

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS

**Implantação de controle estatístico de processo em uma olaria de  
pequeno porte**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE

Viviane Leite Dias de Mattos  
Florianópolis, novembro de 1997.

**IMPLANTAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM  
UMA OLARIA DE PEQUENO PORTE.**

**Viviane Leite Dias de Mattos**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

**“ MESTRE EM ENGENHARIA “**

Especialidade Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.



**Prof. Robert Wayne Samohyl**  
Orientador

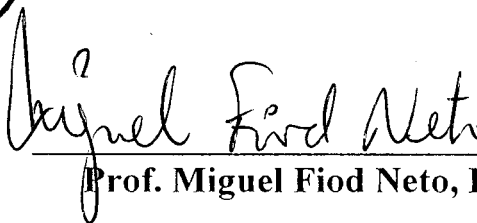


**Prof. Ricardo Miranda Barcia**  
Coordenador do curso de Pós-graduação

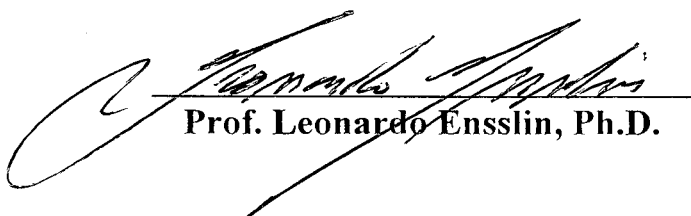
Banca examinadora :



**Prof. Robert Wayne Samohyl, Dr.**  
Presidente



**Prof. Miguel Fiod Neto, Dr.**



**Prof. Leonardo Ensslin, Ph.D.**



0.279.722-8

UFSC-BU

À meus filhos,  
MARCELO e LUCIANO.

## **Agradecimentos**

Sintetizar agradecimentos a todas as pessoas que viabilizaram a realização deste trabalho mostrou ser uma tarefa das mais difíceis, tendo em vista o grande número de pessoas a quem desejo agradecer.

Aos professores ROBERT WAYNE SAMOHYL e LEONARDO ENSSLIN, pela oportunidade de convívio, atenção, incentivo e ensinamentos oferecidos.

À UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS, pelo incentivo moral e ajuda financeira no decorrer de todo o curso e, em especial, à professora CLARISSE SIQUEIRA COELHO, diretora da Escola de Educação.

Aos colegas de trabalho, RICARDO CURI TERRA, MARIA LUIZA CAÑAS MARTINS, MARCO ANTÔNIO LHULLIER MOREIRA e VERA FERNANDES, pela receptividade, apoio e conhecimentos repassados nas várias etapas desta dissertação.

Aos senhores GUIDO EINHARDT E LÚCIA EINHARDT, pela atenção recebida e conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários e dirigentes da empresa analisada, pela valiosa colaboração, disponibilidade e paciência em se deixarem avaliar.

Aos senhores ILMO JOSÉ VAZ e IBO GREGÓRIO KHUN, do LABORATÓRIO DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS da Universidade Católica de Pelotas, pela colaboração na realização dos ensaios de laboratório.

Aos colegas de curso, ANA CRISTINA CASSANI CUNHA, ZENIRA PIRES DE SOUZA, HELENA BARRETO MATZENAUER, ULISSES ANDRADE CAVA e EDUARDO DE QUADROS BERTONI, pela amizade e incentivo.

Aos acadêmicos da Universidade Católica de Pelotas, LUCIMARI LOTUFFO DA CRUZ, CLÁUDIA MAKSUD MECHEREFTE, CLARISSA BICCA BRAGANÇA e RAQUEL DA FONSECA HOLZ, pelo apoio e incentivo.

Aos acadêmicos da Universidade Católica de Pelotas, MÔNICA CRESPO CORREA e MARCELO DIAS DE MATTOS BURNS, pela colaboração na graficação dos croquis, coleta e digitação de dados.

Aos funcionários da Universidade Católica de Pelotas, em especial do CPD, do EMEA, do NAPI e do Laboratório de Informática, da Secretaria das Escolas e da Secretaria de Pós-graduação e Pesquisa, pela solicitude com que atenderam meus vários pedidos.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, e a todas as pessoas que direta ou indiretamente, contribuíram para realizar esta dissertação, o meu carinhoso reconhecimento.

## Resumo

Esta dissertação aborda inicialmente a importância do conhecimento das características dos bens produzidos, bem como do controle e garantia de suas especificações, visando à satisfação do consumidor e à lucratividade da empresa. Posteriormente, trata de conceitos básicos da indústria cerâmica e de técnicas de implantação de um controle estatístico de processos para, então, aplicá-los em uma olaria. Descreve o processo produtivo analisado, identificando as características a serem monitoradas, dentro de abordagens de qualidade centradas no produto, no consumidor e no processo. Esse procedimento é auxiliado por várias técnicas estatísticas tais como medidas descritivas, diagramas de Pareto, testes de hipóteses e, principalmente, cartas de controle. Os resultados mostraram que, embora o produto apresentasse pouquíssimos defeitos e satisfizesse razoavelmente os consumidores, existiam algumas falhas no processo de produção que, se controladas, poderiam não só melhorar a lucratividade da empresa como, também, a qualidade do produto acabado.

## **Abstract**

This thesis initially approaches the importance of both the knowledge of the characteristics of the goods produced and control and the guarantee of their specifications, aiming the satisfaction of the consumer and the profitability of the enterprise. Then the work deals with basic concepts of the pottery industry and with implantation techniques of a statistic process control so that they can be applied to a pottery plant. It describes the analyzed productive process, identifying the characteristics to be monitored, within qualitative approaches centered in the product, in the consumer and in the process. this procedure is aided by statistic techniques such as descriptive measures, Pareto diagrams, hypothesis tests and, mainly, control letters. The result showed that although the product had presented very few defects and reasonably had satisfied the consumers, there were some faults in the production process which could not only improve the profitability of the enterprise but also the quality of the finished product, if controlled.

## Sumário

1 . Introdução .....	1
1.1 . Apresentação do trabalho .....	1
1.2 . Justificativa do trabalho .....	2
1.3 . Objetivos do trabalho .....	7
1.4 . Metodologia do trabalho .....	7
1.5 . Estrutura do trabalho .....	8
1.6 . Limitações do trabalho .....	10
2 . Revisão de literatura : conceitos básicos .....	11
2.1 . Os tijolos .....	11
2.1.1 . Introdução .....	11
2.1.2 . A matéria-prima .....	12
2.1.3 . O processo de fabricação .....	15
2.1.4 . Características normalizadas .....	21
2.1.5 . Características de qualidade .....	29
2.2 . Controle estatístico de processos .....	30
2.2.1 . Introdução .....	30
2.2.2 . Implantação de um controle estatístico de processos .....	33
2.2.3 . Conceitos básicos .....	34



