragem Simples, Trajeto Aleatório, Planos que especificam os riscos do Produtor e do Consumidor; TÁBUAS DAS DISTRIBUIÇÕES Binomiais, Poisson, Tábua de Peach; PLANOS QUE ESPECIFICAM UM PONTO DA CCO Condições independentes, Critérios falhos; AMOSTRAGEM DUPLA Trajeto Aleatório; PLANOS QUE ESPECIFICAM Riscos, Tábua de Peach, Um ponto da CCO; TABUAS DAS NORMAS ABC-STD-105 Inspeção Comum, Severa e Atenuada; ABC-STD-105 Níveis de Inspeção, Curvas Características de Operação; TÁBUAS SL E DL DE DODGE E ROMIG SSS da Philips; INSPEÇÃO RETIFICADORA QMR e QMRL; CONSIDERAÇÕES PARA A ESCOLHA ADEQUADA DE UM PLANO DE AMOSTRAGEM; AMOSTRAGEM SEQÜENCIAL Esquema Plano, Trajeto Aleatório; AMOSTRAGEM MULTIPLA Esquema e Plano, Tábuas; GESTÃO DA QUALIDADE.</p>
Universidade Federal de Pernambuco	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: Inferência 60 horas	Graduação em Estatística OPTATIVA	Teoria Geral de Controle; gráfico de controle por fração defeituosa e por número de defeitos por unidade, gráfico de controle por variáveis (por média, por amplitude e por desvio padrão); Planos de amostragem por atributo (amostragem simples, duplo, seqüencial e múltiplo) e planos de amostragem por variáveis (com desvio padrão conhecido e desconhecido).
Universidade Federal de Minas Gerais	Engenharia da Qualidade II Pré-requisito: ? 3 créditos	Pós-graduação em Engenharia de Produção	Controle de Qualidade, confiabilidade, manutenção e suporte logístico integrado; Diagrama de controle de atributos e variáveis; Interpretação: análise de tendências, diagramas CUSUM; Amostragem para aceitação, curva da função característica de operação; Normas MIL-STD; Confiabilidade, relação com controle de qualidade. Conceitos de FMEA e FTA.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade Federal de Minas Gerais	Engenharia de Qualidade III Pré-requisito: ? 3 créditos	Pós-graduação em Engenharia de Produção	Pesquisa experimental e métodos estatísticos. Princípios e métodos estatísticos. Princípios básicos de planejamento de experimentos. Experimentos fatoriais e fatoriais fracionados. Experimentação seqüencial. Contribuições de Taguchi para a engenharia da qualidade. Introdução à regressão múltipla. Métodos simples de superfície de resposta. Operação evolutiva (EVOP).
Universidade Federal de Uberlândia	Controle de Qualidade Pré-requisito: ? 60 horas	Graduação em Engenharia Química OPTATIVA	A Qualidade como estratégia: Qualidade x Produtividade Custos da Qualidade O conceito de Qualidade Total/Normas Aspectos Legais e gerenciamento de Qualidade
	Controle Estatístico de Processos Pré-requisito: 60 horas	Graduação em Engenharia Química OPTATIVA	Qualidade (aspectos básicos). Métodos estatísticos aplicados a análise de qualidade. Métodos e filosofia do controle estatístico de processos. "Control Charts" (atributos e variáveis) Análise de capacidade de processo Projeto de experimentos Amostragem.
CEFET-RJ	Normalização e Confiabilidade Pré-requisito: Probabilidade e Estatística 4 créditos	Graduação em Engenharia Industrial Elétrica OBRIGATÓRIA Graduação em Engenharia Industrial Mecânica OBRIGATÓRIA	Interpretações estatísticas; Propriedades da distribuição normal; Diagrama de probabilidade; Controle de qualidade direto; Realização de testes de aceitabilidade de peças com determinadas características de qualidade; Visita às Indústrias.
	Sistemas de Qualidade Pré-requisito: Normalização e Confiabilidade 3 créditos	Graduação em Engenharia Industrial Elétrica OBRIGATÓRIA	Definição, conceito e evolução da qualidade; Sistemas da Qualidade; Normalização e padronização; Documentação; Controle do Processo; Tratamento de não conformidades; Auditoria da Qualidade; Técnicas estatísticas; Custos da Qualidade; TQC- Controle da Qualidade Total; Produtividade; Garantia da Qualidade; Implantação de TQC.
	Gerência e Controle da Qualidade Pré-requisito: Introdução à Pesquisa Operacional	Graduação em Engenharia de Produção Elétrica OBRIGATÓRIA	Elementos de qualidade; O sistema de qualidade; Especificações técnicas; Tolerância; Controle de processos; Inspeção por amostragem; Conceitos de confiabilidade; Controle de qualidade total em empresa.
	Inspeção e Controle de Qualidade Pré-requisito: não há	Graduação em Administração Industrial OBRIGATÓRIA	Objetivos; Métodos de inspeção e análise de resultados; Controle de qualidade: método estatístico; Distribuições teóricas; Testes de hipóteses; Estimacão de parâmetros; Gráficos de controle; Planos de amostragem; Teste de duração e confiabilidade.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Escola Nacional de Ciências Estatísticas	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisitos: Inferência Estatística, Tecnologia da Amostragem	Graduação em Estatística OBRIGATÓRIA	A Era da Inspeção. A Era do Controle Estatístico de Qualidade. A Era da Garantia da Qualidade. Gestão Estratégica da Qualidade.
Escola Federal de Engenharia de Itajubá	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisitos: ? 45 horas	Especialização em Qualidade e Produtividade (pós-graduação) OPTATIVA	Características de processos; Experimento e amostragem: Inspeção por atributos e por variáveis; Estimadores mais comuns; Cartas de controle por variáveis e por atributos; Gráficos de controle; Controle estatístico de processo. Análise da capacidade de processo.
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	Controle da Qualidade Pré-requisitos: IND 1113+90 créditos 3 créditos	Graduação em Engenharia de Produção. OBRIGATÓRIA	Elementos de Qualidade; O sistema de Qualidade; Gráficos de controle para atributos; gráficos de controle para variáveis; Métodos especiais para controle de processos - soma cumulativa (CUSUM) e amortecimento exponencial; Inspeção por Amostragem; Aplicações de projetos de experimentos.
Universidade Estadual do Rio de Janeiro	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: Probabilidade e Estatística II 3 créditos	Graduação em Engenharia de Produção OBRIGATÓRIA	Objetivos de Controle de Qualidade. Métodos Estatísticos: distribuições teóricas, testes de hipótese, estimação de parâmetros. Gráficos de controle. Plano de amostragem: conceitos, tipos. Testes de duração e confiabilidade. Organização de um Departamento de Controle de Qualidade.
Universidade Católica de Petrópolis	Controle Estatístico da Qualidade III Pré-requisito: ?	Graduação em Engenharia Mecânica - ênfase em Engenharia da Qualidade	Conceitos básicos; controle estatístico; Gráficos de controle; Inspeção por controle de variáveis e de atributos; Diagramas de Pareto e causa-efeito; Noções de projetos de experimento; Plano de amostragem. Confiabilidade e Manutenib.
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	Controle de Qualidade na Indústria de Alimentos Pré-requisito: Estatística Básica e Matérias-primas alimentícias 3 créditos	Graduação em Engenharia de Alimentos OBRIGATÓRIA Graduação em Engenharia Química OPTATIVA	Organização e atribuições do laboratório de Controle de Qualidade; medida de atributos de qualidade, desenvolvimento de padrões, notações e compilação; finalidades e princípios da análise sensorial.
Fundação de Ensino Superior de São João Del Rei	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: Probabilidade e Estatística 60 horas	Graduação em Engenharia Industrial Elétrica OBRIGATÓRIA	Conceitos básicos da qualidade industrial; Controle estatístico de processos: Gráficos de controle e capacidade do processo; Ins. de qualidade; Administração da qualidade.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Fundação de Ensino Superior de São João Del Rei	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: nenhum 60 horas	Graduação em Engenharia Industrial Mecânica OBRIGATÓRIA	Fundamentos teóricos do controle de qualidade e do controle estatístico de qualidade. Qualidade industrial. Normas; Controle de fabricação: gráficos de controle, controle de variáveis, controle de atributos; Inspeção de qualidade: inspeção de atributos, Amostragem; Administração do controle de qualidade; Aplicação do controle de qualidade; Atividades de Laboratório/Campo: Testes de aceitabilidade de lotes de peças com determinadas características de qualidade; Campo: Visitas a setores de controle de qualidade de unidades industriais.
Universidade Federal de Ouro Preto	Controle de Qualidade e Seleção de Materiais Pré-requisito: Tratamento Térmico dos Metais 4 créditos - 75 horas	Graduação em Engenharia Metalúrgica OBRIGATÓRIA	Introdução; Conceito de Produtividade; Controle Total da Qualidade (TQC); Controle Estatístico de Processos; Ciclo PDCA; Ferramentas do TQC; Normalização; Ensaio não destrutivo; Seleção de materiais: critérios, estudos de casos; Seleção de materiais: etapas, planejamento, requisitos funcionais; Projetos assistidos por computador; Economia x materiais.
Universidade Católica de Petrópolis	Controle Estatístico da Qualidade III	Graduação em Engenharia mecânica (ênfase em engenharia da qualidade)	Conceitos básicos; Controle estatístico; Gráficos de controle; Inspeção por controle de variáveis e de atributos; Diagramas de Pareto e causa-efeito; Noções de projetos de experimento; Plano de amostragem. Confiabilidade e Manutenibilidade.
	Sistemas da Qualidade II	Graduação em Engenharia mecânica (ênfase em engenharia da qualidade)	História da qualidade; Conceitos básicos; Elementos do sistema da qualidade (normas da série ISO 9000).
	Inspeções e Testes II	Graduação em Engenharia mecânica (ênfase em engenharia da qualidade)	Conceitos básicos; Ensaio destrutivo; Ensaio não-destrutivo; Processos especiais; Programação; Documentação.
	Garantia da Qualidade	Graduação em Engenharia mecânica (ênfase em engenharia da qualidade)	Documentos da qualidade: programa, manual, normas e registros. Normalização técnica. Redação de normas. Controle de não-conformidade e ações corretivas. Auditoria.
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	Normalização e Controle da Qualidade Pré-requisito: Estatística	Graduação em Engenharia Química OBRIGATÓRIA	Normalização técnica; conceitos básicos da qualidade industrial; inspeção e metrologia; Conceitos de Estatística e Probabilidades; Conceitos Básicos de Amostragem; Curva Carac. de Operação; Amostragem p/ atributos; Amostragem p/ Variáveis; Controle Estatístico do Processo; Normas ISO9000 - Estudos e Aplicações; Gestão participativa; Auditoria da qualidade; Custos da Qualidade; Código de Defesa do Consumidor.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade de Marília	Controle de Qualidade na Indústria de Alimentos Pré-requisitos: ? 4 créditos	Graduação em Engenharia de Alimentos OBRIGATÓRIA	Princípios gerais do controle de qualidade; Normas e padrões atuais de identidade e qualidade para alimentos; Avaliação da qualidade em alimentos; Conceitos estatísticos aplicados ao controle de qualidade; Boas práticas de fabricação. Análise de perigos e pontos críticos de controle; Garantia e certificação de qualidade, de acordo com as normas da série ISO; O conceito de qualidade total e sistemas de gerenciamento da qualidade; Estudo de casos.
	Controle de Qualidade Pré-requisito: ? 4 créditos	Graduação em Engenharia de Produção Mecânica OBRIGATÓRIA	Conceituação de Qualidade e Gerenciamento; Controle de qualidade por variáveis e atributos, especificação de tolerâncias, curva característica de operação; Aceitação por inspeção para produção contínua, planos de amostragem simples e múltipla MIL – STD 105D; Cartas de controle para proporções, contagens, médias e desvios; Controle estatístico do processo. Pensadores da Qualidade.
Universidade de São Paulo	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: ? 4 créditos	Graduação em Estatística OPTATIVA	O conceito de qualidade; Sistemas de qualidade; Filosofias de gerenciamento da qualidade; O gerenciamento total da qualidade; O controle estatístico de processos; Análise de capacidade de processos; Procedimentos de inspeção por amostragem; Confiabilidade.
	Controle da Qualidade Pré-requisito: Estatística Aplicada à Produção 4 créditos	Graduação em Engenharia de Produção	Conceito da qualidade; Fatores da qualidade; Qualidade do produto e do processo; Controle estatístico dos processos; Razões para o controle estatístico dos processos; Gráficos de controle por variáveis e por atributos; Inspeção por amostragem; Confiabilidade; Delineamento de experimentos; Metrologia.
	Análise Estatística da Qualidade Pré-requisito: ? 4 créditos	Pós-graduação em Engenharia de Produção	Necessidades e padrões atuais; definições de confiabilidade; Manutenibilidade; Disponibilidade e segurança; Confiabilidade e Manutenibilidade; Qualidade e Confiabilidade em diferentes tipos de processos produtivos; Confiabilidade e qualidade através do projeto: análise de curvas de taxas de falhas; análise preventiva das falhas; modos de falhas e análise dos efeitos; Modelos de solução e problemas: métodos qualitativos, métodos quantitativos; Controle Estatístico de Qualidade; Delineamento de Experimentos; Correlação e Regressão.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade Estadual de Campinas	Controle de Qualidade Pré-requisito: Análise Sensorial de Alimentos 3 créditos	Graduação em Engenharia de Alimentos OBRIGATÓRIA	Princípios gerais sobre controle de qualidade; Definições e objetivos; Padrões de qualidade para alimentos; Metodologia; Amostragem e cartas de controle; Correlação entre medidas objetivas e subjetivas.
	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: Estatística Elementar, Estatística Descritiva e Documentária, Probabilidade I 4 créditos	Graduação em Estatística OPTATIVA Graduação em Engenharia Mecânica OPTATIVA	Controle de qualidade por variáveis e atributos, especificações de tolerância, curva característica de operação; Aceitação por inspeção para produção contínua, planos de amostragem simples e múltipla, norma MIL-STD 105D; Cartas de controle para proporções, contagens, médias e desvios; Tabelas Dodge e Romig.
	Fundamentos da Engenharia de Qualidade Pré-requisito: Usinagem dos materiais, Introdução à Estatística 2 créditos	Graduação em Engenharia Mecânica OBRIGATÓRIA	Filosofia do Controle de Qualidade; Aspectos Estatísticos do Controle de Qualidade; Controle do Processo.
	Controle de Qualidade Pré-requisito: ?	Pós-graduação em Engenharia de Alimentos	Conceitos básicos em Controle de Qualidade; Organização e Gestão da Qualidade na Indústria de Alimentos; Controle de Processo e Métodos de Inspeção de Qualidade; Método de Taguchi e Diagrama de Pareto.
Universidade Federal de São Carlos	Controle Estatístico da Qualidade Pré-requisito: Métodos Estatísticos Aplicados à Engenharia de Produção 4 créditos	Graduação em Engenharia de Produção (Agro-industrial, Materiais e Química) OBRIGATÓRIA	Conceitos básicos de Controle; Introdução à Metrologia Industrial; Controle Estatístico de Processos; Capabilidade do Processo; Inspeção por Amostragem; Análise do Efeito e do Modo de Falha.
	Tópicos de Qualidade Industrial Pré-requisito: Gestão da Qualidade 2 créditos	Graduação em Engenharia de Produção (Agro-industrial, Materiais e Química) OPTATIVA	Planos de Inspeção por Variáveis; Sistemas de Inspeção para Produção Contínua; Sistema de Garantia da Qualidade; Sistema de Informação para Controle da Qualidade; Qualidade e Exportação.
	Garantia da Qualidade Pré-requisito: Métodos Estatísticos Aplicados à Engenharia de Produção 4 créditos	Graduação em Engenharia de Produção (Materiais e Química) OBRIGATÓRIA	Economia e Administração da Qualidade; Controle e Inspeção; Controle Estatístico de Qualidade; Novas Estratégias de Gestão da Qualidade.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade Federal de São Carlos	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: ? 60 horas	Pós-graduação em Estatística OPTATIVA (Ementa semelhante a da disciplina oferecida para a graduação em Estatística)	1. Qualidade e Produtividade: Significado e relação mútua entre qualidade e produtividade, teorias de Deming e Taguchi, círculos de controle de qualidade; 2. Custos de qualidade; 3. Controle total de qualidade e métodos estatísticos; 4. Controle estatístico do processo: gráficos de controle para atributos, gráficos de controle para variáveis, capacidade do processo; 5. Planos de inspeção por amostragem: planos para atributos, planos para variáveis; 6. Planejamento de experimentos e controle de qualidade.
Universidade Metodista de Piracicaba	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: ? 3 créditos	Pós-graduação em Engenharia de Produção	Conceitos Fundamentais de Variação, População e Amostra; Tipos de Variáveis Aleatórias; Ferramentas Básicas de CEP, Principais Modelos Probabilísticos Contínuos e Discretos; Cálculo de Probabilidades e Intervalos de Confiança, Reconhecimento de Distribuições, Esquema Geral Gráficos de Controle; Capacidade de Processos, Projeto Econômico dos Gráficos de Controle.
CEFET-PR	Estatística Aplicada à Engenharia de Produção Pré-requisito: ? 16 horas	Especialização em Engenharia de Produção (pós-graduação)	Distribuições; Curva Normal; Planos de Amostragem, Controle Estatístico de Processos; Processos Estocásticos; Teoria das Filas.
PUC - PR	Planejamento de Experimentos I Pré-requisito: ?	Graduação em Engenharia Produção Mecânica OBRIGATÓRIA	Análise de Variância para modelos com um fator e dois fatores. Delineamento completamente casualizado. Delineamento em Blocos Casualizados. Ajuste de superfícies de respostas.
	Planejamento de Experimentos II Pré-requisito: ?	Graduação em Engenharia Produção Mecânica OBRIGATÓRIA	Delineamento em quadrados latinos, quadrado greco-latino, quadrado de Younden, delineamento cross-over. Experimento fatorial . Delineamento robusto de Taguchi.
	Qualidade I Pré-requisito: ?	Graduação em Engenharia Produção Mecânica OBRIGATÓRIA	Conceitos Básicos. Controle Total da Qualidade. Economia da Qualidade. Sistemas de Organização e Gestão da Qualidade. Motivação e Gestão Participativa. Processos de Avaliação da Qualidade. Qualidade no Projeto e no Processo. Normas de Especificação e Ensaio. Padronização de Empresas e a série ISO 9000. Manutenção Produtiva Total. Noções de Planejamento Estratégico.
	Qualidade II Pré-requisito: ?	Graduação em Engenharia Produção Mecânica OBRIGATÓRIA	Controle Estatístico da Qualidade: Controle Estatístico de Processos, Planos de Amostragem, Inspeção por Amostragem e Atributos, Confiabilidade, Outras ferramentas estatísticas para Controle de Qualidade.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade Federal do Paraná	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: ?	Graduação em Engenharia Florestal OPTATIVA	Controle de Qualidade; Controle de Fabricação; Controle por Variáveis; Controle por Atributos; Inspeção de Qualidade; Administração e Controle da Qualidade.
PUC-RS	Controle de Qualidade Pré-requisito: ?	Graduação em Engenharia Química OBRIGATÓRIA	Conceitos Fundamentais do Controle da Qualidade; Técnicas de controle da qualidade; gestão participativa; Inspeção de Qualidade; Metrologia; Controle de Processos de Fabricação; Confiabilidade do Sistema; Custo do Controle da Qualidade; Projeto; Organização do Controle da Qualidade.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: ? 3 créditos	Pós-graduação em Engenharia de Produção	Introdução à Engenharia da Qualidade: métodos quantitativos de diagnóstico, monitoramento e otimização dirigidos à garantia da qualidade; Ferramentas de diagnóstico; Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade: Gráficos de controle para variáveis, Gráficos de controle para atributos. Estudos de Capabilidade do processo; Estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade; Técnicas avançadas de controle estatístico: carta de soma acumulada, cartas de média móvel, controle multivariado; Operação evolucionária (EVOP); As idéias de Taguchi sobre qualidade: a função de perda quadrática e a filosofia de melhoria contínua da qualidade; Aceitação por amostragem. Curva característica de operação; Planos de amostragem simples, múltiplos e seqüenciais; Discussão das normas militares de amostragem.
	Controle Estatístico de Qualidade 4 créditos Pré-requisito: Amostragem I, Inferência Estatística I	Graduação em Estatística OBRIGATÓRIA	Introdução CEQ, conceitos de processo produtivo, evolução da técnicas estatísticas para qualidade, linguagem típico do CEQ; Inspeção por Amostragem, Níveis de qualidade e riscos, CCO, Conceito e análise, planos AQL e LTPD; Tábuas de amostragem, introdução às tábuas, norma MIL-STD105D; Sete ferramentas, coleta de dados, fluxograma, Pareto, Histograma, Diagrama de dispersão, estratificação, folha de verificação; Gráfico de controle, Introdução; Gráfico de Controle por Variáveis, gráfico de média, gráfico de amplitude, gráfico de desvio-padrão, gráfico de medidas individuais; Gráfico de controle por atributos, gráfico p e np, gráfico c e U; Capabilidade do processo, Introdução, índices de capabilidade do processo, Análise de capabilidade do processo; Outras técnicas, idéias sobre métodos utilizados no CEQ, Pré-controle, função perda de Taguchi, confiabilidade, análise de tolerâncias, Repetibilidade e reprodutibilidade.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Planejamento de Experimentos 4 créditos Pré-requisito: Inferência Estatística II	Graduação em Estatística OBRIGATÓRIA	Experimentos e seus objetivos, etapas para organização dos experimentos (tratamentos, unidades experimentais, observações, princípios básicos de experimentação, número de repetições); Delineamento completamente casualizado, blocos casualizados e quadrado latino; Experimentos fatoriais; Análise de Covariância.
	Planejamento de Experimentos Industriais 4 créditos Pré-requisito: Planejamento de Experimentos	Graduação em Estatística OBRIGATÓRIA	Experimentos fatoriais 2k e 3k, Confundimento em experimentos fatoriais; Experimentos fatoriais fracionários; Experimentos com parcela subdividida; Metodologia de superfície de resposta e técnicas relacionadas; Planejamento em blocos incompletos.
Universidade Luterana do Brasil	Garantia de Qualidade I Pré-requisito: ?	Graduação em Engenharia Mecânica OBRIGATÓRIA	Conceitos fundamentais, contexto histórico, personalidades, controle da Qualidade (inspeção, pontos de inspeção, terminologia, tipos de inspeção, resultados de ensaios, análises e ações corretivas). Gerenciamento da qualidade, TQC, princípios de Deming, ferramentas técnicas para solução de problemas (fluxogramas, folha de verificação, diagrama de Pareto, diagrama de causa e efeito, carta de tendência, histograma, diagrama de dispersão, cartas de controle) normalização.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	Controle Estatístico de Qualidade Pré-requisito: Inferência Estatística 4 créditos	Graduação em Estatística OBRIGATÓRIA (há uma disciplina com ementa semelhante na pós-graduação).	Introdução ao controle de qualidade; Conceitos de qualidade total; Controle estatístico de qualidade; Gráficos de controle; Inspeção de qualidade por atributos e por variáveis.
Universidade Federal de Santa Catarina	Garantia de Qualidade Pré-requisitos: Métodos Estatísticos, Planejamento e Controle da Produção 3 créditos	Graduação em Engenharia de Produção OBRIGATÓRIA	Qualidade: Conceitos Básicos; Qualidade de Projeto e de Conformação; Controle Total de Qualidade; Garantia de Qualidade; Sistemas de Qualidade: organização, estrutura e funcionamento. Gestão da Qualidade; Motivação à Qualidade; Relações Básicas do Controle de Qualidade: processos produtivos, clientes e fornecedores; Controle Estatístico de Processos; Processos de Avaliação da Qualidade; Planos de Amostragem.
	Controle Estatístico de Processos Pré-requisito: Garantia de Qualidade 3 créditos	Graduação em Engenharia de Produção OPTATIVA	Introdução à Estatística Industrial; Controle Estatístico de Processo; Capabilidade do Processo; Cartas de Controle por Variáveis; Cartas de Controle por Atributos; Inspeção por Amostragem; Controle Econômico de processos; normas para amostragem e inspeção.

Instituição	Disciplina	Curso	Ementa/ programa
Universidade Federal de Santa Catarina	Estatística Aplicada ao Controle de Alimentos Pré-requisito: ? 3 créditos	Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos	População, Amostra; Distribuições especiais; Testes de Hipóteses; Introdução e Controle de Fabricação; Inspeção de Qualidade; Introdução aos Testes Não Paramétricos.
	Avaliação da Qualidade Pré-requisito: ? 3 créditos	Pós-graduação em Engenharia de Produção	Introdução; Controle Estatístico de Processos (CEP); O Estudo de Capabilidade de Processos; Gráficos de Controle; Controle por Variáveis; Gráficos X, R e S; Desenvolvimento; Interpretação; Processos Práticos de Implantação; Controle por Atributos; Gráficos de Controle por Atributos: Desenvolvimento; Interpretação; Processos Práticos de Implantação; O Conceito de Inspeção de Qualidade; Importância, Natureza e Confiabilidade da Inspeção; Inspeção por Amostragem. Amostragem para a Inspeção por Atributos; Estrutura dos Planos de Amostragem; Amostragem para a Inspeção por variáveis: Elementos Básicos do Plano; Critérios de Decisão; Normas Básicas para a Inspeção por Amostragem; O Modelo Básico da Inspeção por Atributos (Normas NBR 5425, 5426, 5427); O Modelo Básico da Inspeção por Variáveis (Normas NBR 5429, 5430).
	Fundamentos da Engenharia da Qualidade Pré-requisito: ? 3 créditos	Pós-graduação em Engenharia Mecânica	Introdução à Engenharia da Qualidade. Qualidade Total: Conceitos Básicos de TQC, TQC/CQTE - Qualidade Total em Toda Empresa, ferramentas básicas de TQC, CCQ - Círculos de Controle da Qualidade, os 14 pontos de Deming, inspeção e CEP - Controle Estatístico do Processo, ISO 9000; Qualidade no projeto: QFD - Quality Function Deployment, Engenharia simultânea. Projeto do experimento: variabilidade, análise de variância, matrizes ortogonais, interpretação dos resultados do experimento, projeto de parâmetros e tolerâncias.
Universidade Regional de Blumenau	Normalização e Qualidade Industrial Pré-requisitos: ?	Graduação em Engenharia Industrial Elétrica OBRIGATÓRIA	Princípios gerais. Amostragem e carta de controle. Sistemas de garantia de qualidade. Normalização Industrial. Custos da Qualidade. Ações Técnicas (J.I.T. CEP - Kambam). Metodologia de Análise e Soluções de Problemas.