2.2.4 . Tipos de cartas de controle . . . . .	35
2.2.5 . Escolha de uma carta de controle . . . . .	37
2.2.6 . Dinâmica das cartas de controle . . . . .	38
3 . Caracterização da empresa analisada . . . . .	40
3.1 . Considerações gerais . . . . .	40
3.2 . Sistemas de produção . . . . .	42
3.3 . Sistema de comercialização . . . . .	50
4 . Implantação do controle estatístico de processo . . . . .	51
4.1 . Introdução . . . . .	51
4.2 . Avaliação das características do produto final . . . . .	51
4.3 . Avaliação das necessidades do consumidor . . . . .	62
4.4 . Avaliação do sistema produtivo . . . . .	63
4.3 . Parâmetros que podem afetar as variáveis do processo . . . . .	67
4.4 . Operacionalização e interpretação das cartas de controle . . . . .	68
5 . Conclusões e Recomendações . . . . .	90
5.1 . Conclusões . . . . .	90
5.2 . Recomendações . . . . .	92
6 . Referências Bibliográficas . . . . .	94
Apêndice 1 - <i>Lay out</i> . . . . .	100
1.1 - Introdução . . . . .	100
1.2 – Croquis . . . . .	100
Apêndice 2 - Forno tipo túnel . . . . .	103
2.1 - Introdução . . . . .	103
2.2 - Características técnicas . . . . .	103
Apêndice 3 - Temperaturas do forno de queima . . . . .	107
3.1 - Introdução . . . . .	107

3.2 - Resultados .....	107
Apêndice 4 - Comentário sobre a NBR 7171 .....	117

## Lista de Figuras

Figura 1 - Perfil de cavas para extração de argila .....	15
Figura 2 - Bloco cerâmico. ....	23
Figura 3 - Desvio em relação ao esquadro. ....	24
Figura 4 - Flecha para a medição da planeza. ....	24
Figura 5 - Corpo de prova em ensaio de resistência à compressão. ....	25
Figura 6 - Ensaio para determinação da razão inicial de absorção de água .....	27
Figura 7 - Depósito de matéria prima. ....	43
Figura 8- Caixa alimentadora. ....	43
Figura 9 - Painel de controle das máquinas de moldagem. ....	43
Figura 10 - Misturador. ....	44
Figura 11 - Maromba. ....	44
Figura 12 - Esteira rolante. ....	45
Figura 13 - Carro transportador tipo prateleira .....	45
Figura 14 - Secagem natural. ....	46
Figura 15 - Secagem natural. ....	46
Figura 16 - Produto a ser queimado .....	46
Figura 17 - Carro transportador motorizado. ....	46
Figura 18 – Carro-queima ou vagoneta .....	47
Figura 19 - Tubulações que transportam calor. ....	47

Figura 20 - Entrada do forno de queima. ....	48
Figura 21 - Entrada do forno de queima. ....	48
Figura 22 - Depósito de serragem. ....	48
Figura 23 - Depósito de serragem. ....	48
Figura 24 - Ventilador. ....	49
Figura 26 - Depósito de produto acabado. ....	49
Figura 27 - Depósito de produto acabado. ....	49
Figura 28 - Carregamento de produto acabado. ....	49
Figura 29 - <i>Lay out</i> da fábrica. ....	101
Figura 30 - <i>Lay out</i> do setor de moldagem. ....	102
Figura 31 - Planta baixa do forno de queima. ....	106
Figura 32 - Corte transversal do forno de queima. ....	106

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Empresas ligadas à construção civil. Brasil. 1980-1992.....	5
Tabela 2 - Origem dos problemas patológicos na construção civil .....	6
Tabela 3 - Dimensões nominais dos blocos cerâmicos .....	23
Tabela 4 - Resistência mínima à compressão de blocos cerâmicos. ....	24
Tabela 5 - Tamanho das amostras para inspeção de características que necessitem medição direta ou ensaio, em tijolos maciços e critérios de aceitação e rejeição de lotes, por inspeção. ....	25
Tabela 6 - Dimensões nominais de tijolos maciços .....	27
Tabela 7 - Resistência mínima à compressão de tijolos maciços .....	28
Tabela 8 - Tamanho das amostras para inspeção de características que necessitem medição direta ou ensaio, em blocos cerâmicos e critérios de aceitação e rejeição de lotes, por inspeção. ....	28
Tabela 9 - Resultados do primeiro estudo rápido de R&R para medidas relativas a dimensões .....	53
Tabela 10- Estudo formal de R&R para medidas relativas a dimensões. ....	54
Tabela 11 - Resultados do segundo estudo rápido de R&R para medidas relativas a dimensões. ....	54
Tabela 12 - Ocorrência de defeitos de acordo com sua criticidade. ....	56
Tabela 13 - Ocorrência de defeitos maiores, por tipo de defeito. ....	56

Tabela 14 - Ocorrência de defeitos maiores, por tipo de produto. ....	57
Tabela 15 - Ocorrência de defeitos menores, por tipo de defeito .....	58
Tabela 16 - Ocorrência de defeitos menores, por tipo de produto. ....	59
Tabela 17 - Resultados das dimensões nominais e reais, fornecidas em cm. ....	61
Tabela 18 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão, fornecidos em kgf/cm <sup>2</sup> ...	62
Tabela 19 - Resultados do ensaio de velocidade de absorção de água, fornecidos em g/mm <sup>2</sup> /min. ....	62
Tabela 20 - Vida útil de peças das máquinas de purificação e moldagem da argila. ....	66
Tabela 21 - Defeitos que levam à rejeição do produto no processo de moldagem. ....	73
Tabela 22 - Causas das interrupções do processo de moldagem do produto. ....	74
Tabela 23 - Temperaturas médias fornecidas por dois operadores em 9 pontos do forno de queima em dois dias consecutivos. Junho de 1997 .....	78
Tabela 24 - Temperaturas médias, noturnas e diurnas, de 9 pontos do forno de queima em 10 dias do mês de junho de 1997. ....	79
Tabela 25 - Limites de controle revisados a serem utilizados no monitoramento da temperatura média em cada um dos 9 pontos do forno de queima .....	79
Tabela 26 - Limites de controle revisados a serem utilizados no monitoramento das amplitudes em cada um dos 9 pontos do forno de queima. ....	81
Tabela 27 - Limites de controle a serem utilizados no monitoramento da proporção de produtos com fissuras no final da linha de produção. ....	82
Tabela 28 - Resultados dos índices de capacidade Cp e Cpk relativos a dimensões do produto. ....	87
Tabela 29 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 1 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	108
Tabela 30 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 1 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	108
Tabela 31 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 2 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	109
Tabela 32 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 2 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	109
Tabela 33 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 3 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	110
Tabela 34 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das	

temperaturas do ponto 3 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	110
Tabela 35 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 4 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	111
Tabela 36 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 4 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	111
Tabela 37 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 5 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	112
Tabela 38 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 5 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	112
Tabela 39 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 6 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	113
Tabela 40 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 6 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	113
Tabela 41 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 7 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	114
Tabela 42 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 7 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	114
Tabela 43 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 8 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	115
Tabela 44 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 8 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	115
Tabela 45 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 9 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	116
Tabela 46 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 9 do forno de queima. Março/junho de 1997. ....	116
Tabela 47 - Critérios de amostragem apresentados pela norma brasileira .....	120
Tabela 48 - Probabilidades de aceitação do lote na primeira e segunda amostragem associadas à probabilidade de ocorrência de defeitos. ....	121

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Exemplo de gráfico de controle .....	34
Gráfico 2 - Diagrama de Pareto para identificação dos defeitos maiores, por tipo de defeito	57
Gráfico 3 - Diagrama de Pareto para identificação dos defeitos maiores, por tipo de produto.....	57
Gráfico 4 - Diagrama de Pareto para identificação dos defeitos menores, por tipo de defeito.....	58
Gráfico 5 - Diagrama de Pareto para identificação dos defeitos maiores, por tipo de produto.....	59
Gráfico 6 - Etapas do processo produtivo analisado para fins de avaliação da capacidade produtiva.....	64
Gráfico 7 -Carta de controle para monitoramento da proporção de refugos após a moldagem. Abril de 1997. ....	69
Gráfico 8 - Carta de controle para monitoramento da proporção de refugos após a moldagem. Maio / julho de 1997. ....	71
Gráfico 9 - Carta de controle, com limites revisados, para monitoramento da proporção de refugos após a moldagem. Maio / julho de 1997.....	72
Gráfico 10 - Carta de controle para monitoramento do número de interrupções/hora do processo de moldagem. Abril/ julho de 1997.....	73
Gráfico 11- . Carta de controle para monitoramento da ineficiência do processo de	



moldagem. Abril/ julho de 1997. ....	75
Gráfico 12 - . Carta de controle, com limites revisados, para monitoramento da ineficiência do processo de moldagem. Abril/ julho de 1997. ....	75
Gráfico 13 - . Carta de controle para monitoramento da temperatura média no ponto 6 do forno de queima. Março de 1997. ....	77
Gráfico 14 - . Carta de controle para monitoramento da temperatura média no ponto 9 do forno de queima. Março de 1997. ....	77
Gráfico 15 - Limites de controle revisados para o monitoramento das temperaturas médias em cada um dos 9 pontos do forno de queima. ....	80
Gráfico 16 - Carta de controle para monitoramento da temperatura média no ponto 3 do forno de queima. Maio / junho de 1996. ....	81
Gráfico 17 - Limites de controle revisados para o monitoramento das amplitudes em cada um dos 9 pontos do forno de queima. ....	81
Gráfico 18 - Carta de controle para monitoramento da proporção de produtos com fissuras no final da linha de produção. Agosto de 1997. ....	82
Gráfico 19 - Carta de controle, com limites revisados, para monitoramento da proporção de produtos com fissuras, no final da linha de produção. Agosto de 1997. ....	83
Gráfico 20 - Carta de controle para monitoramento do comprimento médio do bloco cerâmico. Agosto de 1997. ....	84
Gráfico 21 - Carta de controle para monitoramento da largura média do bloco cerâmico. Agosto de 1997. ....	85
Gráfico 22 - Carta de controle para monitoramento da altura média do bloco cerâmico. Agosto de 1997. ....	85
Gráfico 23 - Carta de controle para monitoramento das amplitudes amostrais relativas ao comprimento dos blocos cerâmicos. Agosto de 1997. ....	85
Gráfico 24 - Carta de controle para monitoramento das amplitudes amostrais relativas à largura dos blocos cerâmicos. Agosto de 1997. ....	86
Gráfico 25 - Carta de controle para monitoramento das amplitudes amostrais relativas à altura dos blocos cerâmicos. Agosto de 1997. ....	86
Gráfico 26 - Carta de monitoramento para valores individuais de resistência à compressão. ....	88
Gráfico 27 - Carta de controle para monitoramento da amplitude móvel de resistência à compressão. ....	88
Gráfico 28 - Temperaturas médias. Ponto 1. Março/junho de 1997. ....	108

Gráfico 29 - Amplitudes. Ponto 1. Março/junho de 1997. ....	108
Gráfico 30 - Temperaturas médias. Ponto 2. Março/junho de 1997. ....	109
Gráfico 31 - Amplitudes. Ponto 2. Março/junho de 1997. ....	100
Gráfico 32 - Temperaturas médias. Ponto 3. Março/junho de 1997. ....	110
Gráfico 33 - Amplitudes. Ponto 3. Março/junho de 1997. ....	110
Gráfico 34 - Temperaturas médias. Ponto 4. Março/junho de 1997. ....	111
Gráfico 35 - Amplitudes. Ponto 4. Março/junho de 1997. ....	111
Gráfico 36 - Temperaturas médias. Ponto 5. Março/junho de 1997. ....	112
Gráfico 37 - Amplitudes. Ponto 5. Março/junho de 1997. ....	112
Gráfico 38 - Temperaturas médias. Ponto 6. Março/junho de 1997. ....	113
Gráfico 39 - Amplitudes. Ponto 6. Março/junho de 1997. ....	113
Gráfico 40 - Temperaturas médias. Ponto 7. Março/junho de 1997. ....	114
Gráfico 41 - Amplitudes. Ponto 7. Março/junho de 1997. ....	114
Gráfico 42 - Temperaturas médias. Ponto 8. Março/junho de 1997. ....	115
Gráfico 43 - Amplitudes. Ponto 8. Março/junho de 1997. ....	115
Gráfico 44 - Temperaturas médias. Ponto 9. Março/junho de 1997. ....	116
Gráfico 45 - Amplitudes. Ponto 9. Março/junho de 1997. ....	116
Gráfico 46 - Curva característica de operação de acordo com critérios estabelecidos pela norma brasileira NBR 7171. ....	120

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 - Apresentação do trabalho

Atualmente, talvez em função da abertura do mercado nacional, o consumidor brasileiro está-se tornando cada vez mais exigente. Para atender a essas exigências, os diversos setores industriais estão investindo em desenvolvimento tecnológico. Esse desenvolvimento tecnológico pressupõe a definição, o controle e a garantia de especificações dos bens que são produzidos. Para garantir as características que fornecem a qualidade dos produtos industriais, podem ser utilizadas várias técnicas, muitas delas fundamentadas em aplicações estatísticas refinadas. O estágio de desenvolvimento tecnológico do processo de produção analisado definirá o nível de controle de qualidade que pode ser executado.

Uma técnica estatística que começa a ser bastante utilizada na indústria brasileira é o controle estatístico de processos pelos gráficos de Shewhart. Eles podem ser empregados para garantir a conformidade do produto com as especificações, permitindo alterações no processo produtivo sempre que for detectado algum problema, tendo, por isto, um caráter preventivo, sendo usados para impedir a produção de exemplares fora das especificações e, ainda, para eliminar perdas, diminuir custos operacionais e aumentar a produtividade, o que leva a um aumento da lucratividade.

O emprego dessas poderosas ferramentas, assim como de qualquer técnica estatística, deve ser minuciosamente analisado e avaliado para que se adapte perfeitamente ao processo avaliado, tanto a nível tecnológico como econômico, e não conduza a falsos resultados.

## 1.2 - Justificativa

A palavra “cerâmica” tem sua origem no grego *keramos* que significa coisa queimada. A Associação Brasileira de Cerâmica define cerâmicas ou materiais cerâmicos como todos os materiais de construção de engenharia ou produtos químicos inorgânicos que são utilizáveis pelo tratamento em temperaturas elevadas, desconsiderando os metais e suas ligas. Por esta definição são considerados produtos cerâmicos os materiais de cerâmica vermelha, os materiais de cerâmica branca, os materiais refratários, os vidros clássicos, o cimento Portland e especiais, as cales e os gessos, muito embora, culturalmente, sejam considerados nessa categoria, apenas os três primeiros itens.