ANEXO C – Lista completa dos tutoriais

Lista completa dos Tutoriais

Área 1 – Conceitos da Qualidade e Gerenciamento Total da Qualidade

Compreendem os tutoriais relacionados aos conceitos básicos da Qualidade e Gerenciamento Total da Qualidade (Total Quality Management – TQM). Compreende as principais definições, além de menções a ISO9000, ISO14000, Benchmarking, QFD e outros conceitos.

No.	Título	Descrição	Etapas
1	Definição da Qualidade	Apresenta as definições da Qualidade (por diversos autores), e as suas características principais.	Etapa1 – Mal entendidos comuns sobre a Qualidade Etapa2 – Percepção da Qualidade (as dimensões da Qualidade de Garvin). Etapa3 – Definição de Juran (conseqüências). Etapa4 – Definição de Deming (conseqüências). Etapa5 – Definição de Taguchi (conseqüências).
2	Terminologia da Qualidade	Apresenta as definições para a nomenclatura usada.	Etapa1 – O que é processo Etapa2 – Característicos e Características da Qualidade. Etapa3 – Escolha dos Característicos da Qualidade. Etapa4 – O que é Avaliação da Qualidade? Etapa5 – Avaliação por variáveis ou por atributos Etapa6 – Variabilidade Etapa7 – Especificações Etapa8 – Métodos Estatísticos Etapa9 – Não conformidades, defeitos.
3	Filosofias da Qualidade	Apresenta um breve histórico e os detalhes das principais filosofias da Qualidade	Etapa1 – Cronograma da história da Qualidade Etapa2 – Deming Etapa3 – Juran Etapa4 – Taguchi Etapa5 – Ligação entre Qualidade e Produtividade
4	Definição de Gerenciamento Total da Qualidade (TQM)	Apresenta o conceito de Gerenciamento Total da Qualidade, seu propósito e requisitos para implementação.	Etapa1 – Gerenciamento na vida “real”. Etapa2 – Por que gerenciar a Qualidade? Etapa3 – Por que gerenciamento “total”. Etapa4 – Propósito do TQM. Etapa5 – Requisitos para implementação.
5	Conceitos do Gerenciamento Total da Qualidade	Apresenta os conceitos que constituem a estrutura do Gerenciamento Total da Qualidade.	Etapa1 – Liderança. Etapa2 – Satisfação do cliente. Etapa3 – Envolvimento dos empregados. Etapa4 – Contínua melhoria do processo. Etapa5 – Parceria com fornecedores. Etapa6 – Medidas de desempenho.
6	Papel do CEQ no Gerenciamento Total da Qualidade.	Apresenta a função desempenhada pelo CEQ para permitir a consecução do propósito do Gerenciamento Total da Qualidade.	Etapa1 – Por que Estatística? Etapa2 – Onde o CEQ pode ajudar? Etapa3 – Controle Estatístico de Processos. Etapa4 – Aceitação por Amostragem Etapa5 – Planejamento de Experimentos.
7	O que é ISO9000?	Apresenta os principais aspectos e objetivos da série de certificados ISO9000 e ISO14000.	Etapa1 – Definição, Objetivos e Limitações. Etapa2 – ISO9001, quem deve usá-lo. Etapa3 – Elementos do ISO9001. Etapa4 – ISO9002, ISO9003, ISO9004, quem deve usá-los. Etapa5 – ISO14000, definição.

No.	Título	Descrição	Etapas
8	Benchmarking e QFD	Apresenta os conceitos de Benchmarking e Desdobramento da Função da Qualidade (QFD).	Etapa1 – Definição de Benchmarking. Etapa2 – Razões para realizar benchmarking. Etapa3 – Definição do Desdobramento da Função da Qualidade (QFD). Etapa4 – Construindo uma casa da Qualidade. Etapa5 – Processo QFD.

Área 2 – Conceitos Básicos de Controle Estatístico da Qualidade

Compreende os conceitos iniciais necessários para compreender e aplicar as técnicas de Controle Estatístico da Qualidade. Inclui o papel do CEQ no Gerenciamento Total da Qualidade, e a importância dos métodos estatísticos na melhoria da Qualidade.

No.	Título	Descrição	Etapas
9	Definição de Controle Estatístico da Qualidade.	Apresenta o conceito de Controle Estatístico da Qualidade e seu papel dentro do Gerenciamento Total da Qualidade.	Etapa 1 – Por que Controle Estatístico da Qualidade? Etapa 2 – Papel do CEQ no TQM. Etapa 3 – Descrição, controle e redução da variação. Etapa 4 – Parte de um sistema de gerenciamento. Etapa 5 – Parte de um sistema de Controle da Qualidade.
10	Conceito de Variabilidade	Apresenta a definição, causas e por que é necessário descrever e controlar a Variabilidade	Etapa1 – O que é Variabilidade. Por que sempre existirá. Etapa2 – Causas assinaláveis de variação Etapa3 – Causas comuns de variação Etapa4 – Processo estável: processo previsível. Etapa5 – Por que é preciso controlar a Variabilidade para melhorar a Qualidade
11	Indicações e Limitações do CEQ	O que o CEQ pode e o que não pode fazer para melhorar a Qualidade de um processo.	Etapa 1 – O que o CEQ não pode fazer pela melhoria da Qualidade: substituição de pesquisa de mercado, projeto de produto, projeto de processo, substituir falta de comprometimento da alta administração. Etapa 2 – O que o CEQ pode fazer pela melhoria da Qualidade: monitorar a estabilidade dos processos, avaliar se os Característicos estão dentro das especificações, testar os efeitos de manipulação de variáveis nos Característicos, aceitar ou rejeitar um lote de produto com base em uma amostra deste lote.
12	Distribuição de frequências	O que é a distribuição de frequências, as formas de apresentá-la (tabular e gráfica) e como pode ajudar na modelagem da Qualidade do processo.	Etapa 1 – O que é a distribuição de frequências? Forma de resumir os dados, base para construção de modelos probabilísticos. Etapa 2 – Como construir Etapa 3 – Como apresentar: Tabela de frequências, Gráfico em barras, Histograma. Etapa 4 – Como pode auxiliar na gerência da Qualidade. Etapa5 – Exemplos
13	Medidas de Síntese – Medidas de posição	O que são medidas de posição e como podem ajudar na modelagem da Qualidade do processo.	Etapa1 – Outra forma de resumir os dados. Permite obter os parâmetros necessários para os modelos probabilísticos. Etapa2 – Medidas de posição: panorama geral Etapa3 – Média: conceito, forma de calcular, interpretação. Etapa4 – Moda: conceito, forma de calcular, interpretação. Etapa5 – Mediana: conceito, forma de calcular, interpretação. Etapa6 – Como podem ajudar na modelagem da Qualidade. Etapa7 – Exemplos.

No.	Título	Descrição	Étapas
14	Medidas de Síntese – Medidas de Dispersão	O que são medidas de dispersão e como podem ajudar na modelagem da Qualidade do processo.	Etapa1 – Acrescenta mais informação ao resumo dos dados Etapa2 – Medidas de dispersão: panorama geral Etapa3 – Intervalo: conceito, forma de calcular, interpretação. Etapa4 – Variância: conceito, forma de calcular, interpretação. Etapa5 – Desvio Padrão: conceito, forma de calcular, interpretação. Etapa6 – Como podem ajudar na modelagem da Qualidade. Etapa7 – Exemplos
15	Ramo e folhas e Diagrama em caixas	Apresenta o ramo e folhas e o diagrama em caixas e como eles podem ajudar na modelagem da Qualidade do processo.	Etapa1 – O que são o ramo e folhas e o diagrama em caixas? Etapa2 – Como construí-los? Etapa3 – Como interpretá-los? Etapa4 – Como podem ajudar na modelagem da Qualidade. Etapa5 - Exemplos
16	Distribuições de probabilidade	Apresenta os conceitos básicos de probabilidade e distribuições de probabilidade, e como podem ajudar na modelagem da Qualidade do processo.	Etapa1 – Conceitos básicos de probabilidade. Etapa2 – Três conceitos de probabilidade. Etapa3 – Axiomas de probabilidade. Etapa4 – Cálculo de probabilidades. Etapa5 - O que é distribuição de probabilidades? Etapa6 – Como podem ajudar no Controle Estatístico da Qualidade. Etapa7 – Distribuições discretas e contínuas Etapa8 – Exemplos.
17	Distribuições Discretas de Probabilidade	Apresenta as distribuições discretas de probabilidade mais importantes para o CEQ.	Etapa1 – Características das distribuições discretas. Etapa2 – Distribuição binomial: conceitos. Etapa3 – Distribuição binomial: aplicações práticas. Etapa4 – Distribuição de Poisson: conceitos. Etapa5 – Distribuição de Poisson: aplicações práticas. Etapa6 – Outras distribuições discretas. Etapa7 - Exemplos
18	Distribuições Contínuas de Probabilidade	Apresenta as distribuições contínuas de probabilidade mais importantes para o CEQ.	Etapa1 – Características das distribuições contínuas. Etapa2 – Distribuição exponencial: conceitos. Etapa3 – Distribuição exponencial: aplicações práticas. Etapa4 – Distribuição de normal: conceitos. Etapa5 – Distribuição de normal: aplicações práticas. Etapa6 – Outras distribuições contínuas. Etapa7 – Exemplos
19	Regra dos Três Desvios Padrões	Apresenta as razões porque os limites de controle nos Gráficos são colocados a três desvios padrões da linha central.	Etapa 1 – O que é a regra dos três desvios padrões. Etapa 2 – Relação com causas assinaláveis de variação. Etapa 3 – Por que Shewhart utilizou Etapa 4 – Exemplos para diferentes tipos de distribuição de Probabilidade.

No.	Título	Descrição	Etapas
20	Amostragem e Distribuições Amostras	Apresenta o conceito de amostragem e distribuições amostrais, e como podem ajudar na inferência sobre a Qualidade do processo.	Etapa 1 – Conceitos de amostragem Etapa2 – O que são distribuições amostrais? Etapa3 – Papel na inferência dos parâmetros da distribuição probabilística da população. Etapa4 – Teorema do Limite Central. Etapa5 – Distribuição amostral da média. Etapa6 – Distribuição amostral da variância. Etapa7 – Distribuição amostral de uma proporção. Etapa8 – Como podem ajudar na inferência sobre a Qualidade do processo. Etapa9 – Exemplos
21	Estimação por Ponto de um parâmetro	Apresenta os conceitos relacionados à estimação por ponto de parâmetros de uma distribuição de probabilidades, e como pode ajudar na inferência da Qualidade do processo.	Etapa1 – Lógica da Estimação e condições para sua aplicação. Etapa2 – Características dos estimadores. Etapa3 – Estimação por ponto da média. Etapa4 – Estimação por ponto da variância. Etapa5 – Estimação por ponto de uma proporção. Etapa6 - Exemplos
22	Estimação por Intervalo de um parâmetro	Apresenta os conceitos relacionados à estimação por intervalo de parâmetros de uma distribuição de probabilidades, e como pode ajudar na inferência da Qualidade do processo.	Etapa1 – Por que a Estimação por intervalo Etapa2 – Afirm. Probab.: lógica e requisitos. Etapa3 –Nível de conf. Etapa4 – Estim. por Interv. da média. Etapa5- Estim. por interv. da variância. Etapa6 – Estim. por interv. de uma proporção. Etapa7 – Exemplos
23	Introdução a Testes de Hipóteses	Apresenta os conceitos iniciais de teste de hipóteses, e como podem ser usados para inferir a Qualidade do processo.	Etapa1 – Por que testar hipóteses? Etapa2 – Nível de significância, Nível de confiança. Etapa3 – Hipóteses Estatísticas. Etapa4 – Erro tipo I. Etapa5 – Erro tipo II. Etapa6 – Tipos de testes: paramétricos e não paramétricos. Etapa7 – Testes paramétricos: unilaterais, bilaterais. Etapa8: Exemplos
24	Testes de Hipóteses de 1 Média	Procedimentos para a realização de testes de hipóteses de uma média populacional	Etapa1 – Testes paramétricos: propósito. Etapa2 – Hipóteses Estatísticas. Etapa3 – Distribuição amostral da média. Etapa4 – Procedimento para variância conhecida. Etapa5 – Procedimento para variância desconhecida. Etapa6 – Cálculo da probabilidade de erro tipo II. Etapa6 – Exemplos.
25	Testes de Hipóteses de 1 Proporção	Procedimentos para a realização de testes de hipóteses de uma proporção populacional	Etapa1 – Testes paramétricos: propósito. Etapa2 – Hipóteses Estatísticas. Etapa3 – Distribuição amostral da proporção. Etapa4 – Procedimento. Etapa5 – Cálculo da probab. de erro tipo II. Etapa6 – Exemplos
26	Testes de Hipóteses de 1 variância	Procedimentos para a realização de testes de hipóteses de uma variância populacional	Etapa1 – Testes paramétricos: propósito. Etapa2 – Hipóteses Estatísticas. Etapa3 – Distribuição amostral da variância. Etapa4 – Procedimento. Etapa5 – Exemplos

No.	Título	Descrição	Etapas
27	Testes de Hipóteses de 2 Médias	Procedimentos para a realização de testes de hipóteses sobre duas médias populacionais	Etapa1 – Testes paramétricos: propósito. Etapa2 – Hipóteses Estatísticas. Etapa3 – Distribuição amostral da média. Etapa4 – Procedimento para variâncias conhecidas. Etapa5 – Teste F de igualdade de variâncias. Etapa6 – Procedimento para variâncias desconhecidas supostas iguais. Etapa7 – Procedimento para variâncias desconhecidas supostas diferentes. Etapa8 – Cálculo da probabilidade de erro tipo II. Etapa9 – Exemplos.
28	Análise de Variância	Apresenta os conceitos de Análise de Variância, aplicações e interpretação dos seus resultados.	Etapa1- O que é análise de Variância? Etapa2 – Hipóteses estatísticas. Etapa3 – Suposições para aplicação. Etapa4 – Variação entre Etapa5 – Variação dentro Etapa6 – Variação residual. Etapa7 – Quadrados médios. Etapa8 – Estatística F Etapa9 – Exemplos.

Área 3 – Aceitação por Amostragem

Apresenta os tutoriais relacionados à Aceitação por Amostragem. Como o STCEQ, neste momento, não terá problemas sobre o assunto estes tutoriais serão bastante gerais.

No.	Título	Descrição	Etapas
29	Definição de Aceitação por Amostragem	Apresenta o conceito de Aceitação por Amostragem e os principais tipos de planos de amostragem	Etapa1 – Aplicação “típica”. Etapa2 – O que pode fazer e o que não pode. Etapa3 – O problema da Aceitação por Amostragem Etapa4 – Vantagens e desvantagens. Etapa5 – Tipos de planos de amostragem – Simples Etapa6 – Amostragem dupla. Etapa7 – Amostragem seqüencial. Etapa8 – Formação de lotes. Etapa9 – Exemplos.
30	Aceitação por Amostragem – Por Atributos	Características principais dos planos de amostragem por atributos	Etapa1- Definição de um plano de amostragem simples. Etapa2 – Curva característica de operação. Etapa3 – AOQ. Etapa4- Amostragem dupla, seqüencial e múltipla. Etapa5 – MIL-STD105. Etapa6 – Planos Dodge-Romig. Etapa7 – Exemplos.
31	Aceitação por Amostragem – Por Variáveis	Características principais dos planos de amostragem por variáveis.	Etapa1 – Vantagens e desvantagens da amostragem por variáveis. Etapa2 – Tipos de plano. Etapa3 – Definição de um plano de amostragem simples. Etapa4 – MIL-STD 414. Etapa5 – Exemplos

Área 4 – Planejamento de Experimentos

Apresenta os tutoriais relacionados à Planejamento de Experimentos, no que tange à processos produtivos. Como o STCEQ, neste momento, não terá problemas sobre o assunto estes tutoriais serão bastante gerais.

No.	Título	Descrição	Etapas
32	Definição de Planejamento de Experimentos	Apresenta os conceitos de Planejamento de Experimentos, princípios gerais e aplicações mais comuns.	Etapa1 - O que é Planejamento Estatístico de Experimentos? Etapa2- Por que realizar Planejamento Estatístico de Experimentos? Etapa3 – Relação com pesquisa experimental em geral. Etapa4 – Princípios gerais Etapa5 – Aplicações. Etapa6 – Diretrizes para aplicação. Etapa7 – Tipos de experimentos mais aplicados.
33	Experimentos com um fator	Descrição das principais características e análise dos resultados de experimentos com apenas um fator.	Etapa1 – O que é um experimento com um fator Etapa2 – Análise de Variância. Etapa3 – Análise de Resíduos. Etapa4 – Comparação de médias. Etapa5 – Componentes da variância. Etapa6 – Blocos e fatores de ruído. Etapa7 – Exemplos
34	Experimentos Fatoriais	O que são Experimentos Fatoriais e como é feita a sua implementação.	Etapa1 – Definição de Experimento Fatorial. Etapa2 – Vantagens e Desvantagens. Etapa3 – Análise Estatística Etapa4 – Análise dos resíduos. Etapa5 – Exemplos
35	Outros Experimentos	Descreve outros tipos de experimentos: Fatorial 2^k , Métodos de Superfície de Resposta, Métodos de Taguchi.	Etapa1 – Quando aplicar outros experimentos? Etapa2 – Experimento Fatorial 2^k . Etapa3 – Métodos de Superfície de Resposta. Etapa4 – Abordagem de Taguchi. Etapa5 – Críticas a Taguchi.

Área 5 – Controle Estatístico de Processos – Básico

Esta área conterà os tutoriais com os conceitos iniciais de Controle Estatístico de Processos (CEP), enfocando basicamente as sete ferramentas do CEP e fontes de variação. Os Gráficos de Controle e os Estudos de Capacidade de Processos serão apresentados em profundidade em outras áreas.

No.	Título	Descrição	Etapas
36	Conceito de Controle Estatístico de Processos	Apresenta o conceito de Controle Estatístico de Processos, as técnicas que o compõem, e sua lógica.	Etapa1 – O que é Controle Estatístico de Processos? Etapa2 – O que pode fazer, e o que não pode pela melhoria da Qualidade. Etapa3 – Técnicas que fazem parte do CEP. Etapa4 – Elementos necessários para o sucesso Etapa5 – Objetivo do CEP: processo sob controle estatístico X processo fora de controle Etapa6 – Fontes de variação. Etapa7 – Causas assinaláveis de variação – revisão. Etapa8 – Como o CEP lida com as causas assinaláveis de variação. Etapa9 – Causas comuns de variação - revisão Etapa10 – Como o CEP lida com as causas comuns de variação.

No.	Título	Descrição	Etapas
37	Sete ferramentas do CEP	Apresenta de forma resumida as sete ferramentas do CEP, que serão vistas em profundidade nos tutoriais seguintes.	Etapa1 – O que são elas? Etapa2 – Quais são seus objetivos e limitações? Etapa3 – Ferramentas de oportunidade X ferramentas estatísticas. Etapa4 – As ferramentas de oportunidade. Etapa5 – Por que usá-las? Etapa6 – As ferramentas estatísticas. Etapa7 – Por que usá-las?
38	Ferramentas de Oportunidade I	Apresenta o Diagrama de Verificação e o Diagrama de Causa e Efeito.	Etapa1 – Diagrama de Verificação: o que é? Etapa2 – Quando deve ser usado? Etapa3 – Como construí-lo? Etapa4 – Exemplo. Etapa5 – Diagrama de Causa e Efeito: o que é? Etapa6 – Quando deve ser usado? Etapa7 – Como construí-lo? Etapa8 – Exemplo.
39	Ferramentas de Oportunidade II	Apresenta o Diagrama de Concentração de Defeitos e o Fluxograma	Etapa1 – Diagrama de Concentração de defeitos: o que é? Etapa2 – Quando deve ser usado? Etapa3 – Como construí-lo? Etapa4 – Exemplo. Etapa5 – Fluxograma: o que é? Etapa6 – Quando deve ser usado? Etapa7 – Como construí-lo? Etapa8 – Exemplo.
40	Ferramentas Estatísticas I	Apresenta o Gráfico de Pareto, o Histograma e o Ramo e folhas.	Etapa1 – Gráfico de Pareto: o que é e quando deve ser usado? Etapa2 – Como construí-lo? Etapa3 – Exemplo. Etapa4 – Histograma: o que é e quando deve ser usado? Etapa5 – Como construí-lo? Etapa6 – Exemplo. Etapa7 – Ramo e folhas: o que é e quando deve ser usado? Etapa8 – Como construí-lo? Etapa9 – Exemplo.
41	Ferramentas Estatísticas II	Apresenta o Diagrama de Dispersão e uma primeira descrição dos Gráficos de Controle.	Etapa1 – Diagrama de Dispersão: o que é? Etapa2 – Quando deve ser usado? Etapa3 – Como construí-lo? Etapa4 – Exemplo. Etapa5 – Gráfico de Controle: o que é? Etapa6 – Quando deve ser usado? Etapa7 – Como construí-lo? Etapa8 – Exemplo.
42	Princípios Básicos dos Gráficos de Controle	Apresentação dos princípios básicos dos Gráficos de Controle, incluindo seus componentes, objetivos, suposições para aplicação, tipos gerais e razões para sua popularidade.	Etapa1 – Componentes do Gráfico de Controle. Etapa2 – Objetivos: analisar a performance do processo, melhorar a Qualidade do processo, dispositivo para estimar a performance. Etapa3 – Suposições para aplicação: IID. Etapa4 – Suposições para aplicação: distribuições. Etapa5 – Tipos de Gráficos: por Variáveis. Etapa6 – Tipos de Gráficos: por Atributos. Etapa7 – Razões para a popularidade.
43	Princípios básicos dos Estudos de Capabilidade de Processo	Apresenta os princípios básicos dos Estudos de Capabilidade de Processo, seus objetivos e condições para aplicação.	Etapa1 – O que é um Estudo de Capabilidade? Etapa2 – Condições para sua realização. Etapa3 – Especificações X desempenho do processo. Etapa4 – Índices de Capabilidade. Etapa5 – Interpretação dos índices.

Área 6 – Gráficos de Controle – Características Gerais

Esta área apresentará os tutoriais gerais sobre Gráficos de Controle, incluindo aspectos relacionados a delineamento e reconhecimento de padrões. Os tutoriais sobre Gráficos específicos serão vistos em outras áreas.

No.	Título	Descrição	Etapas
44	Delineamento de um Gráfico de Controle	Descreve o que precisa ser definido para utilizar um Gráfico de Controle.	Etapa1 – Objetivos do Gráfico de Controle. Etapa2 – Determinação dos Limites de Controle: no. de desvios padrões e limites de alerta. Etapa3 – Tamanho de amostra e frequência de amostragem. Etapa4 – ARL e ATS. Etapa5 – Subgrupos Racionais: idéia geral. Etapa6 – Número de subgrupos. Etapa7 – Diferenças entre e dentro dos subgrupos. Etapa8 – Exemplo.
45	Padrões em Gráficos de Controle	Definição dos padrões aleatórios e não aleatórios em Gráficos de Controle.	Etapa1 – Processo sob Controle Estatístico – Padrões “Naturais”. Etapa2 – Processo fora de Controle Estatístico – Padrões “Não Naturais”. Etapa3 – Estratificação. Etapa4 – Discrepantes. Etapa5 – Seqüências. Etapa6 – Mudanças bruscas de nível Etapa7 – Instabilidade. Etapa8 – Tendências. Etapa9 – Ciclos.
46	Reconhecimento de Padrões em Gráficos de Controle	Apresenta as principais formas de reconhecimento de padrões em Gráficos de Controle.	Etapa1 – Objetivo geral. Etapa2 – Métodos Estatísticos: o que podem e o que não podem fazer. Etapa3 – Regras de identificação. Etapa4 – Outros métodos. Etapa5 – Métodos sintáticos. Etapa6 – Métodos de redes neurais: o que podem e o que não podem fazer.
47	Regras de Identificação de Padrões	Apresenta as regras mais utilizadas para identificação de padrões em Gráficos de Controle	Etapa1 – Por que usar regras? Etapa2 – Regras da Western Electric. Etapa3 – Regras do STCEQ Etapa4 – Regra de normalidade, Wheeler Etapa5 – Regra de mudança brusca de nível Etapa6 – Regra para pontos consecutivos. Etapa7 – Precaução ao usar regras.
48	Gráficos de Controle por Variáveis	Apresenta os princípios básicos dos Gráficos de Controle por Variáveis.	Etapa1 – Avaliação da Qualidade por variáveis. Etapa2 – Papel dos Gráficos na avaliação. Etapa3 – O que são Gráficos por Variáveis? Etapa4 – Por que usá-los? Etapa5 – Gráficos de Shewhart. Etapa6 – Outros Gráficos. Etapa7 – Outros Gráficos.
49	Gráficos de Controle por Atributos	Apresenta os princípios básicos dos Gráficos de Controle por Atributos.	Etapa1 – Avaliação da Qualidade por atributos. Etapa2 – Papel dos Gráficos na avaliação. Etapa3 – O que são Gráficos por Atributos? Etapa4 – Por que usá-los? Etapa5 – Gráficos de Shewhart. Etapa6 – Outros Gráficos. Etapa7 – Outros Gráficos.