As denominações “cerâmica vermelha e cerâmica branca” são convencionais, pois a coloração do produto por si só não define as suas qualidades. A cor pode ser alterada pela utilização de determinados elementos químicos, pela temperatura de queima, pela adição de materiais fundentes, assim como pela atmosfera redutora de cozimento.

Os produtos cerâmicos vermelhos são largamente empregados na construção civil em função de suas características relativas à durabilidade, resistência mecânica, preço e facilidade de manuseio e fabricação. Eles compreendem todos os materiais de construção feitos artificialmente com argila impura, entre os quais se situam os tijolos, nas suas mais variadas formas.

O uso de argila na confecção de objetos é milenar. Inicialmente o homem começou a utilizá-la crua para unir ou calafetar a palha. Em seguida, deixou de utilizar a palha na confecção de objetos e, posteriormente, começou a cozê-la. É nesse momento que nasce a cerâmica propriamente dita. Vários estudos arqueológicos baseiam-se na origem e data de fabricação desses elementos por permanecerem inalterados por muito tempo.

O uso de paredes com componentes cerâmicos também é bastante antigo, pois já se tem notícias de sua utilização na Suméria, na forma de cones não-cozidos unidos com argila, assim como também na Caldéia, na Assíria e na Pérsia. Na Grécia e no Egito, foram utilizados com argamassas à base de pazolanas. Foram também muito empregados pelos árabes e se tornaram símbolo da arquitetura maometana. Os chineses inventaram o torno do oleiro, mas a mecanização do processo produtivo de tijolos teve início na Inglaterra, a partir do século XVIII. Após esta data, houve um grande desenvolvimento industrial baseado em estudos realizados em laboratórios especializados e, desde então, os produtos cerâmicos dominam o mercado, praticamente sem concorrentes.

Somente a partir da década de 50, no século XX, notaram-se grandes mudanças nos materiais e processos construtivos até então vigentes. Mesmo assim, o uso de paredes com componentes cerâmicos, embora milenar, continua sendo predominante, apesar da evolução das técnicas construtivas, dos materiais e produtos empregados na construção civil.

A tecnologia utilizada nos processos construtivos da construção civil, embora defasada ao se comparar a outras áreas do setor industrial, dá sinais de desenvolvimento. Esta defasagem talvez ocorra em função de suas características especiais, o que não permite, muitas vezes, a produção em escala. Os materiais utilizados tanto podem resultar de processos industriais bastante sofisticados, automatizados e com controle sistemático, como é o caso do cimento, como de processos quase artesanais e sem nenhum tipo de controle.

Nas últimas décadas foram criados vários produtos substitutos das cerâmicas. Estes, entretanto, até o presente momento, talvez por influência de fatores culturais, não têm tido muito sucesso. O setor produtivo de cerâmica vermelha, formado por indústrias de pequeno e médio porte e caracterizado pela baixa rentabilidade, deve, entretanto, adequar sua tecnologia de produção ao progresso tecnológico iniciado na construção civil nos últimos anos, visto que uma defasagem tecnológica poderá contribuir para a perda do domínio de mercado.

Conscientes desses fatores, alguns fabricantes de produtos cerâmicos, juntamente com entidades públicas e educacionais, têm dado início a uma série de atividades programadas para alcançar a qualidade pretendida.

O Núcleo de Pesquisa em Engenharia e Arquitetura da Universidade Católica de Pelotas, com a colaboração do governo do estado do Rio Grande do Sul, está desenvolvendo um estudo sobre a viabilidade de implantação de um processo de melhoria da qualidade de materiais utilizados na construção civil, produzidos na cidade de Pelotas. O Instituto Técnico de Pesquisa e Assessoria - ITEPA, da Universidade Católica de Pelotas também se interessa pelo assunto e acredita no setor; com o apoio da Coordenadoria Pró-Desenvolvimento da Zona Sul e do Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Rio Grande do Sul - SEBRAE/RS, já realizou algumas análises técnicas para a determinação das características das matérias-primas cerâmicas existentes na região, com vistas a induzir a expansão, diversificação e melhoria do parque industrial cerâmico e seus produtos, além de analisar seu potencial mercadológico, tanto no âmbito da oferta, como no da demanda.

A região sul do estado do Rio Grande do Sul enfrenta grande declínio econômico. Acredita-se que a indústria cerâmica pode ser utilizada como indutora do desenvolvimento industrial, o que seria uma grande contribuição econômica e social, pois necessita também de empresas complementares nas áreas metal-mecânica, química, transporte, embalagens e refratários. Esse processo de alavancagem ocorreu em Santa Catarina, a partir da década de 70, quando se deu início a uma série de procedimentos visando à aprimoração de tecnologias tornando-o o maior estado brasileiro produtor de produtos cerâmicos, respondendo por cerca de 41% da produção nacional, tendo empresas classificadas entre as maiores do mundo, no setor.

Costuma-se dizer que a construção civil é o termômetro da economia, pois é neste setor que se refletem, em primeiro lugar, os efeitos positivos ou negativos da conjuntura econômica do país. Nos últimos anos a construção civil tem apresentado uma capacidade ociosa relativamente grande. Informações a respeito de consumo de cimento, materiais cerâmicos e agregados; consumo de energia elétrica em obras (ligações provisórias); vendas de imóveis residenciais mostram a retração do mercado. A quantidade de empresas ligadas ao setor, mostrada na tabela 1, evidencia uma diminuição significativa, não só a nível de Região Sul, como também a nível de Brasil. Pode-se considerar que uma das causas da evidente recessão é a queda dos investimentos do setor público em infra-estrutura, habitação popular, saneamento básico e serviços de urbanização.

Tabela 1 - Empresas ligadas à construção civil. Brasil. 1980-1992

Local	Quantidade de empresas				
	1990	1991	1992	1993	1994
Rio Grande do Sul	194	173	171	167	161
Santa Catarina	88	81	80	76	68
Paraná	212	192	187	188	170
Região Sul	494	446	438	411	399
Brasil	1.918	1.737	1.706	1.661	1.553

Fonte: Anuário Estatístico do Brasil/IBGE

No momento em que o setor se retrai, começa a existir excesso de oferta de produtos e serviços, o que aumenta a concorrência e leva várias empresas a encerrarem suas atividades. Para se manter no mercado, as empresas precisam ser competitivas, valorando suas características reativas, adaptativas e inovativas. A chave de tudo isto é a qualidade.

Convém salientar que qualidade não se limita ao produto e ao seu processo de fabricação. A empresa deve investir não apenas na melhoria de bens ou serviços como também no atendimento ao cliente. Ter como meta a satisfação do cliente é fundamental para qualquer tipo de empresa. Elas precisam preocupar-se em conhecer as necessidades, problemas e expectativas de seus clientes, formando uma estrutura para atendê-los.

A União Brasileira de Qualidade, baseada em pesquisas, afirma que, na construção civil:

- de 20 a 30% do material de uma obra viram entulho, em função de falhas técnicas, baixa qualidade do material e manuseio inadequado;
- apenas 30% do tempo de execução de um prédio são efetivamente utilizados, sendo 70% perdidos por falta de planejamento e sistemática de trabalho;
- depois de pronta a edificação, as construtoras chegam a gastar 15% do custo total da mão-de-obra em reparos.