Área 7 – Gráficos de Controle por Variáveis de Shewhart

Nesta área são apresentados os tutoriais específicos sobre Gráficos de Controle por Variáveis de Shewhart.

No.	Título	Descrição	Etapas
50	Gráficos de Shewhart por variáveis - Princípios	Apresenta os princípios básicos dos Gráficos de Shewhart por variáveis, bem como os seus diversos tipos.	Etapa1 – Histórico. Etapa2 – O que são estes Gráficos? Etapa3 – Base Estatística: Independência – Amostragem aleatória. Etapa4 – Base Estatística: Normalidade das medidas – média, desvio padrão. Etapa5 – Limites de Controle: quantos desvios padrões? Etapa6 – Gráficos \bar{X} e R. Etapa7 – Gráficos \bar{X} e s. Etapa8 – Gráficos para medidas individuais.
51	Gráficos \bar{X} e R – Nível I	Apresenta os princípios dos Gráficos \bar{X} e R, as primeiras tentativas para estabelecer os limites de controle, estimativas da média e variabilidade do processo e os problemas advindos.	Etapa1 – Quando usar os Gráficos? Etapa2 – Estabelecendo os limites de controle: primeiras tentativas. Etapa3 – Suposição da normalidade – Teorema das Combinações lineares Etapa4 – Suposição da normalidade – Teorema do Limite Central. Etapa5 – Estimativa da média do processo – grande média. Etapa6 – Estimativa da variabilidade do processo – intervalo médio. Etapa 7 – Estimativa da variabilidade do processo – média dos desvios padrões.
52	Gráficos \bar{X} e R – Nível II	Descreve como obter os limites de controle para os Gráficos \bar{X} e R, os limites de teste, a construção e interpretação dos gráficos.	Etapa1 – Aspectos a considerar. Etapa2 – Limites de controle para o gráfico R: equações. Etapa3 – Limites de controle para o gráfico R: tabelas com coeficientes. Etapa4 – Limites de controle para o gráfico \bar{X} : equações. Etapa5 – Limites de controle para o gráfico \bar{X} : tabelas com coeficientes. Etapa6 – Limites de teste. Etapa7 – Construção dos gráficos. Etapa8 – Interpretação do gráfico R. Etapa9 – Interpretação do gráfico \bar{X} . Etapa10 – Exemplo.
53	Gráficos \bar{X} e R – Nível III	Descreve os limites naturais de tolerância e como eles diferem dos limites de especificação. Apresenta os erros tipo I e II em Gráficos de Controle.	Etapa1 – Limites de controle nos Gráficos \bar{X} e R. Etapa2 – Limites naturais de tolerância: prática usual. Etapa3 – Limites de especificação: definidos pelo que se espera do processo. Etapa4 – Erro tipo I X Erro tipo II em testes de hipóteses. Etapa5 – Erro tipo I em Gráficos de Controle. Etapa6 – Erro tipo II em Gráficos de Controle. Etapa7- Cálculo de erro tipo II em gráfico \bar{X} . Etapa8 – Exemplo.

No.	Título	Descrição	Etapas
54	Gráficos \bar{X} e R – Nível IV	Descreve as Curvas Características de Operação, seu relacionamento com as ARLs, e as conseqüências para o desempenho dos Gráficos.	Etapa1 – Erro tipo I, erro tipo II, tamanho de amostra em Testes de Hipóteses. Etapa2 – Curvas Características de Operação em Testes de Hipóteses. Etapa3 – CCO em Gráficos de Controle. Etapa4 – CCO para o gráfico R. Etapa5 – CCO para o gráfico \bar{X} . Etapa6 – Relação CCO – ARL para o gráfico \bar{X} . Etapa7 – Exemplo.
55	Gráficos \bar{X} e s – Nível I	Apresenta os princípios dos Gráficos \bar{X} e s, as primeiras tentativas para estabelecer os limites de controle, estimativas da média e variabilidade do processo e os problemas advindos.	Etapa1 – Quando usar os Gráficos? Etapa2 – Estabelecendo os limites de controle: primeiras tentativas. Etapa3 – Suposição da normalidade – Teorema das Combinações lineares Etapa4 – Suposição da normalidade – Teorema do Limite Central. Etapa5 – Estimativa da média do processo – grande média. Etapa6 – Estimativa da variabilidade do processo – média do desvio padrão. Etapa7 – Estimador modificado da variabilidade do processo.
56	Gráficos \bar{X} e s – Nível II	Descreve como obter os limites de controle para os Gráficos \bar{X} e s, a construção e interpretação dos gráficos.	Etapa1 – Aspectos a considerar. Etapa2 – Limites de controle para o gráfico s: equações. Etapa3 – Limites de controle para o gráfico s: tabelas com coeficientes. Etapa4 – Limites de controle para o gráfico \bar{X} : equações. Etapa5 – Limites de controle para o gráfico \bar{X} : tabelas com coeficientes. Etapa6 – Construção dos gráficos. Etapa7 – Interpretação dos gráficos s e \bar{X} . Etapa8 – Exemplo.
57	Gráficos para medidas individuais - Nível I	Apresenta os princípios dos Gráficos para medidas individuais, as primeiras tentativas para estabelecer os limites de controle, estimativas da média e variabilidade do processo e os problemas advindos.	Etapa1 – Quando usá-los? Etapa2 – Estabelecendo os limites de controle: primeiras tentativas. Etapa3 – Suposição da normalidade – Teorema das Combinações lineares Etapa4 – Suposição da normalidade – Teorema do Limite Central. Etapa5 – Estimativa da média do processo – grande média. Etapa6 – Estimativa da variabilidade do processo – intervalo móvel.
58	Gráficos para medidas individuais - Nível II	Descreve como obter os limites de controle para os Gráficos de medidas individuais, a construção e interpretação dos gráficos, e a ARL.	Etapa1 – Aspectos a considerar. Etapa2 – Limites de controle para o gráfico MR: equações. Etapa3 – Limites de controle para o gráfico medidas indiv.: equações. Etapa4 – Construção dos gráficos. Etapa5 – Interpretação dos gráficos. Etapa6 - ARL Etapa7 – Exemplo.

No.	Título	Descrição	Etapas
59	Gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção – Nível I	Apresenta os gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção, quando devem ser usados e as suposições necessárias.	Etapa1 – O que são pequenas partidas de produção? Etapa2 – Relembrando os gráficos \bar{X} e R. Etapa3 – Adaptações para pequenas partidas de produção. Etapa4 – Desvio padrão aproximadamente igual para todos os itens, tamanho de amostra constante: gráfico DNOM. Etapa5 – Desvio padrão diferente, tamanho de amostra constante: gráfico padronizado.
60	Gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção – Nível II	Apresenta os gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção, em que o desvio padrão é aproximadamente igual para todas as partes. Cálculo dos limites de controle.	Etapa1 – Condições de aplicação. Criação de uma nova variável (DNOM): desvio do nominal. Etapa2 – Limites de controle para o gráfico R: equações. Etapa3 – Limites de controle para o gráfico R: tabelas com coeficientes. Etapa4 – Limites de controle para o gráfico \bar{X} : equações. Etapa5 – Limites de controle para o gráfico \bar{X} : tabelas com coeficientes. Etapa6 – Construção dos gráficos. Etapa7 – Interpretação do gráfico R. Etapa8 – Interpretação do gráfico \bar{X} . Etapa9 – Exemplo.
61	Gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção – Nível III	Apresenta os gráficos \bar{X} e R para pequenas partidas de produção, em que o desvio padrão NÃO pode ser considerado igual para todas as partes. Cálculo dos limites de controle.	Etapa1 – Condições de aplicação. Valores padronizados de média e intervalo para cada parte. Etapa2 – Limites de controle para o gráfico R: equações. Etapa3 – Limites de controle para o gráfico R: tabelas com coeficientes. Etapa4 – Limites de controle para o gráfico \bar{X} : equações. Etapa5 – Limites de controle para o gráfico \bar{X} : tabelas com coeficientes. Etapa6 – Construção dos gráficos. Etapa7 – Interpretação do gráfico R. Etapa8 – Interpretação do gráfico \bar{X} . Etapa9 – Exemplo.

Área 8 – Outros Gráficos de Controle por Variáveis

Nesta área são apresentados os tutoriais específicos sobre outros Gráficos de Controle por Variáveis, incluindo CUSUM, EWMA, Hotel e Regressão. Haverá maior aprofundamento nos dois primeiros, por sua maior abrangência.

No.	Título	Descrição	Etapas
62	Por que outros gráficos de Controle por variáveis?	Apresenta os motivos que levaram ao desenvolvimento de outros gráficos de controle por variáveis, para situações em que os gráficos de Shewhart não apresentavam o desempenho apropriado.	Etapa1 – Condições para aplicação dos Gráficos por variáveis de Shewhart Etapa2 – Limitações práticas dos gráficos de Shewhart: apenas o último valor é levado em conta. Etapa3 – Limitações práticas dos gráficos de Shewhart: sensível apenas a grandes desvios. Etapa4 – Apenas uma variável. Etapa5 – Outros gráficos por variáveis, descrição sucinta.

No.	Título	Descrição	Etapas
63	CUSUM	Apresenta o Gráfico de Controle por Soma Cumulativa (CUSUM).	Etapa1 – Princípios básicos. Etapa2 – CUSUM tabular para a média do processo – medidas individuais. Etapa3 – Definindo os valores a plotar: C_i^- , C_i^+ , N^- , N^+ Etapa4 – Definindo os valores a plotar: k , o valor de referência. Etapa5 – Limites de Controle: H Etapa6 – Construção do gráfico. Etapa7 – Interpretação do resultado. Etapa8 – Modificações para o caso de subgrupos Etapa9 – Recomendações para o delineamento: ARLs. Etapa10 – Exemplo
64	EWMA	Apresenta os Gráficos MA e sua generalização para os Gráficos EWMA.	Etapa1 – Princípios do Gráfico MA. Etapa2 – Princípios do Gráfico EWMA: generalização do MA. Etapa3 – EWMA para a média do processo: medidas individuais. Etapa4 – Definindo os valores a plotar. Etapa5 – Definindo os limites de controle. Etapa6 – Construção do Gráfico. Etapa7 – Interpretação do Gráfico. Etapa8 – Modificações para o caso de subgrupos Etapa9 – Recomendações para delineamento. Etapa10 – Exemplo
65	Gráfico Multivariado de Hotel	Apresenta o Gráfico de Hotel para controle multivariado.	Etapa1 – Princípios, quando usá-lo. Etapa2 – A origem: o Gráfico Chi-Quadrado. Etapa3 – Estatística de teste e limites de controle Etapa4 – A Estatística T2 (Chi-Quadrado modificada) Etapa5 – Definindo os limites de controle. Etapa6 – Construindo o gráfico. Etapa7 – Interpretação do Gráfico. Etapa8 – Modificações para subgrupos. Etapa9 – Exemplo.
66	Gráfico de Controle de Regressão	Apresenta o Gráfico de Controle de Regressão, indicado para a monitoração de 2 variáveis relacionadas	Etapa1 – Princípios, quando deve ser utilizado. Etapa2 – Relembrando regressão linear: pares de medições, relacionamento entre as variáveis, equação para descrever o relacionamento. Etapa3 – Relembrando correlação: coeficientes de correlação. Etapa4 – Definindo os valores a plotar. Etapa5 – Definindo os limites de Controle. Etapa6 – Construindo e interpretando o gráfico. Etapa7 - Exemplo

Área 9 – Gráficos de Controle por Atributos de Shewhart

Nesta área são apresentados os tutoriais específicos sobre Gráficos de Controle por Atributos de Shewhart.

No.	Título	Descrição	Etapas
67	Gráficos de Shewhart por atributos - Princípios	Apresenta os princípios básicos dos Gráficos de Shewhart por atributos, bem como os seus diversos tipos.	Etapa1 – O que são estes Gráficos? Etapa2 – Fração de defeituosos: o que é, como estimar? Etapa3 – Número de defeituosos: o que é, como estimar? Etapa4 – Número de defeitos: o que é, como estimar? Etapa5 – Número de defeitos por unidade: o que é, como estimar? Etapa6 – Base estatística: independência, amostragem aleatória. Etapa7 – Base estatística: estabelecer limites de controle. Etapa8 – Tipos de gráficos.

No.	Título	Descrição	Etapas
68	Gráficos p – Fração de defeituosos – Nível I	Apresenta os Gráficos p, para fração de defeituosos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra constante.	Etapa1 – O que é este gráfico e quando usá-lo? Etapa2 – Suposições: independência entre as observações. Etapa3 – Suposições: distribuição. Etapa4 – Suposições: aproximação pela normal Etapa5 – Determinação dos limites de controle para tamanho constante de amostra. Etapa6 – Construção do gráfico. Etapa7 – Interpretação do gráfico. Etapa8 - Exemplo
69	Gráficos p – Fração de defeituosos – Nível II	Apresenta os Gráficos p, para fração de defeituosos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Curva característica de operação e ARL.	Etapa1 – Resumo das características do Gráfico p. Etapa2 – Determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Etapa3 – Construção do gráfico. Etapa4 – Interpretação do gráfico. Etapa5 – Exemplo Etapa6 – Erro tipo I, erro tipo II, tamanho de amostra em Testes de Hipóteses. Etapa7 – Curvas Características de Operação em Testes de Hipóteses. Etapa8 – CCO em Gráficos de Controle. Etapa9 – CCO em gráficos p. Etapa10 – Ligação com ARL.
70	Gráficos np – Número de defeituosos – Nível I	Apresenta os Gráficos np, para número de defeituosos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra constante.	Etapa1 – O que é este gráfico e quando usá-lo? Etapa2 – Suposições: independência entre as observações. Etapa3 – Suposições: distribuição. Etapa4 – Suposições: aproximação pela normal Etapa5 – Determinação dos limites de controle para tamanho constante de amostra. Etapa6 – Construção do gráfico. Etapa7 – Interpretação do gráfico. Etapa8 - Exemplo
71	Gráficos np – Número de defeituosos – Nível II	Apresenta os Gráficos np, para número de defeituosos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Curva característica de operação e ARL.	Etapa1 – Resumo das características do Gráfico np. Etapa2 – Determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Etapa3 – Construção do gráfico. Etapa4 – Interpretação do gráfico. Etapa5 – Exemplo Etapa6 – Erro tipo I, erro tipo II, tamanho de amostra em Testes de Hipóteses. Etapa7 – Curvas Características de Operação em Testes de Hipóteses. Etapa8 – CCO em Gráficos de Controle. Etapa9 – CCO em gráficos np. Etapa10 – Ligação com ARL.
72	Gráficos c – Número de defeitos – Nível I	Apresenta os Gráficos c, para número de defeitos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra constante.	Etapa1 – O que é este gráfico e quando usá-lo? Etapa2 – Suposições: independência entre as observações. Etapa3 – Suposições: distribuição. Etapa4 – Suposições: aproximação pela normal Etapa5 – Determinação dos limites de controle para tamanho constante de amostra. Etapa6 – Construção do gráfico. Etapa7 – Interpretação do gráfico. Etapa8 - Exemplo

No.	Título	Descrição	Etapas
73	Gráficos c – Número de defeitos – Nível II	Apresenta os Gráficos c, para número de defeitos, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Curva característica de operação e ARL.	Etapa1 – Resumo das características do Gráfico c. Etapa2 – Determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Etapa3 – Construção do gráfico. Etapa4 – Interpretação do gráfico. Etapa5 – Exemplo Etapa6 – Erro tipo I, erro tipo II, tamanho de amostra em Testes de Hipóteses. Etapa7 – Curvas Características de Operação em Testes de Hipóteses. Etapa8 – CCO em Gráficos de Controle. Etapa9 – CCO em gráficos c. Etapa10 – Ligação com ARL.
74	Gráficos u – Número de defeitos por unidade – Nível I	Apresenta os Gráficos u, para número de defeitos por unidade, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra constante.	Etapa1 – O que é este gráfico e quando usá-lo? Etapa2 – Suposições: independência entre as observações. Etapa3 – Suposições: distribuição. Etapa4 – Suposições: aproximação pela normal Etapa5 – Determinação dos limites de controle para tamanho constante de amostra. Etapa6 – Construção do gráfico. Etapa7 – Interpretação do gráfico. Etapa8 - Exemplo
75	Gráficos u – Número de defeitos por unidade – Nível II	Apresenta os Gráficos u, para número de defeitos por unidade, suposições, e determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Curva característica de operação e ARL.	Etapa1 – Resumo das características do Gráfico u. Etapa2 – Determinação dos limites de controle para tamanho de amostra variável. Etapa3 – Construção do gráfico. Etapa4 – Interpretação do gráfico. Etapa5 – Exemplo Etapa6 – Erro tipo I, erro tipo II, tamanho de amostra em Testes de Hipóteses. Etapa7 – Curvas Características de Operação em Testes de Hipóteses. Etapa8 – CCO em Gráficos de Controle. Etapa9 – CCO em gráficos u. Etapa10 – Ligação com ARL.

Área 10 – Outros Gráficos de Controle por Atributos

Nesta área são apresentados os tutoriais específicos sobre outros Gráficos de Controle por Atributos, incluindo CUSUM, MA e EWMA usando p, c e u.

No.	Título	Descrição	Etapas
76	Por que outros gráficos de Controle por atributos?	Apresenta os motivos que levaram ao desenvolvimento de outros gráficos de controle por atributos, para situações em que os gráficos de Shewhart não apresentavam o desempenho apropriado.	Etapa1 – Condições para aplicação dos Gráficos por atributos de Shewhart Etapa2 – Limitações práticas dos gráficos de Shewhart: apenas o último valor é levado em conta. Etapa3 – Limitações práticas dos gráficos de Shewhart: sensível apenas a grandes desvios. Etapa4 – Outros gráficos por atributos, descrição sucinta.
77	CUSUM usando p	Apresenta o Gráfico de Controle por Soma Cumulativa (CUSUM), usando p como estatística.	Etapa1 – Princípios básicos. Etapa2 – CUSUM tabular usando a estatística p. Etapa3 – Definindo os valores a plotar: C_i^- , C_i^+ , N^- , N^+ Etapa4 – Definindo os valores a plotar: k, o valor de referência. Etapa5 – Limites de Controle: H Etapa6 – Construção do gráfico. Etapa7 – Interpretação do resultado. Etapa8 – Exemplo
78	CUSUM usando c	Apresenta o Gráfico de Controle por Soma Cumulativa (CUSUM), usando c como estatística.	Etapa1 – Princípios Etapa2 – CUSUM tabular usando a estatística c. Etapa3 – Definindo os valores a plotar: C_i^- , C_i^+ , N^- , N^+ Etapa4 – Definindo os valores a plotar: k, o valor de referência. Etapa5 – Limites de Controle: H Etapa6 – Construção do gráfico. Etapa7 – Interpretação do resultado. Etapa8 – Exemplo

Área 11 – Estudos de Capabilidade de Processos

Nesta área são apresentados os tutoriais relacionados a Análise da Capabilidade de Processos, incluindo índices de capabilidade de processo, estudos de calibração e medidas.

No.	Título	Descrição	Etapas
79	Princípios dos Estudos de Capabilidade de Processos	Apresenta os objetivos e as técnicas mais utilizadas para determinar a capabilidade de processos produtivos: histograma, índices, sistema de medição, atributos.	Etapa1 – O que é Estudo de Capabilidade de Processos? Etapa2 – Estudo de Capabilidade usando histogramas. Etapa3 – Estudo de Capabilidade usando plotagem de probabilidades. Etapa4 – Escolha da distribuição de probabilidades. Etapa5 – Índices de capabilidade de processos. Etapa6 – Estudo de Capabilidade de Processos usando experimentos. Etapa7 – Estudo de Capabilidade de Processos usando Gráficos de Controle. Etapa8 – Estudo de Capabilidade por atributos
80	Índices de Capabilidade de Processos - Cp	Apresenta o índice Cp, que pode ser usado para mensurar a capabilidade do processo. Uso quando há apenas uma especificação	Etapa1 – O que é o Cp? Etapa2 – Interpretação. Etapa3 – Uso quando há apenas uma especificação. Etapa4 – Desvantagens. Etapa5 – Valores mínimos para o Cp. Etapa6 – Intervalos de confiança para o Cp. Etapa7 – Testes de hipóteses para o Cp. Etapa8 – Exemplo
81	Índices de Capabilidade de Processos - Cpk	Apresenta o índice Cpk, que pode ser usado para mensurar a capabilidade do processo.	Etapa1 – O que é o Cpk? Etapa2 – Interpretação. Etapa3 – Relação com Cp. Etapa4 – Cp, Cpk e a normalidade. Etapa5 – Intervalos de confiança para o Cpk. Etapa6 – Exemplo.
82	Estudos da Capabilidade do sistema de medição	Apresenta os princípios e métodos utilizados para avaliar a capabilidade dos sistemas de aferição e medição usados para monitorar processos.	Etapa1 – Princípios. Etapa2 – Medindo a capabilidade do padrão. Etapa3 – Componentes da variabilidade total: do produto e da medição. Etapa4 – Razão precisão/tolerância. Etapa5 – Repetição e reprodução das medidas. Etapa6 – Exemplo

ANEXO D – Lista completa dos problemas

Lista completa dos problemas

Problema 1

Situação. Um grupo avícola recebeu reclamações sobre o peso da sua linha de pedaços de frango. Deveria pesar 500 gramas, mas foram encontradas várias embalagens cujo conteúdo estava substancialmente abaixo deste valor.

Providência. Colocação de um gráfico de controle (que não havia anteriormente) para quantificar como está o processo, a partir da monitoração do peso dos itens que serão embalados.

Técnica utilizada: gráficos de controle Xbarra e R, são analisados 25 subgrupos de 4 produtos por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, preocupação apenas com grandes desvios no peso, necessidade de utilizar pequenas amostras para evitar atrasos em demasia no processo de embalagem.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico Xbarra e R, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 2

Situação. Uma fábrica de revestimentos cerâmicos monitora, por meio de técnicas estatísticas, a qualidade de seus produtos. Dentre os vários característicos monitorados é especialmente importante a granulometria do pó que será utilizado na fabricação das peças. Se esta for fina ou grossa demais, as peças que serão prensadas a partir do pó, as quais receberão os esmaltes, poderão ter uma má aparência, o que comprometerá seriamente sua comercialização. A utilização do CEP, iniciada 3 anos atrás, melhorou em muito o processo, que se acredita estar estável e operando de forma otimizada. Não obstante, continuam os problemas com a aparência das peças após a esmaltação, e parece que a única causa possível seria a granulometria inadequada.

Providência. Há três anos foi implantado um gráfico de controle para monitorar a granulometria do pó, registrando os resultados de um teste de laboratório.

Técnica utilizada: gráficos de controle Xbarra e R, são analisados 25 subgrupos de 5 medidas por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, preocupação apenas com grandes desvios na granulometria, necessidade de utilizar pequenas amostras devido ao tempo necessário para gerar as medidas.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico Xbarra e R, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 3

Situação. Uma fábrica de painéis de fibras, usados predominantemente na construção civil, resolveu implementar o Controle Estatístico no seu processo produtivo, com o objetivo final de obter uma certificação ISO9000.

Providência. Colocação de um gráfico de controle (que não havia anteriormente) para quantificar como está o processo, a partir da monitoração da espessura dos painéis produzidos. Houve muita controvérsia sobre a escolha deste característico, pois parece que este não é o aspecto determinante na compra do produto, a aparência geral do painel, que pode ser considerada aceitável ou não, é considerada mais importante por muitos. Mas a diretoria queria uma mensuração objetiva da qualidade, e escolheu uma avaliação por variáveis. Há preocupação apenas com grandes desvios do valor nominal de espessura, de 50 mm.

Técnica utilizada. Gráficos de controle Xbarra e R, são analisados 25 subgrupos de 4 produtos por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, preocupação apenas com grandes desvios na espessura, necessidade de utilizar pequenas amostras para evitar atrasos em demasia no processo de expedição, e/ou acelerar o processo de retrabalho.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico Xbarra e R, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 4

Situação. Uma fábrica de tijolos está recebendo reclamações de vários clientes sobre as dimensões de seus produtos de 6 furos, especialmente do comprimento, que deveria ser em torno de 20 cm. A fábrica sempre se preocupou com a qualidade de seus produtos, mas de forma empírica, e até recentemente poucas vezes foi criticada pelos clientes, pelo contrário. Matéria-prima, mão-de-obra e métodos permanecem os mesmos. Mas os clientes não aceitam mais as diferenças que usualmente aceitavam (e que corrigiam com o retrabalho durante a construção), mesmo pequenas diferenças não são mais toleradas.

Providência. Alguém sugeriu à direção da empresa monitorar o comprimento dos tijolos, por meio de um gráfico de controle. Assim seria possível quantificar a qualidade do processo.

Técnica utilizada. Gráficos de controle Xbarra e R, são analisados 26 subgrupos de 4 produtos por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, pequenas amostras para reduzir ao mínimo o tempo gasto com a elaboração do gráfico, e por ser o gráfico mais utilizado.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico Xbarra e R, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 5

Situação. Uma fábrica de pó de café implantou um processo de melhoria da Qualidade, para obter o selo de pureza ABIC, que incluía a monitoração de vários característicos da Qualidade usando Gráficos de Controle. Um dos mais importantes é o percentual de cafeína encontrado em 25 mg do produto (unidade de amostragem), que deve ser superior a 0.7%. O processo de obtenção desta medida é complexo, e os resultados levam algum tempo para ficar prontos, o que pode dificultar a tomada de ações corretivas. A empresa conseguiu resolver muitos problemas, e agora acredita que seu processo é estável, e que o percentual de cafeína deve estar por volta de 2%, e precisa monitorar seu processo. Mesmo pequenos desvios neste valor poderão levar a empresa a não obter o selo de pureza.

Providência. Foi adotado um gráfico de controle para monitorar o percentual de cafeína.

Técnica utilizada: Gráfico de controle Xbarra e R, são analisados 30 subgrupos de 5 amostras de 25 mg por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica: Avaliação por variáveis, dificuldade em obter os resultados recomenda uma amostra pequena, gráfico mais utilizado.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico Xbarra e R, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 6

Situação. Uma empresa agro-industrial fabrica uma série de produtos, entre eles xarope de glicose, em tambores de 250 kg, depois utilizado como insumo em indústrias alimentícias. Um possível cliente exigiu que a empresa implementasse CEP no processo do xarope de glicose, e ofereceu-se para prestar todo o auxílio. Para o cliente o característico mais importante é o pH do xarope, que deve estar por volta de 4,7, embora somente grandes desvios (da ordem de mais de 2 desvios padrões) sejam preocupantes, porque o xarope sofrerá beneficiamento na fábrica do cliente. A medição do pH, embora rápida, força a inutilização do tambor coletado.

Providência. O cliente sugeriu, e a sugestão foi aceita, a colocação de gráficos de controle para monitorar o pH do xarope de glicose, para que seja possível configurar o processo.

Técnica utilizada: Gráfico de controle Xbarra e s, são analisados 25 subgrupos com 8 tambores cada.

Justificativa para o uso da técnica: avaliação por variáveis, há preocupação apenas com grandes desvios, há necessidade de se trabalhar com amostras e trata-se dos gráficos já utilizados pelo cliente.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico Xbarra e s, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 7

Situação. Fornecendo cabos de cobre para a indústria automobilística há algum tempo, uma empresa modificou sua linha de produção para melhorar a condutividade dos fios, que é um característico extremamente importante. Precisa agora avaliar como está o processo, especialmente a sua estabilidade. A medição da condutividade é um processo simples e não destrutivo, e conhecer o comportamento da variabilidade do processo com a maior acuracidade possível é muito importante.

Providência. O círculo de controle da Qualidade recomendou a adoção de gráficos de controle para monitorar a condutividade.

Técnica utilizada. Gráficos de controle Xbarra e s, serão avaliados 25 subgrupos de 10 fios cada por gráfico.

Justificativa para a técnica. Avaliação por variáveis, necessidade de conhecer o comportamento da variabilidade (desvio padrão) com acuracidade.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico Xbarra e s, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 8

Situação. Ciosa de sua Qualidade, uma marca de farinha de milho implementou o Controle Estatístico da Qualidade em sua linha de produção há 2 anos. A granulometria da farinha é um característico muito importante, ao passar a farinha por peneiras com abertura de 150 mm no máximo 12% da farinha deve ficar retida. Muitos problemas já foram resolvidos, e acredita-se que o processo esteja estável, mas alguns clientes continuam criticando a granulometria da farinha, segundo as variações são grandes demais. É importante ressaltar que a medição é simples, não destrutiva, e há possibilidade de implementar um sistema automático de coleta e medição.

Providência. Há 2 anos foi implantado um gráfico de controle para monitorar a granulometria da farinha.

Técnica utilizada: gráficos de controle Xbarra e s, são analisados 27 subgrupos de 10 embalagens de 1 kg por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, preocupação apenas com grandes desvios na granulometria, facilidade de retirada das amostras.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico Xbarra e s, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 9

Situação. Empresa do ramo têxtil implantou CEP, como parte do processo para a obtenção de um certificado ISO9000. Os fios são transformados em malha crua através de tecelagem plana e/ou circular. Aspecto crucial em seu processo é a largura da malha crua, que sofrerá beneficiamento (como mercerização e tingimento). Se a largura se desviar muito do valor nominal de 2 m poderá causar um número muito grande de retalhos quando for feito o corte dos moldes, resultando em perdas elevadas. Pequenas alterações não causarão grandes problemas.

Providência. Foi adotado um gráfico de controle para monitorar a largura da malha crua, para permitir a quantificação da qualidade do processo.

Técnica utilizada. Gráfico de medidas individuais e intervalos móveis (X e MR) para a largura da malha crua. Serão utilizadas 50 medidas por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, o fato de todas as peças sofrerem inspeção, e haver preocupação apenas com grandes desvios.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico X e MR, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 10

Situação. Empresa do ramo têxtil implantou CEP, como parte do processo para a obtenção de um certificado ISO9000. Os fios são transformados em malha crua através de tecelagem plana e/ou circular. Após beneficiamento (como mercerização e tingimento), obtém-se a malha acabada. Se sua largura se desviar muito do valor nominal de 2 m poderá causar um número muito grande de retalhos quando for feito o corte dos moldes, resultando em perdas elevadas. Pequenas alterações não causarão grandes problemas.

Providência. Foi adotado um gráfico de controle para monitorar a largura da malha acabada, permitindo a quantificação da qualidade do processo.

Técnica utilizada. Gráfico de medidas individuais e intervalos móveis (X e MR), para a largura da malha acabada. Serão utilizadas 50 medidas por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, o fato de todas as peças sofrerem inspeção, e haver preocupação apenas com grandes desvios.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico X e MR, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 11

Situação. Um grupo avícola recebeu severas reclamações sobre a aparência de seus frangos, vendidos inteiros. Estão apresentando muitas escoriações, o que torna difícil sua venda ao consumidor final. Os clientes argumentam que houve um aumento considerável no número de frangos com excesso de escoriações, e que isso precisa ser resolvido.

Providência. Colocação de um gráfico de controle (que não havia anteriormente) para quantificar como está o processo, a partir da avaliação da aparência dos frangos, se estão de acordo (sem escoriações) ou não com o padrão exigido pelos clientes.

Técnica utilizada: gráficos de controle p, são analisados 25 subgrupos de 50 frangos por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por atributos, preocupação apenas com grandes desvios no percentual de frangos com problema.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico p, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 12

Situação. Uma fábrica de telhas sofreu um duro golpe na sua reputação quando uma das maiores revendedoras de material de construção cancelou todos os seus pedidos. O motivo? Falta de qualidade geral das telhas, muito aquém dos padrões exigidos pelos consumidores finais, às vezes mais de 10% das telhas eram impróprias para utilização. Melhorias urgentes foram implementadas no processo, ainda são esperados pequenos percentuais de telhas defeituosas. Se o percentual subir em demasia (grande desvio) medidas mais enérgicas terão que ser tomadas.

Providência. Quantificar a real qualidade do processo, mediante a utilização de um gráfico de controle. Como a “qualidade geral” das telhas está sob suspeita, decidiu-se adotar uma avaliação por atributos, classificando as telhas como conformes (nenhum defeito) ou não conformes (pelo menos um defeito). Essa decisão não foi unânime, pois uma telha com 1 defeito (número considerado plenamente aceitável pelos clientes) seria tratada da mesma forma que outra com 30 defeitos (valor inaceitável).

Técnica utilizada. Gráficos de controle p, são analisados 30 subgrupos de 80 telhas por gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por atributos, classificação binária (conforme, não conforme), preocupação com grandes desvios

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico p, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 13

Situação. Uma fábrica de tijolos está recebendo reclamações de vários clientes sobre diversos defeitos encontrados nos seus produtos: dimensões inadequadas, riscos, rachaduras. Ao que parece o número excessivo de defeitos está causando a queda nas vendas, pois pequenas oscilações são esperadas devido aos problemas durante carga, transporte e descarga dos tijolos.

Providência. Alguém sugeriu à direção da empresa monitorar o número de defeitos dos tijolos, por meio de um gráfico de controle. Assim seria possível quantificar a qualidade do processo, e identificar se o problema está na fábrica ou na transporte até os clientes.

Técnica utilizada. Gráfico de controle c, são analisados 30 subgrupos de 20 tijolos cada, por gráfico. São somados os defeitos de todos os 20 tijolos e plotados no gráfico.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por atributos, observação do número de defeitos (não conformidades) encontrados, preocupação com grandes desvios.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico c, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 14

Situação. Empresa do ramo têxtil implantou CEP, como parte do processo para a obtenção de um certificado ISO9000. Os fios são transformados em malha crua através de tecelagem plana e/ou circular. A malha crua, que sofrerá beneficiamento (como mercerização e tingimento), não pode apresentar muitos defeitos, tais como furos e barramentos. Se o número de defeitos for muito grande pode ser necessário o descarte da partida de malha, resultando em perdas elevadas. Logo após a implantação do CEP diversos problemas foram detectados, e resolvidos. Presume-se que o processo esteja estável e operando corretamente, mas o resultado final ainda não está totalmente aceitável, embora os grandes desvios observados anteriormente, e sobre os quais se mantém vigilância não mais tenham se repetido.

Providência. Foi adotado há certo tempo um gráfico c, para monitorar o número de defeitos a cada 20 metros de malha crua. São avaliados 25 peças de malha em cada gráfico.

Técnica utilizada. Gráfico de controle c, para monitorar o número de defeitos.

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por atributos, contagem do número de defeitos por unidade de amostragem, preocupação com grandes desvios.

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico c, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 15

Situação. Uma fábrica de revestimentos cerâmicos monitora, por meio de técnicas estatísticas, a qualidade de seus produtos. Vários característicos são monitorados. Recentemente deu-se importância à umidade percentual do pó que será utilizado na fabricação das peças. Se esta for baixa ou alta demais, pode ser difícil prensar as peças que receberão os esmaltes ou sujar o estampo em demasia, respectivamente. O resultado disso podem ser perdas produtivas, o comprometimento da aparência das peças e portanto da sua comercialização. Alguns defeitos surgidos podem ter sido causados por valores não apropriados de umidade, que não foi monitorada até agora. Como os outros característicos estão dentro do esperado, é preciso observar cuidadosamente a umidade, pois pequenas variações podem causar grandes problemas.

Providência. Implantação de um gráfico de controle para monitorar a umidade percentual do pó que será utilizado para prensar as peças cerâmicas.

Técnica utilizada: gráfico de controle de soma cumulativa (CUSUM) para medidas individuais, são analisadas 30 medidas por gráfico

Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, preocupação com pequenos desvios na umidade, necessidade de usar medidas individuais devido ao longo tempo necessário para gerar as medidas

Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico CUSUM para medidas individuais, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 16

Situação. Fábrica de sal marinho situada no RN recebeu uma exigência de um cliente internacional da indústria química. Precisa implantar CEP no seu processo produtivo se quiser continuar como fornecedor, especialmente monitorar o característico densidade do sal, crucial para o processo produtivo do cliente, que deve estar por volta de 2,165 g/cm³. Até aí nada demais, pois a empresa utiliza gráficos de medidas individuais e intervalos móveis (produção a granel, lentidão para obter os resultados) há 5 anos, e considera seu processo estável e capaz. Contudo, o cliente quer que a empresa monitore a densidade com maior rigor, pois pequenos desvios causarão grandes problemas, e chegou a sugerir um gráfico “mais sensível” a pequenos desvios.

Providência. Monitorar a densidade do sal com um gráfico de controle mais sensível a pequenos desvios.
 Técnica utilizada. Gráfico de controle EWMA para medidas individuais. Serão avaliadas 25 medidas de densidade.
 Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por variáveis, dificuldade de obter amostras, preocupação com pequenos desvios, e foi o gráfico sugerido pelo cliente.
 Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico EWMA para a densidade, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 17

Situação. Uma fábrica de papel resolveu lançar um novo produto, para impressoras jato de tinta, impressoras a laser e fotocopiadoras. Após extensos estudos e testes piloto a produção foi iniciada. O característico mais importante é a gramatura do papel, cujo valor nominal é 75 g/m². Mesmo pequenos desvios podem vir a provocar travamento nas impressoras e copiadoras. A medição da gramatura no passado era feita manualmente, mas hoje a coleta e obtenção das medidas está automatizada.
 Providência. Quantificar como está o processo pela adoção de um gráfico de controle para monitorar a gramatura do papel.
 Técnica utilizada. Gráficos de controle CUSUM para a média de 4 folhas de papel, sendo analisados 25 subgrupos por gráfico.
 Justificativa para a técnica utilizada. Avaliação por variáveis, preocupação com pequenos desvios, 4 elementos por amostra era o utilizado quando a medição da gramatura era feita manualmente.
 Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico CUSUM para as médias das gramaturas, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 18

Situação. Empresa do ramo têxtil implantou CEP, como parte do processo para a obtenção de um certificado ISO9000. Os fios são transformados em malha crua através de tecelagem plana e/ou circular. Após beneficiamento (como mercerização e tingimento), obtém-se a malha acabada que não pode apresentar muitos defeitos, tais como manchas, sujeiras e diferenças de tonalidade no mesmo rolo de malha. Se o número de defeitos for muito grande pode ser necessário o descarte da partida de malha, resultando em perdas elevadas. Logo após a implantação do CEP diversos problemas foram detectados, e resolvidos. Mas o número de defeitos na malha acabada ainda não foi monitorado, e mesmo pequenos aumentos no número de defeitos são inaceitáveis nesta etapa do processo.
 Providência. Implantação de um gráfico de controle para monitorar o número de defeitos em cada peça de malha, e assim quantificar o estado do processo.
 Técnica utilizada. Gráfico de controle de soma cumulativa (CUSUM) para o número de defeitos para cada 20 metros de malha, são analisadas 30 peças de malha em cada gráfico.
 Justificativa para o uso da técnica. Avaliação por atributos, contagem do número de defeitos por unidade de amostragem, preocupação com pequenos desvios.
 Tarefa do usuário. Analisar os resultados do gráfico CUSUM para o número de defeitos, recomendar o que fazer em função dos resultados obtidos, e justificar por que concorda ou não com a técnica utilizada.

Problema 19

Situação. Preocupada com as exigências de seus clientes uma fábrica de móveis implantou gráficos de controle para as dimensões de um dos seus produtos, uma mesa de canto. Após muitos contratemplos foi possível colocar o processo em estado de controle estatístico, resolvendo uma série de problemas que atormentavam a produção. A dimensão mais importante da mesa é o seu comprimento, cujas especificações variam de 75 a 85 cm. Embora saiba que seu processo está sob controle estatístico, a empresa não sabe se a produção atende às especificações (e como está a distribuição dos comprimentos), embora suspeite que sim, e principalmente, se atende ao índice de capacidade C_{pk} de 1,33, fixado como meta pela própria direção. Há também uma preocupação acerca da capacidade dos gabaritos utilizados para realizar a medição do comprimento, bem como do próprio treinamento dos operadores para tal.
 Providência. Realização de um estudo de capacidade do processo, para verificar se o produto final está de acordo com o que deveria ser.
 Técnicas utilizadas. Estudo de capacidade por histograma (50 comprimentos), estudo de capacidade por índices de capacidade (os mesmos 50 pontos do histograma), estudo de capacidade do sistema de medição (repetibilidade e reprodutibilidade), 12 mesas serão medidas 2 vezes por cada um dos 3 operadores.
 Justificativa para as técnicas. O primeiro estudo é recomendado porque se deseja conhecer a distribuição do característico, o segundo porque se deseja comparar o índice C_{pk} do processo com o valor fixado 1,33, e o terceiro tipo é necessário pois é preciso avaliar se a métrica é apropriada (pois se não for não haverá base objetiva para a tomada de decisões).
 Tarefa do usuário: analisar os resultados de cada estudo de capacidade, e recomendar o que fazer em seguida de acordo com estes resultados.

Problema 20

Situação. Fornecendo cabos de cobre para a indústria automobilística há algum tempo, uma empresa tem hoje o seu processo produtivo estável para o característico diâmetro dos fios. Como parte das verificações anuais, para decidir se mantém a empresa no seu rol de fornecedores, um cliente exige a realização de estudos da capacidade do processo para o diâmetro dos fios: desde a distribuição do característico, passando pela verificação do Cpk (no mínimo igual a 2), e incluindo uma avaliação do sistema de medição.

Providência. Realização de um estudo de capacidade do processo, para verificar se o produto final está de acordo com o que deveria ser.

Técnicas utilizadas. Estudo de capacidade por histograma (150 diâmetros), estudo de capacidade por índices de capacidade (os mesmos 150 pontos do histograma), estudo de capacidade do sistema de medição (repetibilidade e reprodutibilidade), 10 fios serão medidos 3 vezes por cada um dos 3 operadores.

Justificativa para as técnicas. O primeiro estudo é recomendado porque se deseja conhecer a distribuição do característico, o segundo porque se deseja comparar o índice Cpk do processo com o valor fixado 2, e o terceiro tipo é necessário pois é preciso avaliar se a métrica é apropriada (pois se não for não haverá base objetiva para a tomada de decisões).

Tarefa do usuário: analisar os resultados de cada estudo de capacidade, e recomendar o que fazer em seguida de acordo com estes resultados.

Problema 21

Situação. Uma fábrica de papel resolveu lançar um novo produto, matéria-prima para a fabricação de sacolas. Após extensos estudos e testes piloto a produção foi iniciada, sendo verificado que o processo está sob controle estatístico. Dentro da orientação para a Qualidade da empresa, o próximo passo é avaliar a capacidade do processo. O característico mais importante é a gramatura do papel, cujo valor nominal é 110 g/m², podendo variar entre 105 e 115 g/m². Como para todos os outros processos o índice mínimo de capacidade é 1,33, e recomenda-se avaliar a repetibilidade e reprodutibilidade das medidas de gramatura, que ainda são feitas manualmente e suscitam suspeitas sobre sua acuracidade.

Providência. Realização de um estudo de capacidade do processo, para verificar se o produto final está de acordo com o que deveria ser.

Técnicas utilizadas. Estudo de capacidade por histograma (200 gramaturas), estudo de capacidade por índices de capacidade (os mesmos 200 pontos do histograma), estudo de capacidade do sistema de medição (repetibilidade e reprodutibilidade), 15 folhas serão medidas 2 vezes por cada um dos 3 operadores.

Justificativa para as técnicas. O primeiro estudo é recomendado porque se deseja conhecer a distribuição do característico, o segundo porque se deseja comparar o índice Cpk do processo com o valor fixado 1,33, e o terceiro tipo é necessário pois é preciso avaliar se a métrica é apropriada (pois se não for não haverá base objetiva para a tomada de decisões).

Tarefa do usuário: analisar os resultados de cada estudo de capacidade, e recomendar o que fazer em seguida de acordo com estes resultados.

Problema 22

Situação. Empresa de autopeças do ABC paulista fornece roscas de torque para a indústria automobilística. Em parceria com seus clientes, implantou Controle Estatístico da Qualidade há cerca de um ano, e neste período teve imensos problemas com a estabilidade do seu processo. Alguns operadores não acreditam que esteja sob controle estatístico. Não obstante, pressionada por um cliente ansioso, a empresa precisa apresentar os resultados de um estudo de capacidade do seu processo, para que aquele cliente possa por sua vez aceitar um contrato, e subcontratá-la. O aspecto crucial é o diâmetro da porca, que deve estar entre 14,9 e 15,1 mm, com um índice de capacidade Cpk mínimo de 1,33. Os aparelhos de medição também deverão ser avaliados.

Providência. Realização de um estudo de capacidade do processo, para verificar se o produto final está de acordo com o que deveria ser.

Técnicas utilizadas. Estudo de capacidade por histograma (120 porcas), estudo de capacidade por índices de capacidade (os mesmos 120 pontos do histograma), estudo de capacidade do sistema de medição (repetibilidade e reprodutibilidade), 12 porcas serão medidas 2 vezes por cada um dos 2 operadores.

Justificativa para as técnicas. O primeiro estudo é recomendado porque se deseja conhecer a distribuição do característico, o segundo porque se deseja comparar o índice Cpk do processo com o valor fixado 1,33, e o terceiro tipo é necessário pois é preciso avaliar se a métrica é apropriada (pois se não for não haverá base objetiva para a tomada de decisões).

Tarefa do usuário: analisar os resultados de cada estudo de capacidade, e recomendar o que fazer em seguida de acordo com estes resultados.

Problema 23

Situação. Uma recém-fundada metalúrgica quer se habilitar a fornecer parafusos à uma empresa multinacional. Seu processo foi cuidadosamente projetado, é monitorado por meio de gráficos de controle avançados, e todos os seus processos encontram-se sob controle estatístico. A multinacional quer avaliar a capacidade do processo da

empresa, e escolheu como característico o comprimento dos parafusos produzidos, que deve situar-se entre 119,9 e 120,1 mm. Para começo de conversa exige um sistema de medição funcionando muito bem e um Cpk mínimo de 1,33.

Providência. Realização de um estudo de capacidade do processo, para verificar se o produto final está de acordo com o que deveria ser.

Técnicas utilizadas. Estudo de capacidade por histograma (120 parafusos), estudo de capacidade por índices de capacidade (os mesmos 120 pontos do histograma), estudo de capacidade do sistema de medição (repetibilidade e reprodutibilidade), 10 parafusos serão medidos 3 vezes por cada um dos 3 operadores.

Justificativa para as técnicas. O primeiro estudo é recomendado porque se deseja conhecer a distribuição do característico, o segundo porque se deseja comparar o índice Cpk do processo com o valor fixado 1,33, e o terceiro tipo é necessário pois é preciso avaliar se a métrica é apropriada (pois se não for não haverá base objetiva para a tomada de decisões).

Tarefa do usuário: analisar os resultados de cada estudo de capacidade, e recomendar o que fazer em seguida de acordo com estes resultados.

Problema 24

Situação. Uma metalúrgica paulista desenvolveu um novo método de sinterização que permite obter peças com excelente qualidade. Passou a fabricar peças cilíndricas para motores de automóveis, e após a implementação de CEP conseguiu estabilizar seu processo produtivo. Passou a vender seus produtos para montadoras instaladas no Brasil, mas recentemente recebeu uma consulta de uma montadora instalada na Europa, o que pode significar um negócio milionário. Mas as exigências são duras: uma capacidade impecável no processo, avaliando o diâmetro das peças, com um Cpk mínimo de 2, uma distribuição consistente do característico e um sistema de medição confiável.

Providência. Realização de um estudo de capacidade do processo, para verificar se o produto final está de acordo com o que deveria ser.

Técnicas utilizadas. Estudo de capacidade por histograma (120 peças), estudo de capacidade por índices de capacidade (os mesmos 120 pontos do histograma), estudo de capacidade do sistema de medição (repetibilidade e reprodutibilidade), 10 peças serão medidas 3 vezes por cada um dos 2 operadores.

Justificativa para as técnicas. O primeiro estudo é recomendado porque se deseja conhecer a distribuição do característico, o segundo porque se deseja comparar o índice Cpk do processo com o valor fixado 2, e o terceiro tipo é necessário pois é preciso avaliar se a métrica é apropriada (pois se não for não haverá base objetiva para a tomada de decisões).

Tarefa do usuário: analisar os resultados de cada estudo de capacidade, e recomendar o que fazer em seguida de acordo com estes resultados.

Problema 25

Situação. Uma indústria pesqueira catarinense recentemente passou a produzir surimi, uma espécie de carne moída de peixe. Trata-se de um produto muito apreciado em diversos países, e a empresa produz o produto exclusivamente para exportação. Devido aos exigentes padrões de seus clientes, a direção implantou um agressivo programa de qualidade, que incluiu a implantação do CEP, e a monitoração por gráficos de controle de vários característicos da qualidade. Muitas melhorias foram obtidas, mas os clientes exigem que o sabor seja semelhante ao do peixe fresco. Para tal, o pH da água nas embalagens de surimi deve estar entre 6,5 e 7, caso contrário o sabor será alterado, o que pode levar à rejeição do produto. A empresa precisaria monitorar o pH do maior número possível de embalagens, para poder detectar rapidamente qualquer mudança no processo, e efetuar os controles necessários. Mesmo pequenos desvios podem ter sérias conseqüências. A obtenção do valor do pH é um processo fácil e rápido, poderia até mesmo ser automatizado, possibilitando a medição de todas as embalagens. É imprescindível também ter uma clara idéia de como está o pH atualmente, seu valor mínimo e máximo, se está dentro das especificações. Os outros característicos são avaliados com gráficos Xbarra e R, e estudos de capacidade por histogramas.

Providência. Decidiu-se monitorar o pH das embalagens de surimi, por gráficos de controle e estudos de capacidade, para que possa ser possível quantificar o real estado do processo.

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle Xbarra e R, 25 subgrupos de 4 embalagens por gráfico e estudo de capacidade do pH por histograma (120 medições, além das feitas para os gráficos).