Segundo dados do Instituto de Engenharia de São Paulo, os desperdícios do setor da construção civil atingem 6,6 bilhões de dólares, o que corresponde a 1,6% do PIB. O controle

de qualidade no setor poderia reduzir custos, aperfeiçoar o processo produtivo e melhorar a qualidade do produto final.

Pesquisas em todo o mundo têm demonstrado que o desperdício e as manifestações patológicas, na construção civil, não são exclusividade dos brasileiros. Em alguns países do chamado primeiro mundo, além de altos índices de desperdício, existe também uma grande incidência de manifestações patológicas. A tabela 2 mostra a incidência de tais manifestações em 5 países europeus, constatando-se que a origem dos problemas está distribuída nas diversas etapas do processo produtivo e utilização. A tabela evidencia que, 11 a 25% das manifestações patológicas, geram-se nos materiais utilizados.

Tabela 2 - Origem dos problemas patológicos na construção civil

País	Etapas			
	projeto (%)	materiais(%)	execução(%)	uso(%)
Bélgica	46 a 49	15	22	8 a 9
Inglaterra	49	11	29	10
Alemanha	37	14	30	11
Dinamarca	36	25	22	9
Romênia	37	22	19	11

Fonte: Controle de Qualidade na Construção Civil. Paulo Helene.

Em sondagem realizada junto a moradores de prédios com menos de 10 anos de vida, situados na cidade de Pelotas, foi constatada uma grande insatisfação com suas moradias. A maioria delas apresentava vários problemas, muitos dos quais poderiam ter sido evitados pela utilização de materiais de melhor qualidade.

Para que o engenheiro possa produzir qualidade, precisa conhecer as características físicas e químicas dos materiais que utiliza na construção, pois poderá adequar suas técnicas construtivas, escolhendo o produto mais apropriado para cada finalidade.

A normatização brasileira classifica os componentes de acordo com a matéria-prima da qual são fabricados e igualmente com sua forma, especificando parâmetros como dimensões nominais e resistência mínima à compressão. É necessário, então, que essas especificações sejam seguidas e garantidas aos engenheiros. A determinação dos parâmetros



de um processo produtivo e a garantia de sua manutenção podem ser conseguidas pelo emprego de técnicas de controle de processos produtivos.

Essas técnicas de controle de processos produtivos desenvolveram-se acentuadamente nos últimos anos, propiciando sua ampla utilização nas várias áreas industriais, inclusive na construção civil. Uma técnica utilizada para o aprimoramento de qualidade, é o controle estatístico de processo que emprega os gráficos de Shewhart, entre outros. Por meio dele pode-se não apenas melhorar o desempenho técnico do produto, como também do processo produtivo, de forma a aumentar a satisfação do consumidor e a lucratividade da empresa.

### **1.3 - Objetivos do trabalho**

A partir da caracterização do produto final e do processo produtivo de componentes cerâmicos de uma olaria situada na cidade de Pelotas, será organizada a implantação de um controle estatístico do processo com a utilização de gráficos, objetivando garantir a conformidade do produto com as especificações definidas pela norma brasileira e com as necessidades técnicas, além de satisfazer os desejos dos consumidores. Pretende também, por meio dele, eliminar possíveis falhas, melhorando a lucratividade da empresa.

### **1.4 - Metodologia do trabalho**

O desenvolvimento do trabalho passou pelos cinco momentos metodológicos, descritos a seguir:

1º momento metodológico : Revisão de literatura

Neste momento inicial foi realizada uma ampla revisão de literatura a respeito de técnicas de controle estatístico do processo. Paralelamente, foram levantadas informações a respeito de processos produtivos de produtos cerâmicos para, posteriormente, proceder-se à integração de ambos.

## 2º momento metodológico : Caracterização do universo estudado

O presente trabalho foi realizado em uma olaria da cidade de Pelotas. No segundo momento metodológico foram caracterizados, detalhadamente, a empresa analisada, seu produto final e seu processo produtivo. Realizaram-se entrevistas, observações semi-estruturadas, contagem de elementos, medições e ensaios laboratoriais.

## 3º momento metodológico : Planejamento do controle do processo produtivo.

Elaborou-se o planejamento do processo de controle, sendo definidas as variáveis a serem controladas, bem como sua forma de medição, as etapas do processo produtivo em que seriam coletadas informações e a forma como estas seriam analisadas.

Objetivando a definição das variáveis a serem consideradas, foram realizadas, também, em consultas telefônicas, entrevistas semi-estruturadas com os consumidores (engenheiros, arquitetos e empreiteiros).

## 4º momento metodológico : Utilização das técnicas selecionadas e análise dos resultados

Neste momento foram colocadas em prática as técnicas selecionadas, sendo minuciosamente reavaliadas. Os resultados foram analisados por meio de técnicas estatísticas.

## 5º momento metodológico : Conclusões

No último momento foi possível tirar conclusões a respeito do processo produtivo analisado, bem como da forma como ele foi avaliado.

### **1.5 - Estrutura do trabalho**

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, a saber:

Capítulo 1 - apresenta a dissertação, justificando o tema escolhido, definindo os objetivos, indicando os momentos metodológicos utilizados na sua elaboração e mostrando suas principais limitações;

Capítulo 2 - trata da revisão de literatura. Apresenta a caracterização das principais técnicas que podem ser utilizadas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha, mais especificamente, tijolos. Faz também considerações gerais a respeito da importância dos programas de qualidade, revelando as diversas técnicas empregadas no controle estatístico de processos;

Capítulo 3 - discorre sobre a empresa a ser analisada, uma olaria situada na cidade de Pelotas, bem como sobre o processo produtivo a ser controlado;

Capítulo 4 - mostra a aplicação da metodologia de controle estatístico de processo para o caso específico de uma indústria oleira;

Capítulo 5 - finalizando o trabalho, manifesta as conclusões originadas do desenvolvimento desta dissertação e faz algumas recomendações para futuros trabalhos relacionados a este tema.

Complementando a estruturação, foram utilizados 4 apêndices, a saber:

Apêndice 1 - apresenta o *lay out* da fábrica analisada, evidenciando o setor de moldagem;

Apêndice 2 - fornece informações sobre forno tipo túnel, com planta baixa e corte transversal;

Apêndice 3 - revela dados referentes às temperaturas do forno de queima que foram utilizados na análise feita no capítulo 4;

Apêndice 4 - discute questões referentes a critérios de dimensionamento de amostras utilizados pela norma brasileira NBR 7171.

## 1.6 - Limitações do trabalho

O presente trabalho tem algumas limitações. Talvez a mais importante de todas seja a não-realização de uma análise minuciosa de custos, não só de produção, de retrabalho e refugos, como de implantação do CEP. Além disso, não foram avaliadas as características da matéria-prima utilizada que alimenta o processo.