Justificativa para as técnicas. Os gráficos Xbarra e R foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis, por empregarem amostras menores, e para utilizar o mesmo tipo de gráficos utilizados nos outros característicos (barateando custos). O estudo por histograma foi escolhido por se desejar conhecer a distribuição do característico, e para aplicar o mesmo tipo de estudo usado nos outros característicos.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos Xbarra e R, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por histograma (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 26

Situação. Uma indústria pesqueira catarinense recentemente passou a produzir surimi, uma espécie de carne moída de peixe. Trata-se de um produto muito apreciado em diversos países, e a empresa produz o produto exclusivamente para exportação. Devido aos exigentes padrões de seus clientes, a direção implantou um agressivo programa de qualidade, que incluiu a implantação do CEP, e a monitoração por gráficos de controle de vários característicos da qualidade. Muitas melhorias foram obtidas, mas os clientes apresentaram algumas reclamações sobre o peso dos blocos de surimi, que estavam consideravelmente abaixo dos 10 quilos nominais. O peso antes da embalagem é um dos característicos monitorados pela empresa desde o início do programa da qualidade, tanto por meio de gráficos de controle quanto por estudos de capacidade, e o processo parece estar sob controle e com boa capacidade. O peso é verificado por meio de uma balança de precisão, situada um pouco distante da linha de produção (como medida de proteção do excesso de umidade), o que exige o transporte dos blocos de surimi da linha de produção para a balança e vice-versa (um número pequeno de blocos deve ser usado para facilitar o processo). Um novo cliente quer avaliar in-loco as condições do peso do surimi, e pediu para acompanhar o monitoramento do característico: pequenos desvios são aceitáveis, e também gostariam de ter uma idéia geral da capacidade do processo (mínimos, máximos, percentual dentro das especificações) que deveria estar entre 9,8 e 10,2 quilos. A empresa adota índices para mensurar a capacidade de todos os característicos.

Providência. Será permitido que os clientes tenham acesso aos resultados dos gráficos de controle e dos estudos de capacidade feitos a partir dos gráficos.

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle Xbarra e R, 28 subgrupos de 4 embalagens por gráfico e estudo de capacidade do peso por índices de capacidade (valores provenientes do gráfico).

Justificativa para as técnicas. Os gráficos Xbarra e R foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis, por empregarem amostras menores, e por haver preocupação com grandes desvios apenas. O estudo por índices foi escolhido por ser a prática da empresa.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos Xbarra e R, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por índices (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 27

Situação. Empresa do setor químico decidiu-se pela implantação de Controle Estatístico da Qualidade. Como processo piloto escolheu a problemática produção de ácido fluossilícico, é preciso saber como está a estabilidade do processo, e se os produtos estão dentro das especificações. Este ácido é utilizado como matéria-prima por outras indústrias químicas, em processos de tratamento de água, entre outras aplicações. O produto é comercializado em estado líquido, em embalagens de 2 litros, e o aspecto mais importante é a própria concentração percentual do ácido, que deve estar entre 21,5 e 25,5%. Não obstante, pequenos desvios, dentro das especificações são tolerados. A medição da concentração precisa ser feita no laboratório de análises da empresa, e não acarreta o descarte do produto avaliado. Mas, a medição, feita com um espectrômetro, leva muito tempo para ser feita. Com base na literatura especializada a direção também fixou um índice de capacidade Cpk mínimo igual a 1,33.

Providência. Decidiu-se monitorar a concentração percentual de ácido fluossilícico, por meio de gráficos de controle e estudos de capacidade, para possibilitar uma avaliação objetiva do processo.

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle Xbarra e R, 25 subgrupos de 5 embalagens por gráfico e estudo de capacidade da concentração por índices de capacidade (valores provenientes do gráfico).

Justificativa para as técnicas. Os gráficos Xbarra e R foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis, por empregarem amostras menores, e por haver preocupação com grandes desvios apenas. O estudo por índices foi escolhido por ser a prática da empresa.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos Xbarra e R, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por índices (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 28

Situação. Uma feccularia produz amido em embalagens de 1 kg, e por exigência dos clientes foi obrigada recentemente a adotar o CEP e estudos de capacidade de processos. Os clientes, indústrias alimentícias exigem que o teor de umidade no amido esteja entre 12% e 14%, mesmo pequenas variações causarão problemas sérios em seus processos produtivos. Além disso, um dos clientes simplesmente determinou que ou a feccularia obtém um Cpk de no mínimo 1,33 para o teor de umidade, ou perderá o cliente (responsável por 25% das vendas). A realização das medições inutiliza o amido cujo teor é medido, e o a obtenção da medida leva um tempo considerável (quase um turno inteiro de trabalho). O cliente que exigiu o Cpk de 1,33 sugeriu que a feccularia use gráficos Xbarra e s.

Providência. Decidiu-se monitorar o percentual de umidade no amido, por meio de gráficos de controle e estudos de capacidade, para possibilitar uma avaliação objetiva do processo.

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle Xbarra e s, 30 subgrupos de 8 embalagens por gráfico e estudo de capacidade da concentração por índices de capacidade (valores provenientes do gráfico).

Justificativa para as técnicas. Os gráficos Xbarra e s foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis e por haver sido sugerido pelo cliente. O estudo por índices foi escolhido também por sugestão do cliente.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos Xbarra e s, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por índices (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 29

Situação. Empresa do ramo têxtil implantou CEP, como parte do processo para a obtenção de um certificado ISO9000. Os fios são transformados em malha crua através de tecelagem plana e/ou circular. Aspecto crucial em seu processo é a gramatura da malha crua, que sofrerá beneficiamento (como mercerização e tingimento). Se a gramatura se desviar muito do valor nominal de 40 mm poderá acarretar em um tecido sem resistência, podendo rasgar facilmente, resultando em perdas elevadas. Mesmo pequenas alterações causarão grandes problemas. O principal cliente da empresa gostaria de que a capacidade do processo fosse apresentada por meio de índices, mas a direção insiste que uma idéia geral da distribuição do característico é melhor, e promete mostrar os resultados de gráficos de controle e estudos de capacidade da gramatura. Gráficos de medidas individuais e intervalos móveis (X e MR) já são utilizados para outros característicos

Providência. Foi adotado um gráfico de controle para monitorar a gramatura da malha crua, para permitir a quantificação da qualidade do processo, e realizado um estudo de capacidade da gramatura.

Técnicas utilizadas. Gráfico de medidas individuais e intervalos móveis (X e MR) para a gramatura da malha crua. Serão utilizadas 35 medidas por gráfico. Estudo de capacidade por histogramas (serão utilizadas 150 medições).

Justificativas para o uso das técnicas. Os gráficos X e MR foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis, por todas as peças sofrerem inspeção, e para manter a uniformidade com outros característicos (reduzindo custos). O estudo por histograma foi escolhido por a direção considerar mais conveniente apresentar a distribuição geral do característico.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos X e MR, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por histograma (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 30

Situação. Empresa do setor químico decidiu-se pela implantação de Controle Estatístico da Qualidade. Após 2 anos avaliando cuidadosamente seu processo de fabricação de amônia, monitorando o percentual de amônia no gás usando gráficos de medidas individuais e intervalos móveis, efetuando uma série de correções e melhorias no processo, parece que a estabilidade foi atingida. Dificilmente aqueles gráficos mostram algum ponto fora de controle. A obtenção das medidas é um processo complexo, e até mesmo perigoso, e toma bastante tempo. Longe de estar satisfeito o engenheiro responsável pelo processo suspeita que os desvios no percentual de amônia são pequenos demais para serem identificados pelos gráficos atuais. Resolveu adotar um gráfico apropriado para identificar pequenos desvios, e em seguida realizar um estudo da capacidade do processo, procurando conhecer a distribuição do característico, não obstante os clientes preferirem o índice Cpk.

Providência. Decidiu-se monitorar o percentual de amônia, por meio de gráficos de controle e estudos de capacidade, para possibilitar uma avaliação objetiva do processo.

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle CUSUM para medidas individuais de percentual de amônia, 25 subgrupos por gráfico e estudo de capacidade da concentração por histograma.

Justificativa para as técnicas. Os gráficos CUSUM para medidas individuais foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis, por haver preocupação com pequenos desvios, e pela demora em obter as medidas (o que tornaria difícil obter subgrupos). O estudo por histograma foi escolhido por ser a opção do engenheiro do processo.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos CUSUM, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por histograma (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 31

Situação. Uma fábrica de sal do Rio Grande do Norte, com certificado ISO9002, foi procurada por um novo cliente da indústria alimentícia. O cliente sabe que a empresa tem uma prática da Qualidade baseada em CEP e estudos de capacidade do processo, e quer avaliar os resultados de uma avaliação rotineira para verificar se vale a pena ter a fábrica como fornecedor. O característico chave é o percentual de iodo no sal, que deve estar entre 40 e 60%. A fábrica recentemente implantou um gráfico de controle CUSUM para monitorar pequenos desvios nesta concentração, e diz que até agora não detectou problemas. Declara também que o seu índice de capacidade Cpk é igual a pelo menos 1,33, muito embora o possível cliente preferisse avaliar a distribuição do

característico. A medição do percentual de iodo é feita em um laboratório situado longe do processo produtivo, e os resultados costumam levar dois dias para ficarem prontos.

Providência. Permitir o acesso do possível cliente aos gráficos de controle e estudos de capacidade do processo, para que ele possa decidir se deve fazer negócio ou não.

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle CUSUM para medidas individuais, 30 medidas por gráfico, estudo da capacidade do processo por índices de capacidade (valores provenientes do gráfico).

Justificativa para as técnicas. Os gráficos CUSUM para medidas individuais foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis, por haver preocupação com pequenos desvios, e pela demora em obter as medidas (o que tornaria difícil obter subgrupos). O estudo por índices foi escolhido por ser a prática da empresa.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos CUSUM, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por índices (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 32

Situação. Uma empresa agro-industrial fabrica uma série de produtos, entre eles xarope de glicose, em tambores de 250 kg, depois utilizado como insumo em indústrias alimentícias. Um possível cliente exigiu que a empresa implementasse CEP e estudos de capacidade no processo do xarope de glicose, e ofereceu-se para prestar todo o auxílio. Para o cliente um dos característicos mais importantes é o percentual de material sólido no xarope, que deve estar entre 83 e 85%, estrito controle sobre a variação precisa ser mantido, e um Cpk mínimo de 1,33 foi exigido. A medição do percentual não inutiliza o tambor, mas toma bastante tempo. O cliente sugeriu a utilização de um gráfico CUSUM para médias.

Providência. Permitir o acesso do possível cliente aos gráficos de controle e estudos de capacidade do processo, para que ele possa decidir se deve fazer negócio ou não.

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle CUSUM para médias de percentuais em 4 tambores, 25 medidas por gráfico, estudo da capacidade do processo por índices de capacidade (valores provenientes do gráfico).

Justificativa para as técnicas. Os gráficos CUSUM para médias foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis, por haver preocupação com pequenos desvios, e por ser a sugestão do cliente. O estudo por índices foi escolhido também por sugestão do cliente.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos CUSUM, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por índices (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 33

Situação. Empresa do setor químico está avaliando um dos seus processos produtivos. O fosfato monoamônio (MAP) é matéria-prima importante para a indústria de fertilizantes, e o percentual de fosfato existente no produto é um item crucial. Deve estar entre 53,3 e 54,9%. Confiando que seu processo não apresenta grandes desvios, mas suspeitando de que pequenas flutuações possam estar ocorrendo no percentual a direção decidiu monitorar o característico utilizando um gráfico EWMA, para medidas individuais, que precisam de um complicado procedimento para serem obtidas. Além disso, seguindo uma tendência do setor, fixou um índice Cpk igual a 2 como meta.

Providência. Decidiu-se monitorar o percentual de fosfato, por meio de gráficos de controle e estudos de capacidade, para possibilitar uma avaliação objetiva do processo.

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle EWMA para medidas individuais de percentual de fosfato, 26 subgrupos por gráfico e estudo de capacidade da concentração por índices.

Justificativa para as técnicas. Os gráficos EWMA para medidas individuais foram escolhidos por ser a avaliação por variáveis, por haver preocupação com pequenos desvios, e pela demora em obter as medidas (o que tornaria difícil obter subgrupos). O estudo por índices (com dados provenientes dos gráficos) foi escolhido por ser a tendência do setor.

Tarefa do usuário: analisar os resultados dos gráficos EWMA, recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por histograma (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 34

Situação. Uma fábrica de pisos cerâmicos avalia a qualidade dos seus produtos de forma sistemática desde a sua fundação. Um dos aspectos mais importantes é a textura das peças produzidas, que é avaliada como adequada ou não por operadores experientes. Após anos monitorando o característico, usando um gráfico p, de fração de itens não conformes, e corrigindo diversos problemas, a empresa orgulha-se de ter conseguido um bom padrão de qualidade, seu processo é considerado sob controle estatístico, e admite-se como 1,2% o máximo de peças com textura inadequada. Um provável cliente exige porém que ele possa avaliar a qualidade do processo, começando

pelos gráficos de controle (mesmo pequenos desvios são inaceitáveis), e que o processo tenha um índice de capacidade C_{pk} igual ou maior do que 1,33.

Providência. Permitiu-se que o cliente avaliasse os resultados de um gráfico de controle, e realizasse um estudo de capacidade do processo

Técnicas utilizadas. Gráficos de controle p , são analisados 27 subgrupos de 500 peças por gráfico. Estudo de capacidade por índices de capacidade com os resultados do gráfico.

Justificativas para o uso das técnicas. O gráfico p foi escolhido por ser a avaliação por atributos, classificação binária (conforme, não conforme), e por ser o gráfico utilizado desde o início do programa. O estudo de capacidade por índices foi escolhido por exigência do cliente.

Tarefa do usuário: analisar os resultados do gráfico p , recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por índices (levando também em conta os resultados dos gráficos), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 35

Situação. Uma fábrica de painéis de fibras, usados predominantemente na construção civil, resolveu implementar o Controle Estatístico no seu processo produtivo, com o objetivo final de obter uma certificação ISO9000. A partir de um certo número de defeitos os painéis são considerados não apropriados, mas os clientes não souberam especificar tal número, apenas não tolerarão grandes flutuações nos valores. A empresa também não tem idéia de como está o processo: precisa avaliar a estabilidade do processo e a sua capacidade (obtendo um quadro geral do comportamento do característico).

Providência. Colocação de um gráfico de controle (que não havia anteriormente) para quantificar como está o processo, a partir da monitoração do número de defeitos dos painéis produzidos. Realização de um estudo de capacidade do processo

Técnicas utilizadas. Gráfico de controle c , são analisados 25 subgrupos de 20 painéis cada, estudo de capacidade por histograma (125 grupos de 20 painéis).

Justificativa para o uso da técnica. O gráfico c foi escolhido por ser a avaliação por atributos, sendo monitorado o número de defeitos, e por ser o primeiro estudo somente haver preocupação com grandes desvios. O estudo de capacidade por histograma foi escolhido por se desejar uma idéia da distribuição do característico, e por não haver especificações, necessárias para outros estudos.

Tarefa do usuário: analisar os resultados do gráfico c , recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por histograma, recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

Problema 36

Situação. Empresa do ramo têxtil implantou CEP, como parte do processo para a obtenção de um certificado ISO9000. Os fios são transformados em malha crua através de tecelagem plana e/ou circular. Após beneficiamento (como mercerização e tingimento), obtém-se a malha acabada que não pode apresentar muitos defeitos, tais como manchas, sujeiras e diferenças de tonalidade no mesmo rolo de malha. Se o número de defeitos for muito grande pode ser necessário o descarte da partida de malha, resultando em perdas elevadas. Logo após a implantação do CEP diversos problemas foram detectados, e resolvidos. Mas o número de defeitos na malha acabada ainda não foi monitorado, e mesmo pequenos aumentos no número de defeitos são inaceitáveis nesta etapa do processo. Igualmente desconhece-se a capacidade do processo, optando a diretoria por determinar índices de capacidade, fixando o C_{pk} mínimo em 1,33 (embora não se saiba como é a distribuição do característico), e limitando o número de defeitos a no máximo 10.

Providência. Implantação de um gráfico de controle para monitorar o número de defeitos em cada peça de malha, e assim quantificar o estado do processo, e a realização de um estudo de capacidade do processo.

Técnica utilizada. Gráfico de controle de soma cumulativa (CUSUM) para o número de defeitos para cada 20 metros de malha, são analisadas 30 peças de malha em cada gráfico. Estudo de capacidade por índices de capacidade com base nos resultados do gráfico.

Justificativas para o uso das técnicas. O gráfico CUSUM para o número de defeitos foi escolhido por ser a avaliação por atributos, tratar-se da contagem do número de defeitos por unidade de amostragem, e por haver preocupação com pequenos desvios. O estudo de capacidade por índices foi uma decisão da diretoria da empresa.

Tarefa do usuário: analisar os resultados do gráfico CUSUM para c , recomendar o que fazer em face dos resultados, indicar se concorda ou não com os gráficos utilizados, analisar os resultados do estudo de capacidade por índices (levando em conta também os resultados do gráfico), recomendar o que fazer de acordo com os resultados, e declarar se concorda ou não com o estudo de capacidade utilizado.

ANEXO E – Gerador de números pseudo-aleatórios

Algoritmos de geração dos números pseudo-aleatórios

```

/*****
**** INSTANCE: GA
**** Classe que contem os slots e metodos utilizados para gerar
**** numeros pseudo-aleatorios.
*****/
MakeInstance( GA, Simulador );
SetInstanceComment( GA, "Classe que contem os slots e metodos utilizados para gerar
numeros pseudo-aleatorios." );

/***** METHOD: Bernoulli *****/
/* "Gera numeros aleatorios a partir de uma distribuicao de Bernoulli.
Pode gerar uma ou varias amostras.
" */
MakeMethod( GA, Bernoulli, [tamamostra numamostras param1 npt ini desv tip ],
{
  If numamostras ==1
  Then
  {
    ClearList(GA:Amostra1);
    SeedRandom(NOINIT);
    For i From 1 To tamamostra Do
    {
      ResetValue(Global:Num);
      Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
      SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
      If Global:Num <= param1
      Then
        SetValue(Global:Num,1)
      Else
        SetValue(Global:Num,0);
      AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num);
    };
  }
  Else
  {
    ClearList(GA:Amostra1);
    SeedRandom(NOINIT);
    MultiAmostra(numamostras);
    For i From 1 To numamostras Do
    {
      For j From 1 To tamamostra Do
      {
        ResetValue(Global:Num);
        Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
        SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
        If Global:Num <= param1
        Then
          SetValue(Global:Num,1)
        Else
          SetValue(Global:Num,0);
        Let[slot Amostra#i]
        AppendToList(GA:slot,Global:Num);
      };
    };
  };
};
});
SetMethodComment(GA, Bernoulli, "Gera numeros aleatorios a partir de uma distribuicao de Bernoulli.
Pode gerar uma ou varias amostras.
");

```

```

/***** METHOD: Binomial *****/
/* "Gera numeros aleatórios a partir de uma distribuicao binomial.
Pode gerar uma ou varias amostras." */
MakeMethod( GA, Binomial, [tamamostra numamostras param1 param2 npt ini desv ],
{
  If numamostras ==1
  Then
  {
    ClearList(GA:Amostra1);
    SeedRandom(NOINIT);
    If npt>0
    Then DesvioBinomial1(tamamostra,npt,ini,desv,param1,param2)
    Else
    {
      For i From 1 To tamamostra Do
      {
        ResetValue(Global:Num);
        SetValue(Global:Soma,0);
        For j From 1 To param2 Do
        {
          Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
          SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
          If Global:Num <= param1
          Then SetValue(Global:Num,1)
          Else SetValue(Global:Num,0);
          Global:Soma += Global:Num;
        };
        AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
      };
    };
  }
Else
{
  ClearList(GA:Amostra1);
  SeedRandom(NOINIT);
  If npt>0
  Then DesvioBinomial2(numamostras,tamamostra,npt,ini,desv,param1,param2)
  Else
  {
    MultiAmostra(numamostras);
    For i From 1 To numamostras Do
    {
      For j From 1 To tamamostra Do
      {
        ResetValue(Global:Num);
        SetValue(Global:Soma,0);
        For k From 1 To param2 Do
        {
          Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
          SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
          If Global:Num <= param1
          Then SetValue(Global:Num,1)
          Else SetValue(Global:Num,0);
          Global:Soma += Global:Num;
        };
        Let[slot Amostra#i]
        AppendToList(GA:slot,Global:Soma);
      };
    };
  };
};
});
SetMethodComment(GA, Binomial, "Gera numeros aleatórios a partir de uma distribuicao binomial.
Pode gerar uma ou varias amostras." );

/***** METHOD: Exponencial *****/
/* "Gera numeros aleatorios a partir de uma distribuicao exponencial.
Pode gerar uma ou varias amostras." */
MakeMethod( GA, Exponencial, [tamamostra numamostras param1 npt ini desv tip ],
{

```

```

If numamostras ==1
Then
{
ClearList(GA:Amostra1);
SeedRandom(NOINIT);
For i From 1 To tamamostra Do
{
ResetValue(Global:Num);
Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
SetValue(Global:Num,Negative(param1*(Log(Global:Num))));
AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num);
};
}
Else
{
ClearList(GA:Amostra1);
SeedRandom(NOINIT);
MultiAmostra(numamostras);
For i From 1 To numamostras Do
{
For j From 1 To tamamostra Do
{
ResetValue(Global:Num);
Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
SetValue(Global:Num,Negative(param1*(Log(Global:Num))));
Let[slot Amostra#i]
AppendToList(GA:slot,Global:Num);
};
};
};
});
SetMethodComment(GA, Exponencial, "Gera numeros aleatorios a partir de uma distribuicao exponencial.
Pode gerar uma ou varias amostras.");

/***** METHOD: Normal *****/
/* "Gera numeros aleatorios de acordo com uma distribuicao normal
com parametros media param1 e desvio padrao param2. Sao geradas numamostras
com tamamostra elementos." */
MakeMethod( GA, Normal, [tamamostra numamostras param1 param2 npt ini desv tip ],
{
If numamostras ==1
Then
{
ClearList(GA:Amostra1);
SeedRandom(NOINIT);
If npt>0
Then DesvioNormal1(tamamostra,npt,ini,desv,tip,param1,param2)
Else
{
For i From 1 To tamamostra Do
{
SetValue(Global:Num,1);
CalcNormal(param1,param2);
Let [num3 RandomNumber(1,2)]
SetValue(Global:Num,num3);
If Global:Num ==1
Then
{
AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num1);
}
Else
{
AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num2);
};
};
};
}
Else

```

```

{
  ClearList(GA:Amostra1);
  SeedRandom(NOINIT);
  If npt>0
  Then
  {
    DesvioNormal2(numamostras,tamamostra,npt,ini,desv,tip,param1,param2);
  }
  Else
  {
    MultiAmostra(numamostras);
    For i From 1 To numamostras Do
    {
      For j From 1 To tamamostra Do
      {
        SetValue(Global:Num,1);
        CalcNormal(param1,param2);
        Let [num3 RandomNumber(1,2)]
        SetValue(Global:Num,num3);
        If Global:Num ==1
        Then
        {
          Let [slot Amostra#i]
          AppendToList(GA:slot,Global:Num1);
        }
        Else
        {
          Let [slot Amostra#i]
          AppendToList(GA:slot,Global:Num2);
        }
      };
    };
  };
};
});
SetMethodComment(GA, Normal, "Gera numeros aleatorios de acordo com uma distribuicao normal
com parametros media param1 e desvio padrao param2. Sao geradas numamostras
com tamamostra elementos.");

/***** METHOD: Uniforme *****/
/* "Gera numeros aleatorios a partir de uma distribuicao uniforme
de parametros param1 e param2. " */
MakeMethod( GA, Uniforme, [tamamostra numamostras param1 param2 npt ini desv tip ],
{
  If numamostras ==1
  Then
  {
    ClearList(GA:Amostra1);
    SeedRandom(NOINIT);
    For i From 1 To tamamostra Do
    {
      ResetValue(Global:Num);
      Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
      SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
      If param1 !=0 And param2!=1
      Then
      {
        SetValue(Global:Num,(Global:Num*(param2-param1))+param1);
        AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num);
      }
      Else
        AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num);
    };
  }
  Else
  {
    ClearList(GA:Amostra1);
    SeedRandom(NOINIT);
    MultiAmostra(numamostras);
    For i From 1 To numamostras Do

```

```

    {
      For j From 1 To tamamostra Do
      {
        ResetValue(Global:Num);
        Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
        SetValue(Global:Num,((num1-1)/32767));
        If param1!=0 And param2!=1
        Then
          {
            SetValue(Global:Num,(Global:Num*(param2-param1))+param1);
            Let[slot Amostra#i]
            AppendToList(GA:slot,Global:Num);
          }
        Else
          Let[slot Amostra#i]
          AppendToList(GA:slot,Global:Num);
        };
      };
    };
  });
SetMethodComment(GA, Uniforme, "Gera numeros aleatorios a partir de uma distribuicao uniforme
de parametros param1 e param2. ");

/***** METHOD: Poisson *****/
/* "Gera numeros aleatorios a partir de uma distribuicao de Poisson com parametro param1. Pode gerar
uma ou varias amostras." */
MakeMethod( GA, Poisson, [tamamostra numamostras param1 npt ini desv ],
{
  SetValue(Global:Exp,2.71828182845905^(Negative(param1)));
  If numamostras ==1
  Then
    {
      ClearList(GA:Amostra1);
      SeedRandom(NOINIT);
      If npt>0
      Then DesvioPoisson1(tamamostra,npt,ini,desv,param1)
      Else
      {
        For i From 1 To tamamostra Do
        {
          ResetValue(Global:Num);
          SetValue(Global:Produto,1);
          SetValue(Global:Soma,Negative(1));
          While (Global:Produto>Global:Exp)
          {
            Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
            SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
            SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
            SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
          };
          AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
        };
      };
    }
  Else
  {
    ClearList(GA:Amostra1);
    SeedRandom(NOINIT);
    If npt>0
    Then
      {
        DesvioPoisson2(numamostras,tamamostra,npt,ini,desv,param1);
      }
    Else
    {
      MultiAmostra(numamostras);
      For i From 1 To numamostras Do
      {
        For j From 1 To tamamostra Do
        {

```

```

ResetValue(Global:Num);
SetValue(Global:Produto,1);
SetValue(Global:Soma,Negative(1));
While (Global:Produto>Global:Exp)
{
  Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
  SetValue(Global:Num,((num1-1)/32767));
  SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
  SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
};
Let[slot Amostra#i]
AppendToList(GA:slot,Global:Soma);
};
};
};
});

/*****
**** FUNCTION: CalcNormal
**** Funcao chamada pelo metodo Normal da classe GA para realizar a geracao
**** e selecao dos numeros aleatorios de uma distribuicao normal.
*****/
MakeFunction( CalcNormal, [param1 param2],
{
  While (Global:Num>=1)
  {
    Let [num3 RandomNumber(1,32767)]
    SetValue(Global:Num1,((num3-1)/32766));
    Let [num4 RandomNumber(1,32767)]
    SetValue(Global:Num2,((num4-1)/32766));
    SetValue(Global:Num1,((2*Global:Num1)-1));
    SetValue(Global:Num2,((2*Global:Num2)-1));
    SetValue(Global:Num,((Global:Num1*Global:Num1)+(Global:Num2*Global:Num2)));
  };
  SetValue(Global:Exp,Sqrt(Negative((2*Log(Global:Num))/Global:Num)));
  SetValue(Global:Num1,Global:Num1*Global:Exp);
  SetValue(Global:Num2,Global:Num2*Global:Exp);
  SetValue(Global:Num1,(param1+(Global:Num1*param2)));
  SetValue(Global:Num2,(param1+(Global:Num2*param2)));
});
SetFunctionComment( CalcNormal, "Funcao chamada pelo metodo Normal da classe GA para realizar a geracao
e selecao dos numeros aleatorios de uma distribuicao normal." );

/*****
**** FUNCTION: DesvioNormal1
*****/
MakeFunction( DesvioNormal1, [tam npt ini desvio tip param1 param2],
{
  If ini==1
  Then
  {
    For k From 1 To npt Do
    {
      SetValue(Global:Num,1);
      If tip#="Central"
      Then
      {
        CalcNormal(param1+(desvio*param2),param2);
      }
      Else
      {
        If tip#="Variabil"
        Then
        {
          CalcNormal(param1,param2+(desvio*param2));
        }
        Else
        {

```

```

    If tip#=#Nivel
    Then
    {
        SetValue(Global:Nv,param2/2);
        CalcNormal(param1+(desvio*param2),Global:Nv);
    }
    Else CalcNormal(param1+(desvio*param2),param2+(desvio*param2));
};
};
Let [num3 RandomNumber(1,2)]
SetValue(Global:Num,num3);
If Global:Num ==1
Then
{
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num1);
}
Else
{
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num2);
};
};
For j From npt+1 To tam Do
{
    SetValue(Global:Num,1);
    CalcNormal(param1,param2);
    Let [num3 RandomNumber(1,2)]
    SetValue(Global:Num,num3);
    If Global:Num ==1
    Then
    {
        AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num1);
    }
    Else
    {
        AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num2);
    };
};
}
Else
{
    For j From 1 To ini-1 Do
    {
        SetValue(Global:Num,1);
        CalcNormal(param1,param2);
        Let [num3 RandomNumber(1,2)]
        SetValue(Global:Num,num3);
        If Global:Num ==1
        Then
        {
            AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num1);
        }
        Else
        {
            AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num2);
        };
    };
};
For k From ini To ini+npt-1 Do
{
    SetValue(Global:Num,1);
    If tip#=#Central
    Then
    {
        CalcNormal(param1+(desvio*param2),param2);
    }
    Else
    {
        If tip#=#Variabil
        Then
        {
            CalcNormal(param1,param2+(desvio*param2));

```

```

    }
    Else
    {
        If tip#=Nivel
        Then
        {
            SetValue(Global:Nv,param2/2);
            CalcNormal(param1+(desvio*param2),Global:Nv);
        }
        Else CalcNormal(param1+(desvio*param2),param2+(desvio*param2));
    };
};
Let [num3 RandomNumber(1,2)]
SetValue(Global:Num,num3);
If Global:Num ==1
Then
{
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num1);
}
Else
{
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num2);
};
};
If ini+npt < tam
Then
{
    For k From ini+npt To tam Do
    {
        SetValue(Global:Num,1);
        CalcNormal(param1,param2);
        Let [num3 RandomNumber(1,2)]
        SetValue(Global:Num,num3);
        If Global:Num ==1
        Then
        {
            AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num1);
        }
        Else
        {
            AppendToList(GA:Amostra1,Global:Num2);
        };
    };
};
};
});

```

```

/*****
**** FUNCTION: DesvioNormal2
*****/
MakeFunction( DesvioNormal2, [namos tam npt ini des tip param1 param2],
{
MultiAmostra(namos);
If ini==1
Then
{
    For i From 1 To npt Do
    {
        For j From 1 To tam Do
        {
            SetValue(Global:Num,1);
            If tip#=Central
            Then CalcNormal(param1+(des*param2),param2)
            Else
            {
                If tip#=Variabil
                Then CalcNormal(param1,param2+(des*param2))
                Else
                {
                    If tip#=Nivel

```

```

    Then
    {
        SetValue(Global:Nv,param2/2);
        CalcNormal(param1+(des*param2),Global:Nv);
    }
    Else CalcNormal(param1+(des*param2),param2+(des*param2));
};
};
Let [num3 RandomNumber(1,2)]
SetValue(Global:Num,num3);
If Global:Num ==1
Then
{
    Let [slot Amostra#i]
    AppendToList(GA:slot,Global:Num1);
}
Else
{
    Let [slot Amostra#i]
    AppendToList(GA:slot,Global:Num2);
};
};
};
For i From npt+1 To namos Do
{
    For j From 1 To tam Do
    {
        SetValue(Global:Num,1);
        CalcNormal(param1,param2);
        Let [num3 RandomNumber(1,2)]
        SetValue(Global:Num,num3);
        If Global:Num ==1
        Then
        {
            Let [slot Amostra#i]
            AppendToList(GA:slot,Global:Num1);
        }
        Else
        {
            Let [slot Amostra#i]
            AppendToList(GA:slot,Global:Num2);
        };
    };
};
}
Else
{
    For i From 1 To ini-1 Do
    {
        For j From 1 To tam Do
        {
            SetValue(Global:Num,1);
            CalcNormal(param1,param2);
            Let [num3 RandomNumber(1,2)]
            SetValue(Global:Num,num3);
            If Global:Num ==1
            Then
            {
                Let [slot Amostra#i]
                AppendToList(GA:slot,Global:Num1);
            }
            Else
            {
                Let [slot Amostra#i]
                AppendToList(GA:slot,Global:Num2);
            };
        };
    };
};
For i From ini To ini+npt-1 Do
{

```

```

For j From 1 To tam Do
{
  SetValue(Global:Num,1);
  If tip#=-Central
  Then CalcNormal(param1+(des*param2),param2)
  Else
  {
    If tip#=Variabil
    Then CalcNormal(param1,param2+(des*param2))
    Else
    {
      If tip#=-Nivel
      Then
      {
        SetValue(Global:Nv,param2/2);
        CalcNormal(param1+(des*param2),Global:Nv);
      }
      Else CalcNormal(param1+(des*param2),param2+(des*param2));
    }
  };
};
Let [num3 RandomNumber(1,2)]
SetValue(Global:Num,num3);
If Global:Num ==1
Then
{
  Let [slot Amostra#i]
  AppendToList(GA:slot,Global:Num1);
}
Else
{
  Let [slot Amostra#i]
  AppendToList(GA:slot,Global:Num2);
}
};
};
If ini+npt <= namos
Then
{
  For i From ini+npt To namos Do
  {
    For j From 1 To tam Do
    {
      SetValue(Global:Num,1);
      CalcNormal(param1,param2);
      Let [num3 RandomNumber(1,2)]
      SetValue(Global:Num,num3);
      If Global:Num ==1
      Then
      {
        Let [slot Amostra#i]
        AppendToList(GA:slot,Global:Num1);
      }
      Else
      {
        Let [slot Amostra#i]
        AppendToList(GA:slot,Global:Num2);
      }
    };
  };
};
};
};
}

/*****
**** FUNCTION: DesvioBinomial1
*****/
MakeFunction( DesvioBinomial1, [tam npt ini desvio param1 param2],
{
ResetValue(Global:Valor1);
ResetValue(Global:Valor2);

```

```

SetValue(Global:Valor1,(param2*param1)+(desvio*Sqrt(param2*param1*(1-param1))));
SetValue(Global:Valor2,Global:Valor1/param2);
If ini==1
Then
{
  For k From 1 To npt Do
  {
    ResetValue(Global:Num);
    SetValue(Global:Soma,0);
    For j From 1 To param2 Do
    {
      Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
      SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
      If Global:Num <= Global:Valor2
      Then SetValue(Global:Num,1)
      Else SetValue(Global:Num,0);
      Global:Soma += Global:Num;
    };
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
  };
  For j From npt+1 To tam Do
  {
    ResetValue(Global:Num);
    SetValue(Global:Soma,0);
    For k From 1 To param2 Do
    {
      Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
      SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
      If Global:Num <= param1
      Then SetValue(Global:Num,1)
      Else SetValue(Global:Num,0);
      Global:Soma += Global:Num;
    };
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
  };
}
Else
{
  For j From 1 To ini-1 Do
  {
    ResetValue(Global:Num);
    SetValue(Global:Soma,0);
    For k From 1 To param2 Do
    {
      Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
      SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
      If Global:Num <= param1
      Then SetValue(Global:Num,1)
      Else SetValue(Global:Num,0);
      Global:Soma += Global:Num;
    };
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
  };
  For k From ini To ini+npt-1 Do
  {
    ResetValue(Global:Num);
    SetValue(Global:Soma,0);
    For j From 1 To param2 Do
    {
      Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
      SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
      If Global:Num <= Global:Valor2
      Then SetValue(Global:Num,1)
      Else SetValue(Global:Num,0);
      Global:Soma += Global:Num;
    };
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
  };
  If ini+npt < tam
  Then

```

```

{
  For k From ini+npt To tam Do
  {
    ResetValue(Global:Num);
    SetValue(Global:Soma,0);
    For j From 1 To param2 Do
    {
      Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
      SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
      If Global:Num <= param1
      Then SetValue(Global:Num,1)
      Else SetValue(Global:Num,0);
      Global:Soma += Global:Num;
    };
    AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
  };
};
};
});

/*****
**** FUNCTION: DesvioBinomial2
*****/
MakeFunction( DesvioBinomial2, [namos tam npt ini des param1 param2],
{
ResetValue(Global:Valor1);
ResetValue(Global:Valor2);
SetValue(Global:Valor1,param2*param1+(desvio*sqrt(param2*param1*(1-param1))));
SetValue(Global:Valor2,Global:Valor1/param2);
MultiAmostra(namos);
If ini==1
Then
{
  For i From 1 To npt Do
  {
    For j From 1 To tam Do
    {
      ResetValue(Global:Num);
      SetValue(Global:Soma,0);
      For k From 1 To param2 Do
      {
        Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
        SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
        If Global:Num <= Global:Valor2
        Then SetValue(Global:Num,1)
        Else SetValue(Global:Num,0);
        Global:Soma += Global:Num;
      };
      Let [slot Amostra#i]
      AppendToList(GA:slot,Global:Soma);
    };
  };
};
For i From npt+1 To namos Do
{
  For j From 1 To tam Do
  {
    ResetValue(Global:Num);
    SetValue(Global:Soma,0);
    For k From 1 To param2 Do
    {
      Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
      SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
      If Global:Num <= param1
      Then SetValue(Global:Num,1)
      Else SetValue(Global:Num,0);
      Global:Soma += Global:Num;
    };
    Let [slot Amostra#i]
    AppendToList(GA:slot,Global:Soma);
  };
};
};
};

```



```

*****/
MakeFunction( DesvioPoisson1, [tam npt ini desvio param1],
{
If ini==1
Then
{
For k From 1 To npt Do
{
SetValue(Global:Expd,2.71828182845905^(Negative(param1+(desvio*sqrt(param1))));
ResetValue(Global:Num);
SetValue(Global:Produto,1);
SetValue(Global:Soma,Negative(1));
While (Global:Produto>Global:Expd)
{
Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
};
AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
};
For j From npt+1 To tam Do
{
ResetValue(Global:Num);
SetValue(Global:Produto,1);
SetValue(Global:Soma,Negative(1));
While (Global:Produto>Global:Exp)
{
Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
};
AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
};
}
Else
{
For j From 1 To ini-1 Do
{
ResetValue(Global:Num);
SetValue(Global:Produto,1);
SetValue(Global:Soma,Negative(1));
While (Global:Produto>Global:Exp)
{
Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
};
AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
};
For k From ini To ini+npt-1 Do
{
SetValue(Global:Expd,2.71828182845905^(Negative(param1+(desvio*sqrt(param1))));
ResetValue(Global:Num);
SetValue(Global:Produto,1);
SetValue(Global:Soma,Negative(1));
While (Global:Produto>Global:Expd)
{
Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
};
AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
};
If ini+npt < tam
Then
{

```

```

For k From ini+npt To tam Do
{
  ResetValue(Global:Num);
  SetValue(Global:Produto,1);
  SetValue(Global:Soma,Negative(1));
  While (Global:Produto>Global:Exp)
  {
    Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
    SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
    SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
    SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
  };
  AppendToList(GA:Amostra1,Global:Soma);
};
};
};
});

/*****
**** FUNCTION: DesvioPoisson2
*****/
MakeFunction( DesvioPoisson2, [namos tam npt ini des param1],
{
  SetValue(Global:Expd,2.71828182845905^(Negative(param1+(desvio*sqrt(param1))));
  MultiAmostra(namos);
  If ini==1
  Then
  {
    For i From 1 To npt Do
    {
      For j From 1 To tam Do
      {
        PoissonM(i);
      };
    };
    For i From npt+1 To namos Do
    {
      For j From 1 To tam Do
      {
        ResetValue(Global:Num);
        SetValue(Global:Produto,1);
        SetValue(Global:Soma,Negative(1));
        While (Global:Produto>Global:Exp)
        {
          Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
          SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
          SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
          SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
        };
        Let [slot Amostra#i]
        AppendToList(GA:slot,Global:Soma);
      };
    };
  }
  Else
  {
    For i From 1 To ini-1 Do
    {
      For j From 1 To tam Do
      {
        ResetValue(Global:Num);
        SetValue(Global:Produto,1);
        SetValue(Global:Soma,Negative(1));
        While (Global:Produto>Global:Exp)
        {
          Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
          SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
          SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
          SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
        };
      };
    };
  }
};

```

```

    Let [slot Amostra#i]
      AppendToList(GA:slot,Global:Soma);
    };
  };
For i From ini To ini+npt-1 Do
{
  For j From 1 To tam Do
  {
    PoissonM(j);
  };
};
If ini+npt <= namos
Then
{
  For i From ini+npt To namos Do
  {
    For j From 1 To tam Do
    {
      ResetValue(Global:Num);
      SetValue(Global:Produto,1);
      SetValue(Global:Soma,Negative(1));
      While (Global:Produto>Global:Exp)
      {
        Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
        SetValue(Global:Num,((num1-1)/32766));
        SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
        SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
      };
      Let [slot Amostra#i]
      AppendToList(GA:slot,Global:Soma);
    };
  };
};
};
});

/*****
**** FUNCTION: PoissonM
*****/
MakeFunction( PoissonM, [i],
{
ResetValue(Global:Num);
SetValue(Global:Produto,1);
SetValue(Global:Soma,Negative(1));
While (Global:Produto>Global:Expd)
{
Let[num1 RandomNumber(1,32767)]
SetValue(Global:Num,((num1-1)/32767));
SetValue(Global:Produto,Global:Produto*Global:Num);
SetValue(Global:Soma,Global:Soma+1);
};
Let [slot Amostra#i]
AppendToList(GA:slot,Global:Soma);
});

```

Quadro 54 - Resultados do Teste de Aleatoriedade (SPSS 10.0®): distribuição uniforme entre zero e um.

Medidas	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4
Test Value(a)	.50256324	.50435245	.48614240	.49393022
Cases < Test Value	245	247	251	254
Cases >= Test Value	255	253	249	246
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	245	259	264	240
Z	-.528	.720	1.164	-.979
Asymp. Sig. (2-tailed)	.597	.472	.244	.327
	Grupo5	Grupo6	Grupo7	Grupo8
Test Value(a)	.49171886	.47750896	.50329643	.49708629
Cases < Test Value	242	259	249	250
Cases >= Test Value	258	241	251	250
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	231	239	254	252
Z	-1.770	-1.047	.269	.090
Asymp. Sig. (2-tailed)	.077	.295	.788	.929
	Grupo9	Grupo10	Grupo11	Grupo12
Test Value(a)	.50866246	.51424068	.47602931	.47760889
Cases < Test Value	244	250	247	259
Cases >= Test Value	256	250	253	241
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	246	255	249	266
Z	-.435	.358	-.176	1.374
Asymp. Sig. (2-tailed)	.664	.720	.860	.170
	Grupo13	Grupo14	Grupo15	Grupo16
Test Value(a)	.49318448	.50676119	.48812878	.52570623
Cases < Test Value	251	246	255	242
Cases >= Test Value	249	254	245	258
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	253	258	260	253
Z	.179	.633	.815	.202
Asymp. Sig. (2-tailed)	.858	.527	.415	.840
	Grupo17	Grupo18	Grupo19	Grupo20
Test Value(a)	.49507186	.50264972	.46001667	.52938300
Cases < Test Value	247	244	261	245
Cases >= Test Value	253	256	239	255
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	258	237	238	250
Z	.630	-1.241	-1.123	-.081
Asymp. Sig. (2-tailed)	.529	.215	.262	.936

(a) – Test Value (Valor de Teste) é a média do grupo.

Quadro 55 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (SPSS 10.0®): distribuição uniforme entre zero e um.

		Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4
N		500	500	500	500
Parâmetros da normal	Média	.005371	.000458	.002533	.001862
	Desvio Padrão	.999908	.999115	.999481	.997131
Diferenças mais extremas	Absoluta	.024	.029	.053	.027
	Positiva	.024	.024	.053	.027
	Negativa	-.021	-.029	-.019	-.018
Kolmogorov-Smirnov Z		.543	.654	1.185	.599
Asymp. Sig. (2-tailed)		.930	.785	.121	.866
		Grupo5	Grupo6	Grupo7	Grupo8
N		500	500	500	500
Parâmetros da normal	Média	.002716	.000946	.005982	.000580
	Desvio Padrão	.999420	.998932	.997192	.999939
Diferenças mais extremas	Absoluta	.037	.049	.021	.029
	Positiva	.037	.049	.016	.029
	Negativa	-.020	-.005	-.021	-.017
Kolmogorov-Smirnov Z		.824	1.097	.473	.644
Asymp. Sig. (2-tailed)		.506	.180	.979	.801
		Grupo9	Grupo10	Grupo11	Grupo12
N		500	500	500	500
Parâmetros da normal	Média	.002503	.000000	.001526	.001587
	Desvio Padrão	.998199	.999512	.995239	.998383
Diferenças mais extremas	Absoluta	.033	.048	.056	.048
	Positiva	.019	.012	.056	.048
	Negativa	-.033	-.048	-.007	-.009
Kolmogorov-Smirnov Z		.744	1.068	1.257	1.064
Asymp. Sig. (2-tailed)		.638	.204	.085	.207
		Grupo13	Grupo14	Grupo15	Grupo16
N		500	500	500	500
Parâmetros da normal	Média	.001007	.000427	.001648	.004913
	Desvio Padrão	.997131	.999695	.994964	.999634
Diferenças mais extremas	Absoluta	.034	.036	.035	.051
	Positiva	.034	.025	.035	.007
	Negativa	-.031	-.036	-.015	-.051
Kolmogorov-Smirnov Z		.759	.801	.780	1.151
Asymp. Sig. (2-tailed)		.613	.543	.578	.141
		Grupo17	Grupo18	Grupo19	Grupo20
N		500	500	500	500
Parâmetros da normal	Média	.003571	.000092	.000000	.000580
	Desvio Padrão	.999756	.997192	.998474	.998199
Diferenças mais extremas	Absoluta	.033	.028	.066	.056
	Positiva	.033	.016	.066	.008
	Negativa	-.016	-.028	-.009	-.056
Kolmogorov-Smirnov Z		.734	.632	1.469	1.256
Asymp. Sig. (2-tailed)		.653	.819	.027	.085

Média e desvio padrão calculados a partir dos dados.

Figura 69 – Histogramas (SPSS 10.0 ®) dos grupos de números aleatórios de uma distribuição uniforme entre zero e um.



Quadro 56 - Resultados do Teste de Aleatoriedade (SPSS 10.0®): distribuição normal com média igual a zero e variância igual a 1.

Medidas	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4
Test Value(a)	-2.74318550E-03	-2.00282484E-02	-2.66382955E-02	-.11723038
Cases < Test Value	404	403	403	376
Cases >= Test Value	402	399	395	378
Total Cases	806	802	798	754
Number of Runs	432	409	400	389
Z	1.974	.495	.003	.802
Asymp. Sig. (2-tailed)	.048	.620	.998	.423
	Grupo5	Grupo6	Grupo7	Grupo8
Test Value(a)	-3.24042514E-02	2.8158413E-02	-4.12443094E-03	-2.03788541E-02
Cases < Test Value	398	420	388	302
Cases >= Test Value	398	372	368	280
Total Cases	796	792	756	582
Number of Runs	389	411	393	287
Z	-.709	1.103	1.039	-.381
Asymp. Sig. (2-tailed)	.478	.270	.299	.703
	Grupo9	Grupo10	Grupo11	Grupo12
Test Value(a)	3.4189713E-03	-3.26887481E-02	-2.77956259E-02	3.4104274E-03
Cases < Test Value	386	373	396	398
Cases >= Test Value	398	389	386	418
Total Cases	784	762	782	816
Number of Runs	387	387	410	370
Z	-.422	.375	1.293	-2.717
Asymp. Sig. (2-tailed)	.673	.708	.196	.007
	Grupo13	Grupo14	Grupo15	Grupo16
Test Value(a)	1.2372184E-02	5.8489751E-02	7.4740113E-03	-3.09050102E-02
Cases < Test Value	392	405	402	394
Cases >= Test Value	400	413	394	384
Total Cases	792	818	796	778
Number of Runs	399	427	378	400
Z	.145	1.192	-1.487	.722
Asymp. Sig. (2-tailed)	.885	.233	.137	.470
	Grupo17	Grupo18	Grupo19	Grupo20
Test Value(a)	-3.73811871E-02	3.5071746E-02	-4.36437018E-02	6.0490221E-02
Cases < Test Value	399	389	378	367
Cases >= Test Value	397	395	362	409
Total Cases	796	784	740	776
Number of Runs	400	398	382	390
Z	.071	.359	.822	.154
Asymp. Sig. (2-tailed)	.943	.720	.411	.878

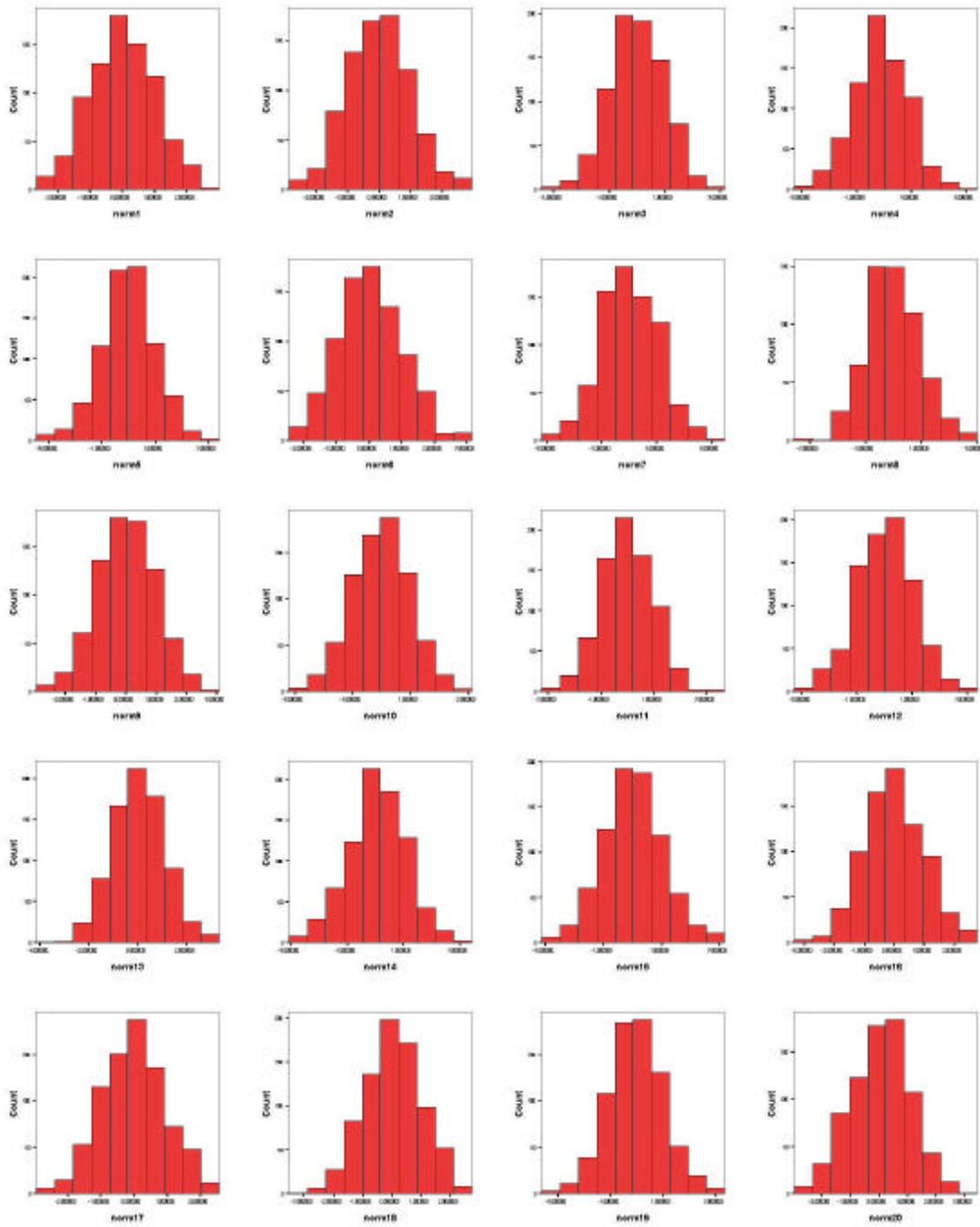
(a) – Test Value (Valor de Teste) é a média do grupo.