Com relação às técnicas estatísticas, não foi efetuada uma avaliação para um exato dimensionamento amostral. O tamanho das amostras utilizadas foi determinado, em alguns casos, pela norma brasileira, e, em outros, pelo consenso entre os diversos autores de CEP. Entretanto, poderia ter sido determinado pela aplicação de curvas características de operação. As técnicas estatísticas selecionadas primaram pela simplicidade e facilidade de manuseio, tendo em vista a sua adequação ao ambiente analisado para efetiva utilização.

Podiam, também, ter sido realizados mais experimentos para conhecimento mais minucioso da interferência das várias técnicas produtivas nas características de qualidade do produto final, como, por exemplo, determinar a contração do produto durante a secagem natural, a secagem artificial, a pré-queima e a queima.

Em relação aos ensaios realizados, mais especificamente, o de resistência à compressão, não foram consideradas as alterações referentes à função estrutural.

Apesar das limitações acima citadas, os resultados do trabalho desenvolvido foram satisfatórios pois, além de evidenciar a necessidade de utilização de técnicas preventivas à ocorrência de efeitos, propiciaram melhorias no produto final e no processo produtivo.

## Capítulo 2

### Revisão de literatura : conceitos básicos

#### 2.1 - Os Tijolos

##### 2.1.1 - Introdução

Produtos cerâmicos são produtos fabricados a partir da moldagem da argila acompanhadas de desengordurantes ( material inerte), que adquirem rigidez após o seu cozimento.

A indústria cerâmica possui dois segmentos principais : cerâmica vermelha ou estrutural e cerâmica branca ou de revestimento. Entre os produtos cerâmicos vermelhos têm-se os tijolos, as telhas, as lajotas, as pingadeiras, as manilhas, etc., e, entre os produtos cerâmicos brancos têm-se os azulejos, louças sanitárias, ladrilhos, pastilhas, etc. Existem, ainda, os materiais refratários.

Todos esses produtos são produzidos por um processo muito semelhante envolvendo as seguintes fases:

- extração da matéria-prima;
- preparação da matéria-prima;

- moldagem da peça;
- secagem;
- cozimento;
- resfriamento.

Os principais produtos vermelhos da indústria cerâmica gaúcha são : tijolos maciços comuns, tijolos aparentes, blocos cerâmicos, tijoletas de acabamento, lajotas para piso, telhas comuns ou vidradas, tubos cerâmicos vidrados, condutos cerâmicos diversos. Além destes itens, a indústria produz algumas variações a partir de ocorrências localizadas e da combinação de matérias-primas.

### 2.1.2 - A matéria-prima

Os tijolos possuem, como matéria-prima principal, a argila resultante da decomposição de determinados componentes da crosta terrestre: os feldspatos, os minerais dos granitos e pórfiros e os gnaisses e micaxistos. Os processos geológicos que levam à concentração dessa matéria-prima incluem preparação mecânica, tais como ação das ondas e dos ventos; precipitação química, que ocorre quando certas substâncias entram em contato; lixiviação química e alterações térmicas, que levam à cristalização e ao crescimento dos grãos.

Tais processos geológicos deram origem às principais matérias-primas utilizadas pelo homem. Entretanto, os requisitos tecnológicos de quantidade, características e composição o levaram a beneficiar a maioria delas. Esse beneficiamento e o processamento adicional passam a assumir cada vez mais importância, tendo em vista que os melhores depósitos e jazidas estão-se extinguindo gradualmente.

O elemento principal da argila é o silicato de alumina hidratado, cuja composição teórica é: sílica, 46,4%; alumina, 39,7% e água, 13,9%. Existem, entretanto, diversas variedades desse material em função da rocha de origem e das características de seu transporte e sedimentação, que vão desde o caolim empregado na fabricação de louça até a argila comum, empregada na fabricação de tijolos.

Os principais tipos de materiais argilosos são caolinita ( a mais pura), montmorilonita ( pouco usada) e micáceas, todas com estrutura laminar.

Segundo o seu emprego as argilas se classificam em infusíveis, refratárias e fusíveis. As mais importantes são as fusíveis, usadas na fabricação de tijolos; deformam-se e vitrificam-se a temperaturas menores que 1200°C.

Segundo a composição, as argilas podem ser puras ou impuras. As puras são formadas por vários tipos de materiais argilosos. As impuras possuem outros elementos em grande quantidade que modificam suas características. As usadas na fabricação de tijolos são as impuras, sendo as principais impurezas o carbonato de cálcio, o sulfato de cálcio, o óxido de ferro, o sulfureto de ferro e as substâncias orgânicas. Dentre elas, as mais nocivas são as impurezas calcárias.

As argilas impuras podem classificar-se em gordas e magras. As gordas são ricas em material argiloso e as magras, pobres. As argilas chamadas gordas são excessivamente plásticas, pelo excesso de alumina, enquanto as magras, pelo excesso de sílica, produzem materiais frágeis e porosos. Para a fabricação de tijolos é aconselhável que a argila não seja nem muito gorda nem muito magra.

Ao utilizar uma argila é indispensável conhecer suas características referentes à plasticidade, absorção de água e comportamento ao calor.

Plasticidade é a propriedade segundo a qual um corpo se deforma sob a ação de uma força e conserva a deformação após cessada esta ação. É a característica que permite a sua moldagem. A plasticidade está correlacionada positivamente com a quantidade de água e a pureza da argila e, negativamente, com a quantidade de ar, a temperatura e a quantidade de desengordurantes.

A absorção de água está diretamente ligada à porosidade do material, a qual por sua vez, depende da natureza dos constituintes, da forma, tamanho e posição relativa das partículas e processos de fabricação.

A ação do calor pode alterar características físicas como, densidade, porosidade, dureza, resistência, plasticidade, textura, condutibilidade térmica e elétrica, assim como químicas: desidratação, decomposição e formação de novos compostos. A água, presente nas argilas sob a forma de água de constituição ( que faz parte da estrutura molecular), água de plasticidade ( que adere à superfície das partículas coloidais) e água de capilaridade ( que preenche os poros ou vazios), é eliminada pela ação do calor. Com a eliminação existe a contração do material, medida linearmente ou volumetricamente. A contração linear varia de 2 a 20%.

Na fabricação de produtos cerâmicos é indispensável conhecer o grau de contração da argila para dar ao objeto cru as dimensões necessárias para que alcance as medidas exigidas depois de cozido. A contração deve ser uniforme para impedir a ocorrência de fissuras, o que é facilitado com um bom processo de secagem e queima.

Além dessas características, o teor de argila, a composição granulométrica, a profundidade da barreira, a umidade, as impurezas, etc., interferem na qualidade final a ser obtida no produto. Muito carbonato de cálcio ou compostos sulfurosos originam excesso de fissuras. Muita matéria orgânica, excesso de poros. Muita cal pode estourar o produto.

A sílica, quando livre, aumenta a brancura do produto cozido, reduz a plasticidade, diminui a retração dos produtos feitos com argila gorda, aumenta o coeficiente de dilatação, reduz as resistências à tração e à variação de temperatura, altera a refratariedade, facilitando a secagem. Os compostos de alumina baixam o ponto de fusão, diminuem a plasticidade, aumentam a resistência, densidade e impenetrabilidade do produto cozido e alteram a refratariedade. Os compostos alcalinos reduzem a refratariedade e a plasticidade. Os compostos de ferro, responsáveis pela cor avermelhada, diminuem a plasticidade e a refratariedade. Os compostos cálcicos desprendem calor e aumentam de volume, podendo romper o corpo. Também clareiam o produto. A matéria orgânica aumenta a plasticidade assim como a porosidade.