Quadro 57 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (SPSS 10.0®): distribuição normal com média igual a zero e variância igual a um.

		Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4
N		806	802	798	754
Parâmetros da normal	Média	-2.74318550E-03	-2.00282484E-02	-2.66382955E-02	-.11723038
	Desvio Padrão	1.00984967	.99731112	.98357093	.98645365
Diferenças mais extremas	Absoluta	.019	.022	.025	.027
	Positiva	.014	.022	.025	.014
	Negativa	-.019	-.016	-.023	-.027
Kolmogorov-Smirnov Z		.526	.613	.693	.734
Asymp. Sig. (2-tailed)		.945	.847	.723	.654
		Grupo5	Grupo6	Grupo7	Grupo8
N		796	792	756	582
Parâmetros da normal	Média	-3.24042514E-02	2.8158413E-02	-4.12443094E-03	-2.03788541E-02
	Desvio Padrão	1.01034260	.98182666	1.04423904	.96326244
Diferenças mais extremas	Absoluta	.023	.033	.025	.033
	Positiva	.023	.033	.025	.033
	Negativa	-.022	-.014	-.022	-.019
Kolmogorov-Smirnov Z		.637	.942	.698	.798
Asymp. Sig. (2-tailed)		.811	.337	.714	.547
		Grupo9	Grupo10	Grupo11	Grupo12
N		784	762	782	816
Parâmetros da normal	Média	3.4189713E-03	-3.26887481E-02	-2.77956259E-02	3.4104274E-03
	Desvio Padrão	.96148032	.98232651	.98441488	1.03664494
Diferenças mais extremas	Absoluta	.012	.022	.018	.027
	Positiva	.011	.011	.018	.015
	Negativa	-.012	-.022	-.016	-.027
Kolmogorov-Smirnov Z		.341	.604	.512	.773
Asymp. Sig. (2-tailed)		1.000	.859	.955	.588
		Grupo13	Grupo14	Grupo15	Grupo16
N		792	818	796	778
Parâmetros da normal	Média	1.2372184E-02	5.8489751E-02	7.4740113E-03	-3.09050102E-02
	Desvio Padrão	1.06554794	1.03003657	1.02622557	.98692757
Diferenças mais extremas	Absoluta	.017	.030	.021	.026
	Positiva	.017	.013	.021	.026
	Negativa	-.014	-.030	-.014	-.021
Kolmogorov-Smirnov Z		.484	.858	.600	.732
Asymp. Sig. (2-tailed)		.973	.453	.865	.657
		Grupo17	Grupo18	Grupo19	Grupo20
N		796	582	740	776
Parâmetros da normal	Média	-3.73811871E-02	-2.03788541E-02	-4.36437018E-02	6.0490221E-02
	Desvio Padrão	.96825325	.96326244	1.02917552	1.02195764
Diferenças mais extremas	Absoluta	.018	.033	.019	.032
	Positiva	.014	.033	.019	.022
	Negativa	-.018	-.019	-.016	-.032
Kolmogorov-Smirnov Z		.497	.798	.507	.897
Asymp. Sig. (2-tailed)		.966	.547	.959	.396

Média e desvio padrão calculados a partir dos dados.

Figura 70 - Histogramas (SPSS 10.0 ®) dos grupos de números aleatórios de uma distribuição normal com média igual a zero e variância igual a um.



Quadro 58 - Resultados do Teste de Aleatoriedade (SPSS 10.0 ®): distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30%.

Medidas	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4
Test Value(a)	3	3	3	3
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	249	228	217	256
Z	.866	-.634	-1.688	1.048
Asymp. Sig. (2-tailed)	.387	.526	.091	.295
	Grupo5	Grupo6	Grupo7	Grupo8
Test Value(a)	3	3	3	3
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	239	234	251	224
Z	.522	-.689	.894	-1.154
Asymp. Sig. (2-tailed)	.602	.491	.371	.249
	Grupo9	Grupo10	Grupo11	Grupo12
Test Value(a)	3	3	3	3
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	259	242	258	241
Z	1.323	-.015	1.201	.612
Asymp. Sig. (2-tailed)	.186	.988	.230	.541
	Grupo13	Grupo14	Grupo15	Grupo16
Test Value(a)	3	3	3	3
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	218	233	217	217
Z	-1.850	-.884	-1.642	-1.596
Asymp. Sig. (2-tailed)	.064	.377	.101	.111
	Grupo17	Grupo18	Grupo19	Grupo20
Test Value(a)	3	3	3	3
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	247	234	226	217
Z	.805	-.247	-.304	-1.499
Asymp. Sig. (2-tailed)	.421	.805	.761	.134

(a) – Test Value (Valor de Teste) é a média do grupo.

Figura 71 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para uma distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30%.

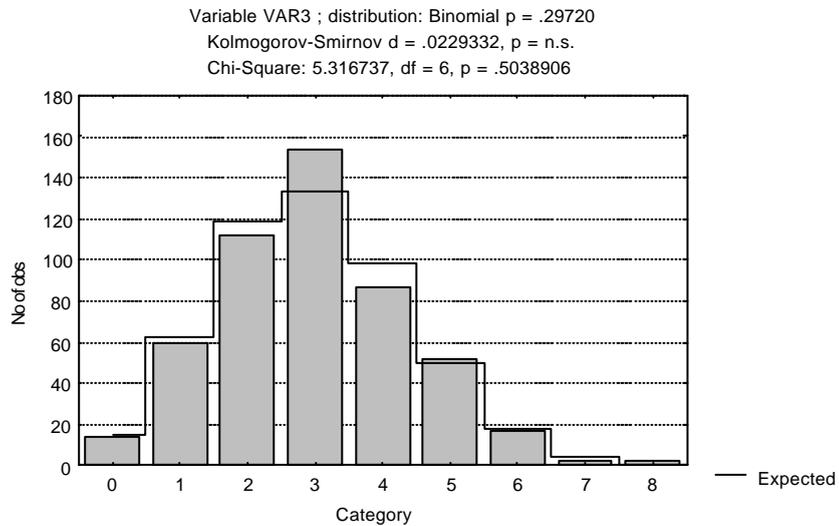
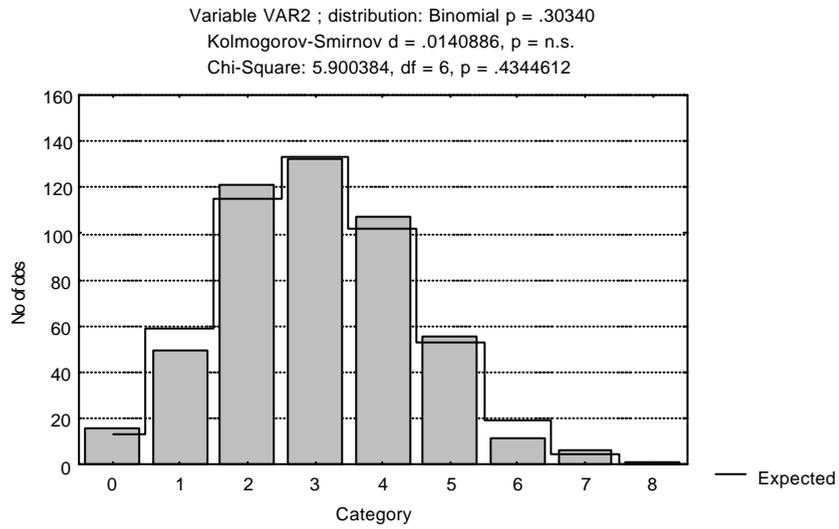
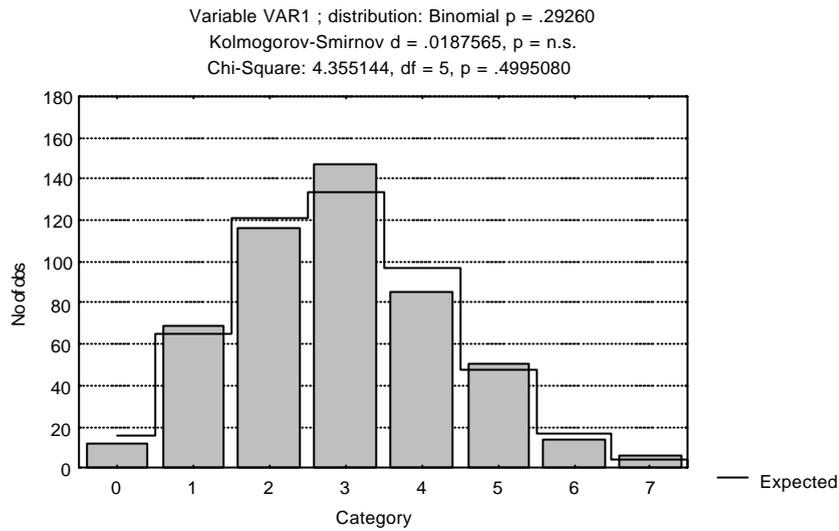


Figura 72 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 1).

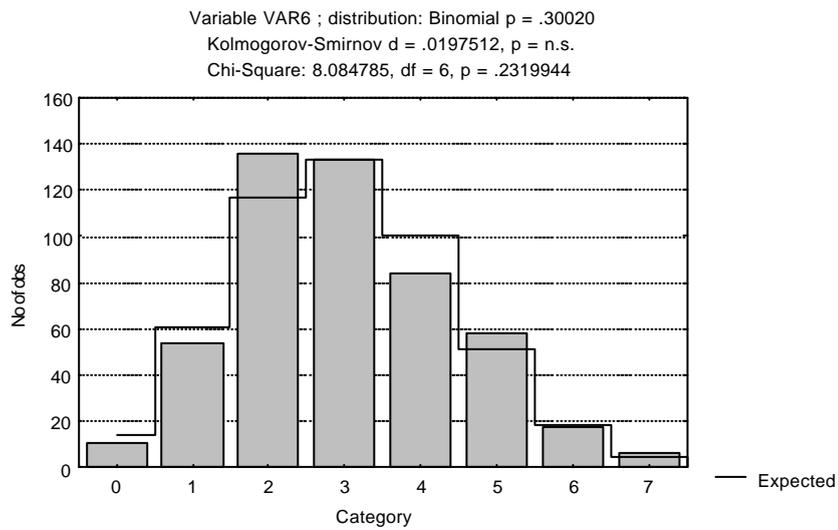
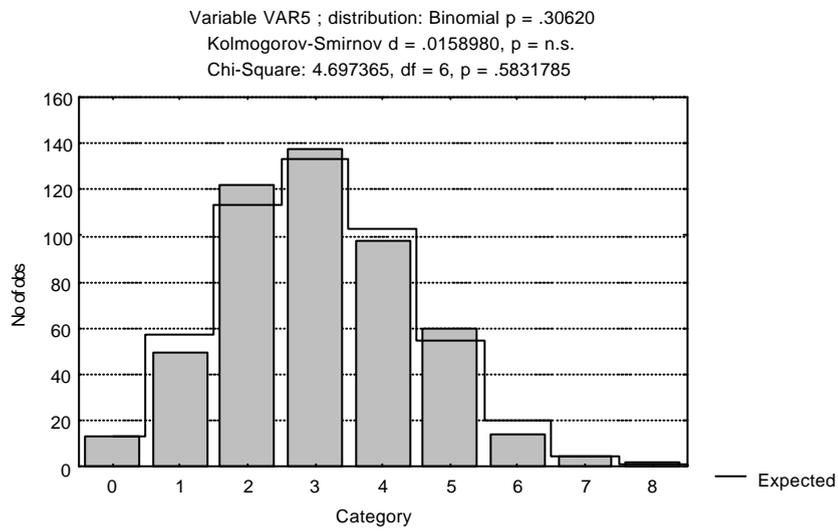
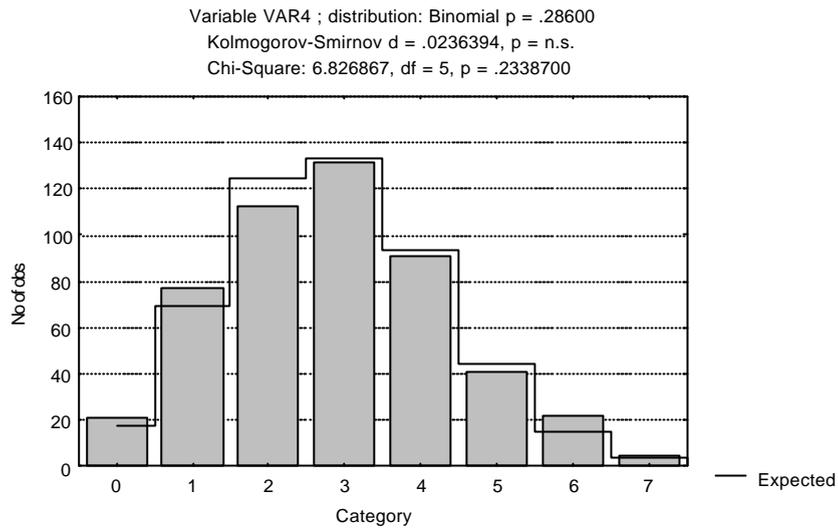


Figura 73 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 2).

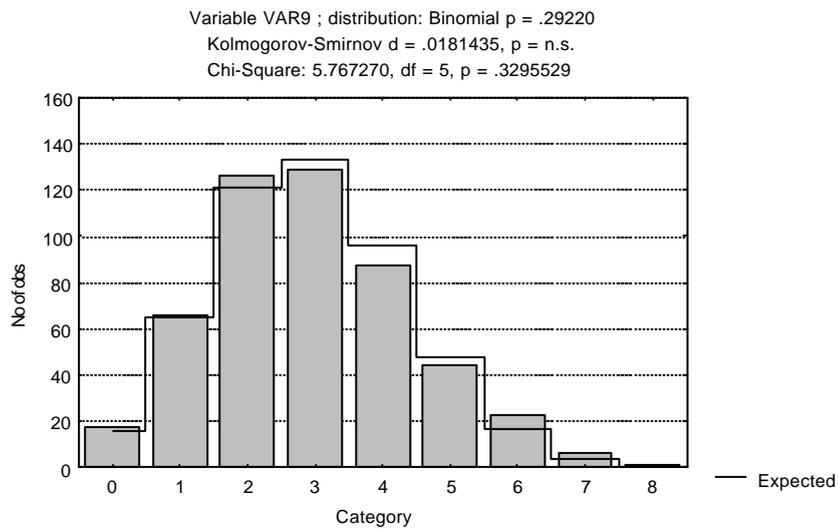
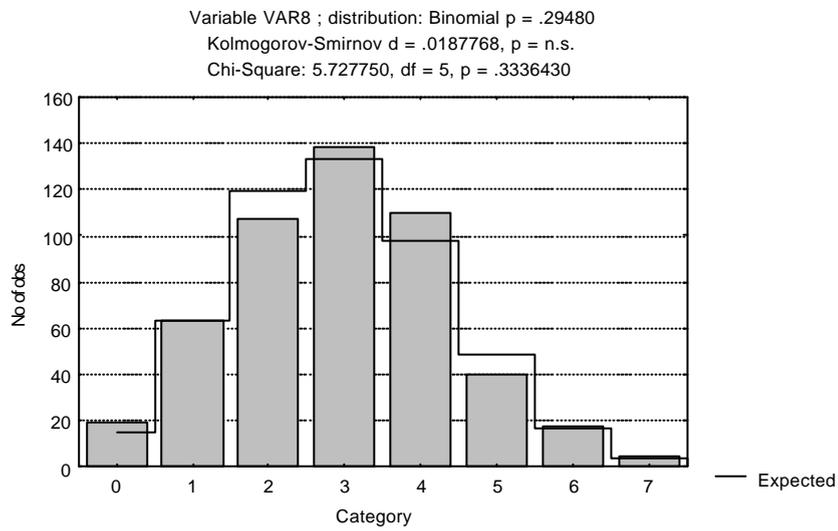
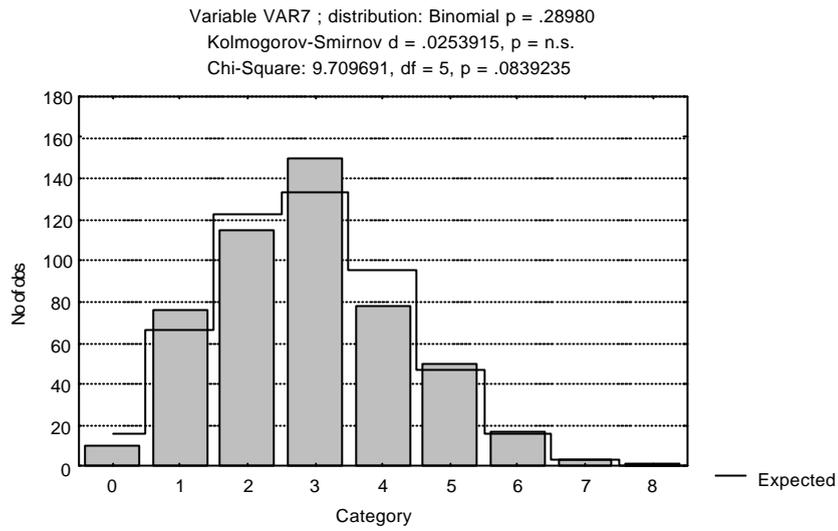


Figura 74 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 3).

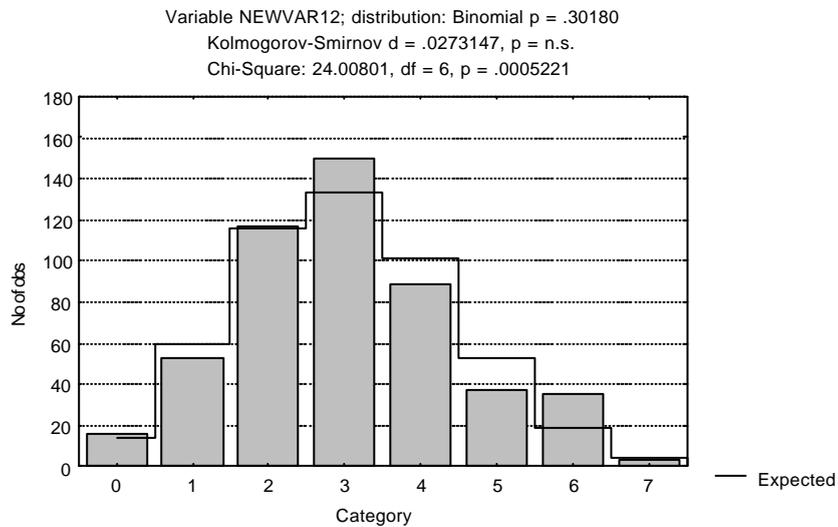
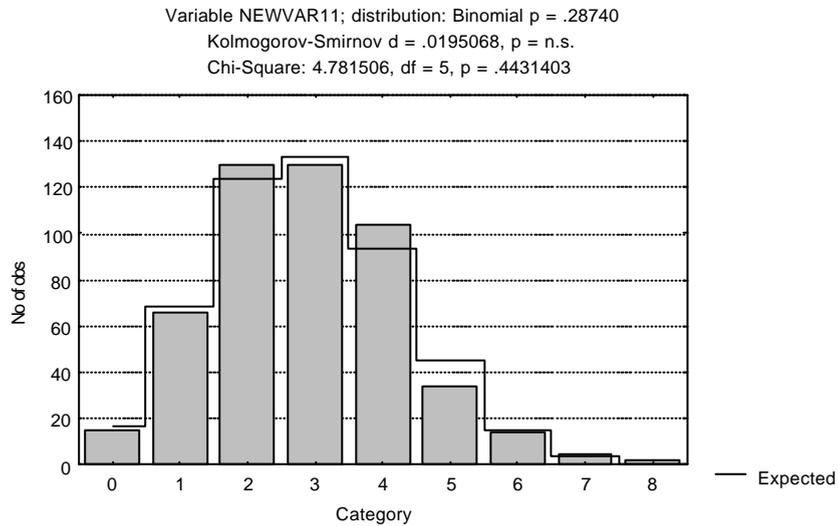
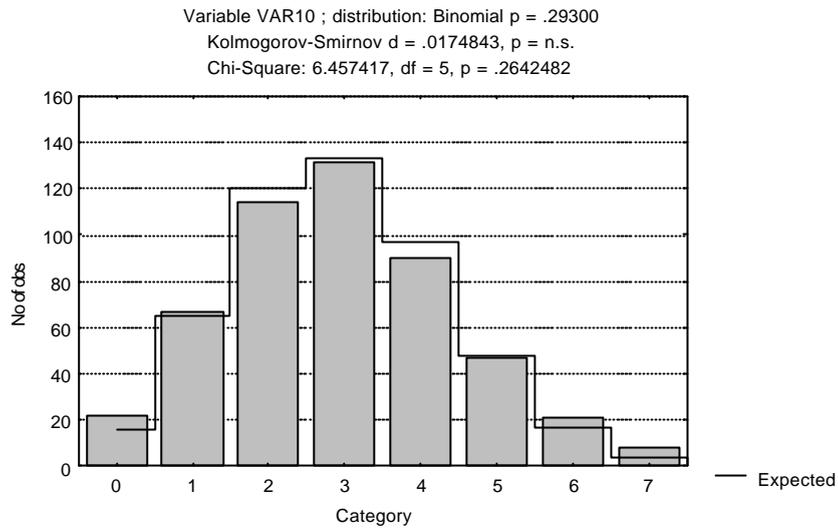


Figura 75 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 4).

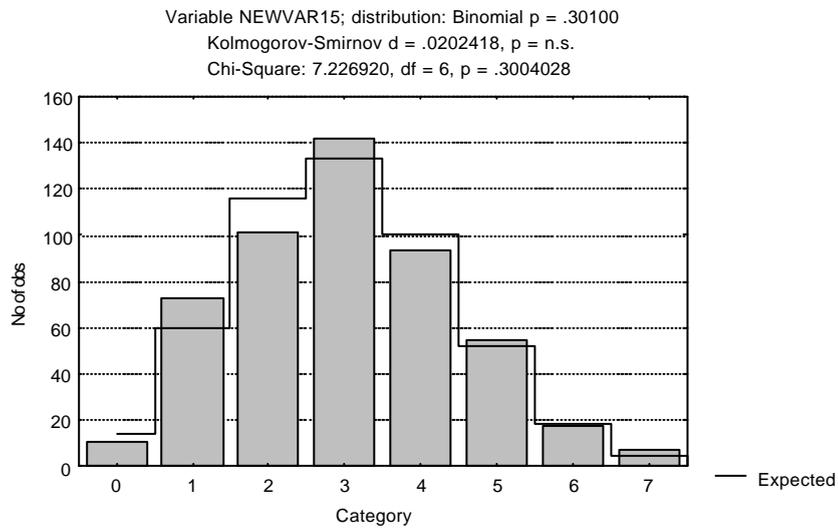
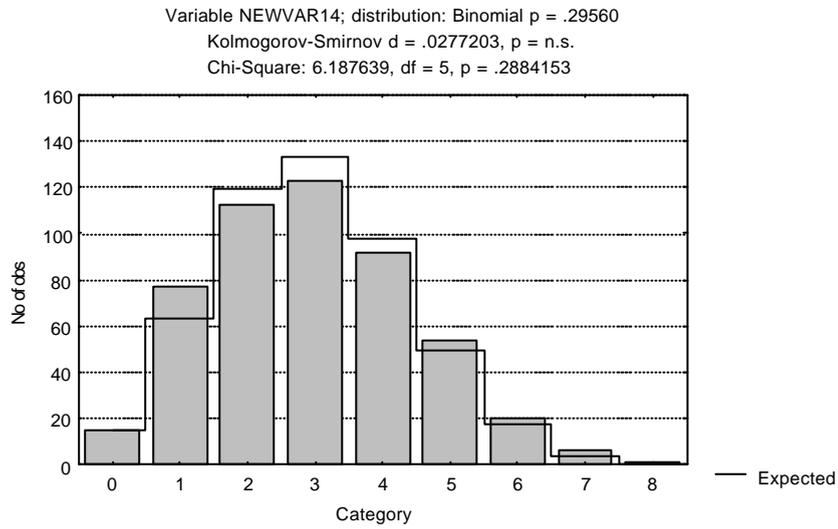
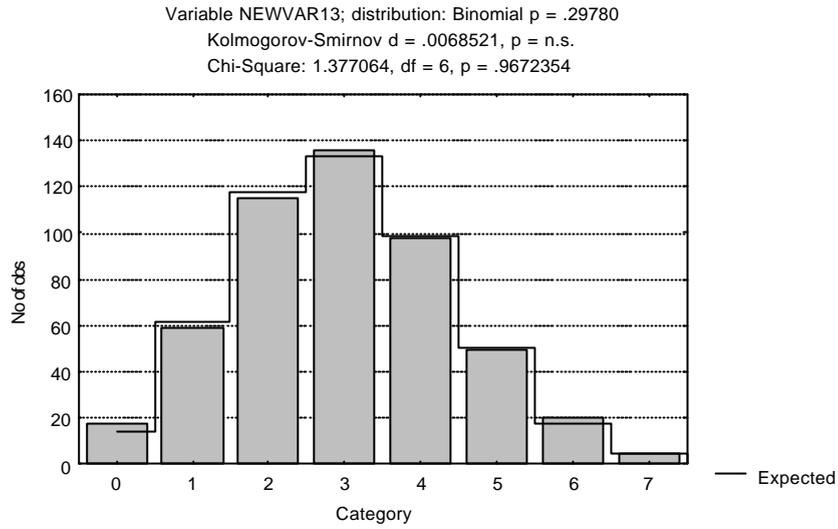


Figura 76 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (continuação 5).