As argilas podem ser purificadas por processos, tanto mecânicos quanto químicos, a fim de serem eliminadas, total ou parcialmente, ou serem anuladas, as impurezas e/ou seus efeitos.



### 2.1.3 - ● processo de fabricação de tijolos

Os insumos usados na produção de tijolos são argila, água, máquinas e equipamentos, e energia. A água e a argila são oriundas da natureza. As máquinas e equipamentos são adquiridos de empresas da iniciativa privada. A energia pode ser obtida de diferentes formas. A energia elétrica é fornecida por concessionárias públicas. Pode-se também utilizar derivados do petróleo, tanto líquidos como gasosos, além de vários tipos de gases: gás natural, gás derivado do carvão vegetal/mineral e da turfa. A madeira, igualmente, serve como alternativa para a obtenção de energia.

As características de uma jazida sempre devem ser analisadas objetivando definir os tipos de produtos a serem produzidos, assim como o equipamento necessário, pois cada tipo de cerâmica requer um tipo de barro.

Após a análise, a primeira operação consiste em retirar da jazida o material inútil, normalmente terra vegetal, de maneira a colocar a argila a descoberto. As escavações devem ser realizadas em uma grande área, mas não muito profundas, para evitar desmoronamentos. Também se deve cuidar do escoamento das águas. Abrem-se cavas, que se vão alargando em degraus sucessivos, conforme figura 1, nos casos de terrenos de encosta ou planos, respectivamente.

Para a sua extração, conforme o nível de desenvolvimento tecnológico pretendido, podem ser utilizados diferentes tipos de equipamentos, desde pás e picaretas até retroescavadeiras.

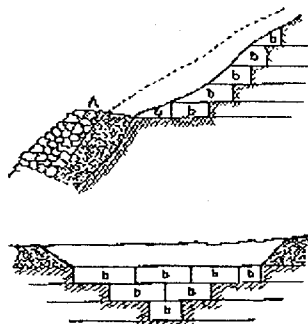


Figura 1 - Perfil de cavas para extração de argila.

A preparação da matéria prima, dependendo de suas características, pode compreender a depuração, a divisão, a homogeneização e a umidificação, executada por processos mecânicos ou manuais. A depuração consiste na eliminação das impurezas e a divisão, na possibilidade de diminuir o diâmetro dos grãos. A homogeneização consiste na obtenção de um material uniforme, com os mesmos componentes e a umidificação, na mistura com água.

Os processos manuais são utilizados em fábricas de pequeno porte pois necessitam de grandes áreas e armazéns, compreendendo mistura, amadurecimento, meteorização, apodrecimento, levigação e amassamento. Algumas vezes o material extraído é misturado a outros objetivando a alteração de algumas características da matéria prima. O amadurecimento consiste no repouso do material, em local abrigado das intempéries, por mais ou menos 24 horas no caso de produção de tijolos e telhas.

A meteorização consiste em deixar o barro extraído ao relento, para sofrer ação de intempéries o que leva a sua lavagem e desagregação, e posterior purificação. Nesta operação podem ser retiradas impurezas. Ela é indispensável nas argilas residuais, formadas no local da rocha que lhes deu origem, não tendo sofrido a ação de intempéries nem tendo sido desagregadas nem transportadas. As argilas sedimentares não precisam passar por este processo.

O apodrecimento consiste em deixar a matéria prima em ambiente abrigado e frio, sem circulação de ar e com pouca luz. Tem como objetivo propiciar o desenvolvimento de microorganismos que atuam como aglomerantes aumentando a plasticidade. A levigação trata de um processo de lavagem e purificação por decantação, sendo muito dispendioso. O amassamento é feito para proporcionar homogeneidade à mistura. Coloca-se a argila em tanques, revolvendo a massa e batendo-a com maços de madeira ou calcando-as com os pés.

Os processos mecânicos desenvolvem-se por meio de desagregadores, cilindros, trituradores, peneiradores com lavagem, misturadores, amassadores, raspadores e laminadores.

As impurezas podem ser eliminadas através de desagregadores ou cilindros que as reduzem a partículas tão insignificantes que se tornam inofensivas. Desagregadores são

formados por uma série de discos endentados que trituram o material, enquanto cilindros são discos lisos utilizados com a mesma finalidade.

A divisão serve para diminuir o tamanho dos grão da argila e dos desengordurantes, para melhorar a plasticidade. Em processos mecânicos usam-se britadores, moinhos, desintegradores e pulverizadores, conforme o grau de moagem desejado. Existem os chamados trituradores que são moinhos de rolos cilíndricos e de martelos.

Peneiras associadas à lavagem podem ser utilizadas para eliminar partículas grossas e duras, melhorando a qualidade do material, a fim de se dar à argila a constituição que se deseja. Para se obter uma perfeita mistura de todos os componentes da argila utilizada e um determinado grau de umidade, podem ser utilizados amassadores e misturadores, formados por pás helicoidais colocadas longitudinalmente em um caixão horizontal.

Podem também ser utilizados laminadores e refinadores que, por meio de dois rolos, propiciam a desintegração da argila, eliminando totalmente as impurezas e dando homogeneidade à massa. A umidificação é feita para dar consistência conveniente à mistura. A quantidade de água a juntar depende do tipo de barro e varia, normalmente, entre 15% e 30%.

A preparação mecânica da argila é mais econômica, mais ágil e mais eficiente. Dependendo do porte da indústria e do tipo de produto podem ser utilizadas várias máquinas, entre elas citam-se as marombas, formadas por cilindros verticais ou horizontais no interior dos quais existem pás ou hélices que homogeneizam a mistura e a levam para a moldagem.

Moldagem é a operação que dará a forma desejada à pasta cerâmica. Para se obter um bom produto é indispensável uma massa devidamente homogeneizada, ou seja, com as partes gordas e magras bem misturadas, igualmente umidificada e com as partículas sólidas totalmente desagregadas. Esta operação é facilitada pela plasticidade da mistura.

Conforme o tipo e características da matéria-prima, o formato e a constituição do produto acabado e do tipo de forno a ser empregado, a conformação pode ser por pressão, hidroplastica ou por colagem, sendo este último o processo preferido dos artistas cerâmicos.

Na prensagem a seco, as partículas da matéria-prima são comprimidas, por pressão, até um volume tão pequeno quanto possível, objetivando a obtenção de dois efeitos: empacotamento das partículas e sua agregação. O empacotamento é uma justaposição das partículas sem obtenção da coerência, enquanto a agregação garante a manutenção da massa.

As matérias-primas cerâmicas, em função de sua estrutura, são adequadas para a conformação hidrolástica, pois fornecem uma pasta com baixa resistência inicial ao cisalhamento. Ela inclui a reprensagem, a extrusão e o torneamento. Para tijolos é usada a moldagem hidrolástica.

Conforme a tecnologia empregada, a moldagem pode ser manual ou mecânica. A moldagem manual utiliza forma de madeira forrada de metal. O barro é ali colocado e comprimido, sendo o excesso retirado por meio de uma régua de metal. O tijolo é, então, colocado no local de secagem, sendo necessária a lavagem da forma para que possa ser reutilizada.