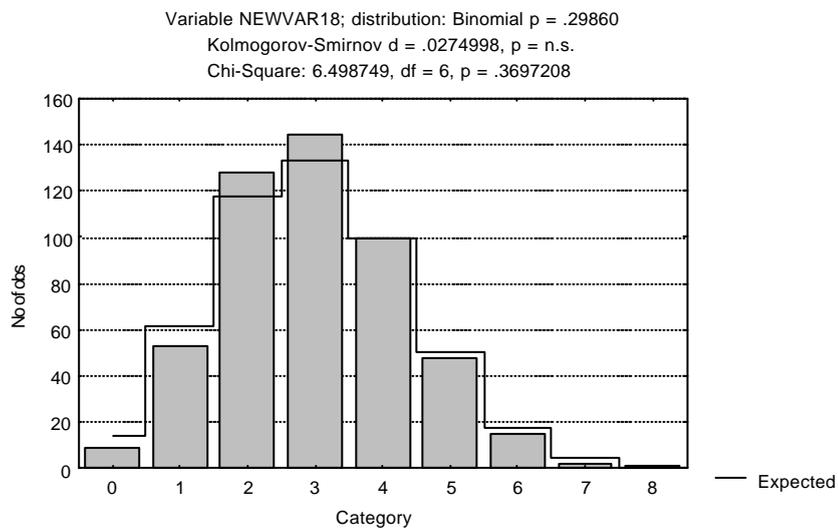
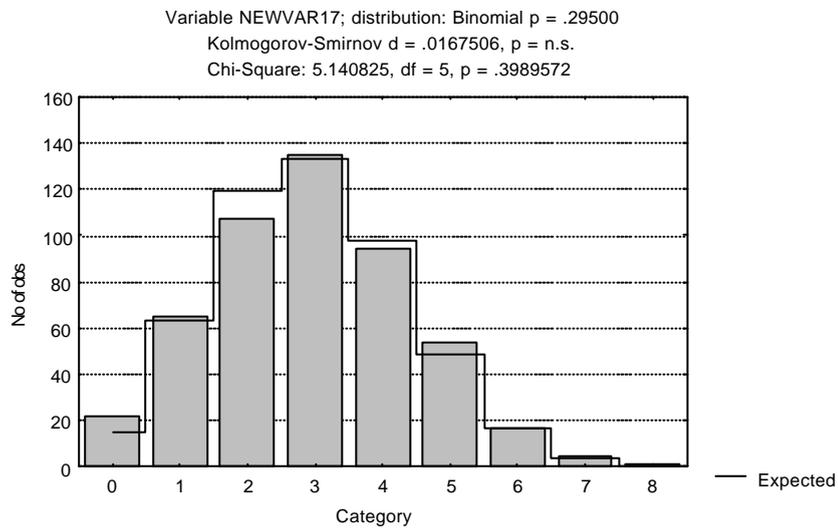
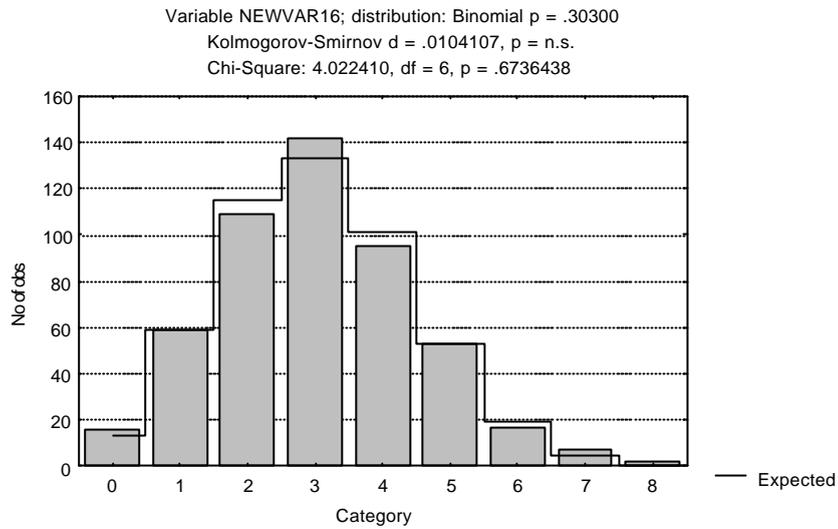
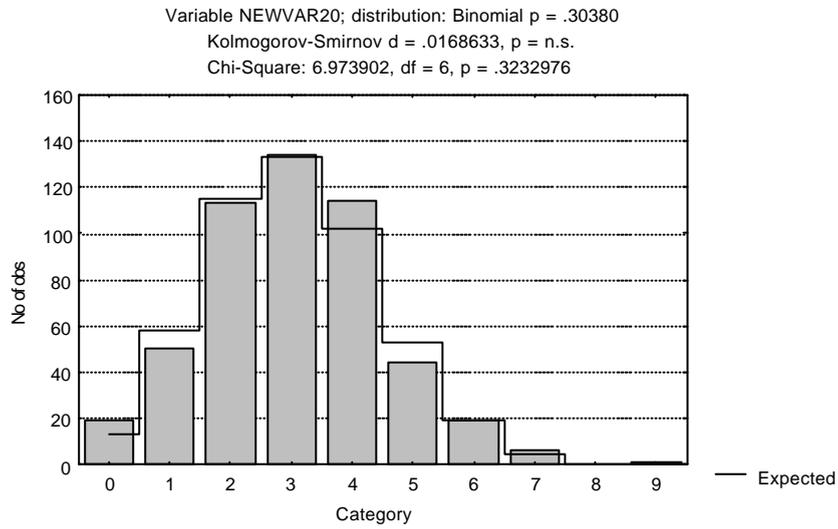
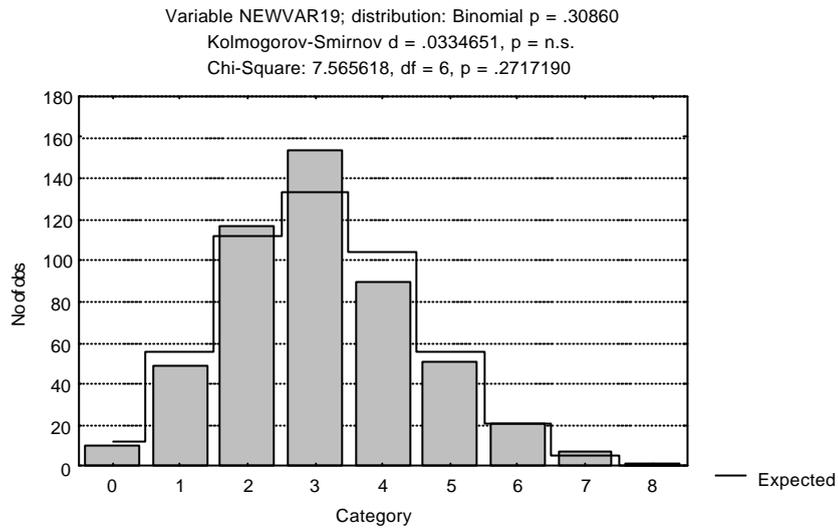


Figura 77 - Histogramas e Testes de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (Statistica 5.0®) para distribuição binomial com número de ensaios igual a 10 e probabilidade de sucesso igual a 30% (final).



Quadro 59 - Resultados do Teste de Aleatoriedade (SPSS 10.0®): distribuição de Poisson com taxa igual a 4.

Medidas	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4
Test Value(a)	4.02	4.02	3.93	4.01
Cases < Test Value	308	313	225	320
Cases >= Test Value	192	187	275	180
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	228	226	249	252
Z	-.903	-.872	.045	2.002
Asymp. Sig. (2-tailed)	.366	.383	.964	.045
	Grupo5	Grupo6	Grupo7	Grupo8
Test Value(a)	4.04	3.94	3.94	4.01
Cases < Test Value	312	226	225	308
Cases >= Test Value	188	274	275	192
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	207	242	253	231
Z	-2.731	-.605	.407	-.619
Asymp. Sig. (2-tailed)	.006	.545	.684	.536
	Grupo9	Grupo10	Grupo11	Grupo12
Test Value(a)	4.07	4.02	3.98	4.10
Cases < Test Value	305	313	215	300
Cases >= Test Value	195	187	285	200
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	223	237	234	250
Z	-1.496	.179	-1.105	.839
Asymp. Sig. (2-tailed)	.135	.858	.269	.401
	Grupo13	Grupo14	Grupo15	Grupo16
Test Value(a)	3.93	4.12	3.98	4.18
Cases < Test Value	220	315	217	295
Cases >= Test Value	280	185	283	205
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	249	243	268	255
Z	.145	.855	1.946	1.120
Asymp. Sig. (2-tailed)	.884	.393	.052	.263
	Grupo17	Grupo18	Grupo19	Grupo20
Test Value(a)	3.90	3.92	3.98	4.07
Cases < Test Value	217	218	213	306
Cases >= Test Value	283	282	287	194
Total Cases	500	500	500	500
Number of Runs	244	258	246	227
Z	-.241	1.010	.044	-1.080
Asymp. Sig. (2-tailed)	.810	.312	.965	.280

(a) – Test Value (Valor de Teste) é a média do grupo.

Quadro 60 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra (SPSS 10.0®): distribuição de Poisson com taxa igual a 4.

		Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4
N		500	500	500	500
Taxa da Poisson	Média	4.02	4.02	3.93	4.01
Diferenças mais extremas	Absoluta	.028	.010	.019	.018
	Positiva	.024	.005	.018	.013
	Negativa	-.028	-.010	-.019	-.018
Kolmogorov-Smirnov Z		.634	.231	.421	.413
Asymp. Sig. (2-tailed)		.816	1.000	.994	.996
		Grupo5	Grupo6	Grupo7	Grupo8
N		500	500	500	500
Taxa da Poisson	Média	4.04	3.94	3.94	4.01
Diferenças mais extremas	Absoluta	.026	.011	.009	.011
	Positiva	.026	.008	.006	.004
	Negativa	-.013	-.011	-.009	-.011
Kolmogorov-Smirnov Z		.587	.253	.196	.243
Asymp. Sig. (2-tailed)		.880	1.000	1.000	1.000
		Grupo9	Grupo10	Grupo11	Grupo12
N		500	500	500	500
Taxa da Poisson	Média	4.07	4.02	3.98	4.10
Diferenças mais extremas	Absoluta	.006	.023	.008	.011
	Positiva	.006	.015	.008	.011
	Negativa	-.006	-.023	-.007	-.009
Kolmogorov-Smirnov Z		.131	.512	.169	.240
Asymp. Sig. (2-tailed)		1.000	.956	1.000	1.000
		Grupo13	Grupo14	Grupo15	Grupo16
N		500	500	500	500
Taxa da Poisson	Média	3.93	4.12	3.98	4.18
Diferenças mais extremas	Absoluta	.014	.025	.035	.023
	Positiva	.014	.025	.015	.013
	Negativa	-.009	-.019	-.035	-.023
Kolmogorov-Smirnov Z		.302	.550	.773	.509
Asymp. Sig. (2-tailed)		1.000	.923	.589	.958
		Grupo17	Grupo18	Grupo19	Grupo20
N		500	500	500	500
Taxa da Poisson	Média	3.90	3.92	3.98	4.07
Diferenças mais extremas	Absoluta	.027	.014	.027	.022
	Positiva	.027	.012	.027	.022
	Negativa	-.020	-.014	-.019	-.022
Kolmogorov-Smirnov Z		.600	.305	.596	.499
Asymp. Sig. (2-tailed)		.864	1.000	.869	.965

Taxas da distribuição de Poisson calculadas a partir dos dados.

Figura 78 - Histogramas (SPSS 10.0®) dos grupos de números aleatórios de uma distribuição de Poisson com taxa igual a 4.

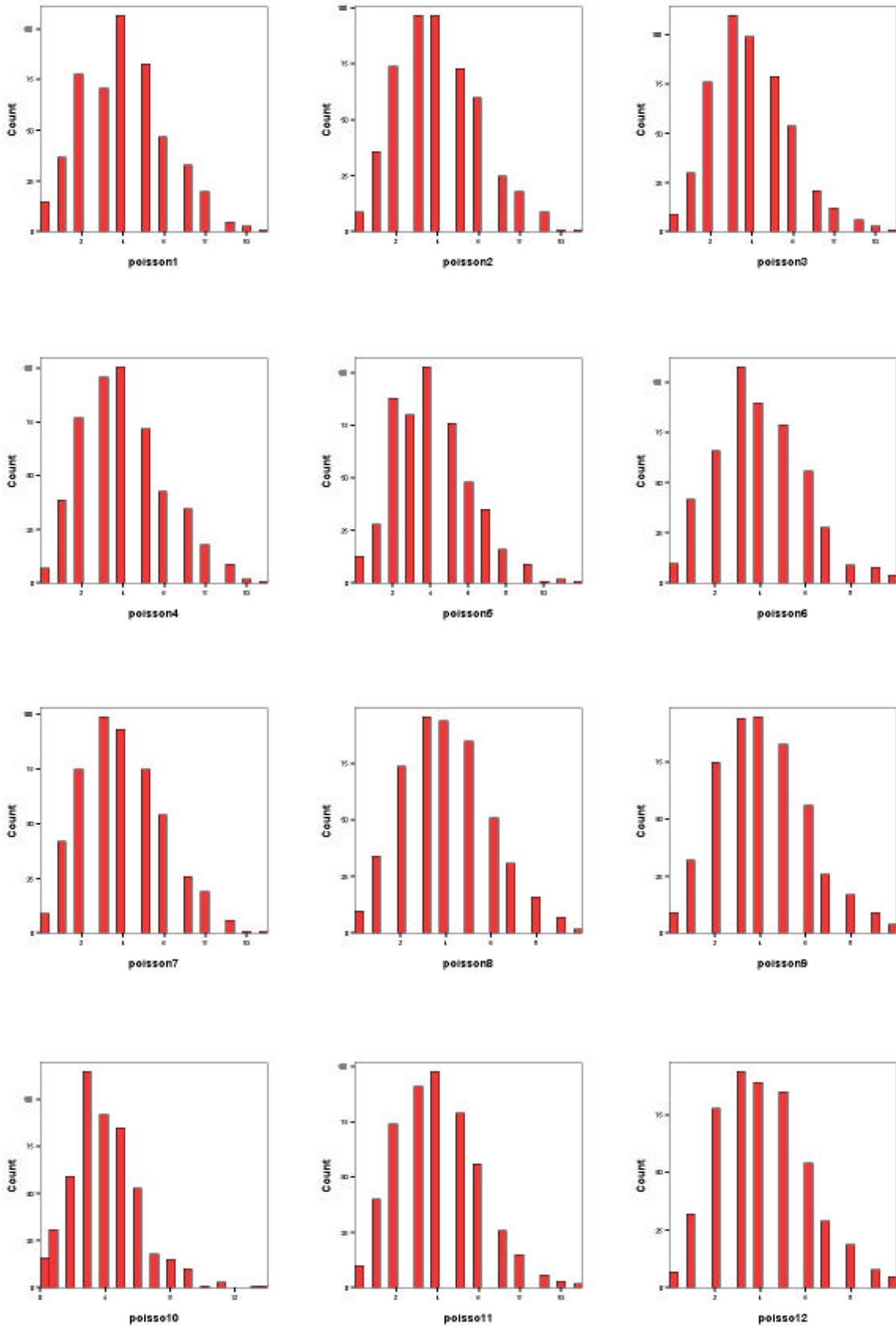
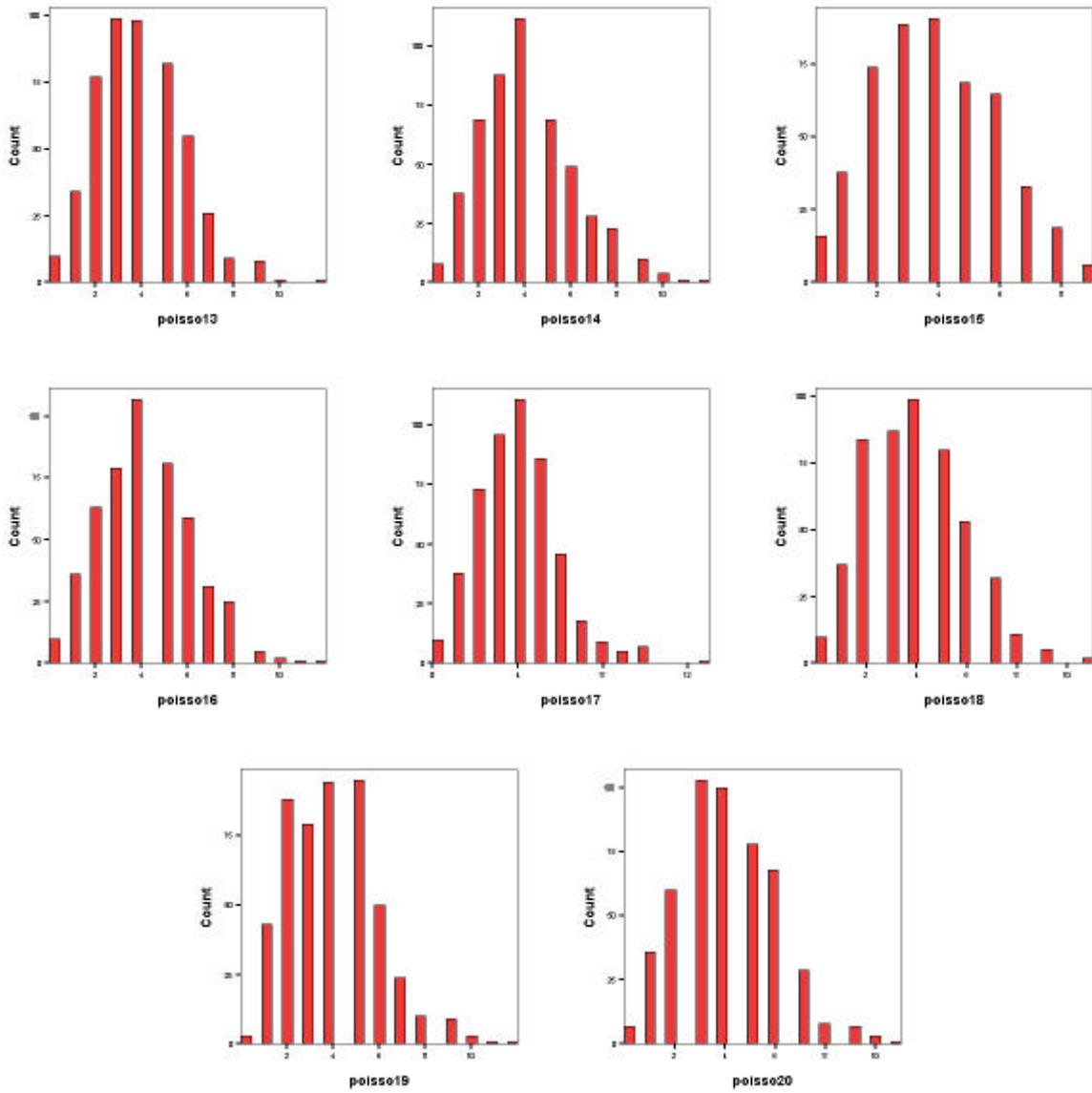


Figura 79 – Histogramas (SPSS 10.0®) dos grupos de números aleatórios de uma distribuição de Poisson com taxa igual a 4.



ANEXO F – Avaliação da regra de mudança brusca de nível

Resultados dos testes de avaliação da regra de mudança brusca de nível

1) Gráficos de Médias, Intervalos e Desvios Padrões.

Os Gráficos de Controle analisados têm 25 subgrupos, 4 elementos por subgrupo. Era preciso avaliar a sensibilidade da regra quando não houvesse mudança brusca de nível (possibilidade de gerar alarmes falsos), e quando houvesse (possibilidade de não identificar o problema). Como os Gráficos de Médias, Intervalos e Desvios Padrões costumam estar associados à distribuição normal, decidiu-se que os dados seriam gerados aleatoriamente a partir de uma distribuição normal, usando o Microsoft Excel ®. Para avaliar tanto o Gráfico de Médias quanto os de Intervalos e de Desvios Padrões deveria haver desvio não somente na média, mas na variância da distribuição normal que iria gerar os dados. Foram gerados dez conjuntos de dados (cada um com 25 subgrupos de 4 medidas) para cada uma das seguintes situações:

- sem desvio, uma normal com média zero e variância um para todos os subgrupos.
- com desvio na média em cinco subgrupos (16 a 20) – média 2 e variância 2, os demais sem desvio – média 0 e variância 1.
- com desvio na variância em cinco subgrupos (16 a 20) – média 0 e variância 2, os demais sem desvio – média 0 e variância 1.

A eficácia da regra foi avaliada pela análise visual do Gráfico, identificando empiricamente a existência ou não da mudança brusca de nível, e comparação com o diagnóstico obtido pela regra, para os três tipos de Gráficos nas três situações descritas, os resultados estão no Quadros 61, 62 e 63.

Quadro 61 - Testes para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos de Médias, Intervalos e Desvios Padrões - Sem desvio

Grupo	Médias		Intervalos		Desvios padrões	
	Identificação visual	Identificação pela regra	Identificação visual	Identificação pela regra	Identificação visual	Identificação pela regra
1	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
2	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
3	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
4	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
5	Positiva*	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
6	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
7	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
8	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
9	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
10	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa

* A flutuação aleatória causou um padrão de mudança brusca de nível.

Quadro 62 - Testes para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos de Médias, Intervalos e Desvios Padrões - Com desvio na média

Grupo	Médias		Intervalos		Desvios padrões	
	Identificação visual	Identificação pela regra	Identificação visual	Identificação pela regra	Identificação visual	Identificação pela regra
1	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
2	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
3	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
4	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
5	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
6	Positiva	Negativa*	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
7	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
8	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
9	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
10	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa

* Regra não identificou a mudança brusca de nível.

Quadro 63 - Teste para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos de Médias, Intervalos e Desvios Padrões - Com desvio na variância

Grupo	Médias		Intervalos		Desvios padrões	
	Identificação visual	Identificação pela regra	Identificação visual	Identificação pela regra	Identificação visual	Identificação pela regra
1	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
2	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
3	Negativa	Negativa	Positiva	Negativa*	Negativa	Negativa
4	Negativa	Negativa	Negativa**	Negativa	Negativa**	Negativa
5	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
6	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
7	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa
8	Negativa	Negativa	Negativa**	Negativa	Negativa**	Negativa
9	Positiva	Negativa*	Negativa**	Negativa	Negativa**	Negativa
10	Negativa	Negativa	Positiva	Negativa*	Positiva	Negativa*

* Regra não identificou a mudança brusca de nível. ** A flutuação aleatória ocultou o padrão.

2) Gráficos de fração de defeituosos (p) e número de defeitos (c)

Foram utilizados procedimentos semelhantes aos utilizados para os Gráficos de Médias, Intervalos, e Desvios Padrões: 25 subgrupos por Gráfico, 10 grupos sem desvio e 10 com desvio nos subgrupos 16 a 21. A diferença reside na limitação da variação a apenas um parâmetro: p – probabilidade de “sucesso” no Gráfico p, e c – taxa de ocorrência de defeitos no Gráfico c, de tal forma a provocar uma variação de dois desvios padrões nos subgrupos 16 a 21. Foram gerados dez conjuntos de dados para cada uma das seguintes situações:

- sem desvio, uma binomial com p igual a 0.1 e n igual a 50 para todos os subgrupos.
- com desvio em p cinco subgrupos (16 a 20) – p igual a 0.18 e n igual a 50, os demais sem desvio – p = 0.1, n = 50
- sem desvio, uma Poisson com c igual a 10 para todos os subgrupos.
- com desvio em c cinco subgrupos (16 a 20) – c igual a 16, os demais sem desvio – c = 10

Quadro 64 - Testes para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos p e c - Sem desvio

Grupo	p		c	
	Identificação visual	Identificação pela regra	Identificação visual	Identificação pela regra
1	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
2	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
3	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
4	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
5	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
6	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
7	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
8	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
9	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
10	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa

Quadro 65 - Testes para a regra de identificação de mudança brusca de nível – Gráficos p e c - Com desvio

Grupo	p		c	
	Identificação visual	Identificação pela regra	Identificação visual	Identificação pela regra
1	Positiva	Positiva	Negativa*	Negativa
2	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
3	Negativa*	Negativa	Negativa*	Negativa
4	Positiva	Positiva	Negativa*	Negativa
5	Negativa*	Negativa	Positiva	Positiva
6	Positiva	Positiva	Positiva	Negativa**
7	Positiva	Negativa**	Negativa	Negativa
8	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
9	Positiva	Positiva	Positiva	Negativa**
10	Negativa*	Negativa	Negativa*	Negativa

* A flutuação aleatória ocultou o padrão. **Regra não identificou a mudança brusca de nível.