A moldagem mecânica é feita com marombas providas ou não de dispositivo de vácuo, máquinas de feira ou prensas acionadas a mão ou a motor. Nas máquinas de feira é utilizada a extrusão, que consiste em forçar a massa a passar, por pressão, impulsionada por um eixo helicoidal ou pistões, através de um bocal apropriado. Forma-se uma fita uniforme e contínua que, ao sair, é dividida, nas mesas de cortar, em partes iguais. A mesa de cortar possui um carro móvel com rolos feltrados, sobre os quais desliza a fita de argila que sai da feira. Uma guilhotina, na forma de quadro metálico constituído por arames igualmente afastados, corta, de cada vez um certo número de tijolos, imediatamente retirados e levados para a secagem. O processo incorpora muito ar, que se dilata durante a queima, podendo causar o fendilhamento e até a desagregação da peça. Para evitar o problema, pode-se acoplar uma câmara de vácuo. Para tijolos especiais podem ser utilizadas prensas manuais ou mecânicas. Após, o material é encaminhado, normalmente através de carros prateleiras, para as estufas de secagem.

Na fabricação de produtos cerâmicos, temperaturas elevadas são usadas para secagem prévia dos produtos já conformados, visando a produzir aglomeração, reduzir a porosidade, modificar tensões residuais e produzir a cristalização, o que tem, como consequência,

alterações de peso e de volume, reduzindo a porosidade, a área específica e modificando suas propriedades.

A secagem é a principal etapa nos processos de conformação hidrolástica, removendo parte da água existente nos materiais cerâmicos, de 7% a 30%, correspondentes à água higrométrica e à que foi adicionada na sua preparação. Há uma secagem superficial e uma difusão interna da umidade para a face externa. A argila se contrai, fechando os vazios deixados pela água. A secagem deve ser feita lentamente para evitar o aparecimento de fissuras e deformação, podendo ser natural ou artificial.

A secagem natural se faz num intervalo que varia de 10 a 30 dias, ou até mais, dependendo do calor e da umidade relativa do ar. Os tijolos devem ser acomodados em galpões de modo a ficarem livres da ação direta do sol e da chuva e ligeiramente afastados para permitir a circulação do ar. Este tipo de secagem não é muito aconselhado, porque precisa de muito espaço e retarda o tempo de produção.

*Estufa*  
A secagem artificial é feita em estufas aquecidas pelo calor dos fornos de queima. As estufas ou galpões de secagem situam-se acima dos fornos ou estão ligadas a eles por chaminés, que transportam o gás de combustão. Esse tipo de secagem permite aumentar bastante a produção. As melhores estufas são do tipo túnel, percorridas por carros-prateleiras, no sentido menor/maior calor. *SECAGEM*

Existem ainda as secagens por ar quente/úmido e por irradiação infravermelha. Na primeira, o material recebe calor quente e úmido, até a água absorvida ser eliminada. Depois, só ar quente. Isto faz com que as deformações sejam mínimas. A segunda não é aconselhável para tijolos.

Sob o ponto de vista econômico, a secagem deve ser o mais rápida possível, cuidando-se, entretanto, para que não haja trincas ou empenamentos decorrentes da variação de volume. O projeto de um processo de secagem exige o conhecimento da água ou líquido no interior do produto. Após a secagem, o material é encaminhado para a queima.

D fornos

Esta é a operação mais importante na fabricação de tijolos. Inicialmente a temperatura deve ser branda, para depois se tornar intensa, quando a cozedura se faz completamente. A velocidade de aumento e diminuição da temperatura precisa ser controlada, para não prejudicar a qualidade do produto nem aumentar seu custo, pelo gasto excessivo de combustível. Com o aquecimento eles perdem, inicialmente, a água higrométrica ou de jazida, entre 100°C e 110°C; entre 400°C e 600°C a argila se decompõe e o carbono das substâncias orgânicas é queimado; a 700°C começam a verificar-se combinações químicas complexas e, aproximadamente entre 800°C a 1200°C, acontece a cozedura. O resfriamento da peça também não pode ser repentino.

O resultado dessa operação pode ser influenciado não só pela temperatura atingida, como também pela velocidade de aquecimento e de esfriamento, pelo tipo de forno e de combustível, etc. Deve-se também cuidar a uniformidade do calor dentro do forno, objetivando diminuir as perdas por mau cozimento.

A queima pode acontecer em fornos intermitentes ou fornos contínuos. Nesses últimos, a produção é contínua, enquanto nos primeiros, queima-se um lote de cada vez, requerendo maior quantidade de mão-de-obra e combustível, além de envolver mais gastos de manutenção, sendo, por isto, antieconômicos. Têm a vantagem de pequeno custo de instalação e facilidade de execução.

Entre os vários tipos de fornos intermitentes ou contínuos que existem, pode-se citar:

Forno de meda - trata-se de um tipo intermitente só empregado em instalações provisórias. A cozedura é demorada e apresenta uma grande percentagem de perdas (entre 15 e 30%).

Forno intermitente comum - é o tipo mais encontrado nas pequenas olarias do Rio Grande do Sul por ser barato e fácil de construir, apresentando forma retangular ou quadrada.

Forno semicontínuo - trata-se de dois ou mais fornos intermitentes, colocados justapostos de tal forma que o calor de um seja aproveitado para os demais, sendo utilizados para diferentes etapas do processo.


Forno intermitente de chama invertida - os gases de combustão chegam à peça de cima para baixo.

Forno de mufla - utiliza uma caixa interna chamada mufla que protege as peças do contato direto com as chamas.

Forno combinado - são dois fornos superpostos sendo que num o aquecimento é direto e no outro invertido.

Forno de cuba - é um forno intermitente com abóboda.

Forno de Hoffmann - é um forno contínuo obtido pela justaposição de diversos fornos intermitentes, normalmente 14, colocados em torno de um canal ou câmara de fumo, alimentado através de agulheiros colocados em sua superfície. Todos se comunicam com o exterior por portas abertas apenas para colocar e retirar material. É bem mais econômico que o forno intermitente porque usa o ar quente da uma câmara em fogo para fazer o pré-quecimento da câmara seguinte, economizando combustível. Além disto, também apresenta uma perda bem menor em função de melhor queima.

 Forno de túnel - é o melhor tipo de forno contínuo, por apresentar melhor rendimento térmico e economia de mão-de-obra. É um longo túnel com a zona de queima no centro. O material é introduzido em vagonetas em uma das extremidades do túnel, onde existe baixa temperatura, vai deslizando sobre trilhos até o centro onde a temperatura é elevada e depois continua deslizando até a outra extremidade, acontecendo o resfriamento.

Após a queima, procede-se ao esfriamento do material, que também deve acontecer lentamente.

#### 2.1.4 - Características normatizadas

Os tijolos são muito utilizados por serem leves, resistentes e de fácil manejo, além de acessíveis economicamente. São suficientemente pequenos para poderem ser manuseados com

uma só mão, o que facilita o seu assentamento, além de se adaptarem a diversas espessuras de paredes sem necessidade de cortes. Seu processo produtivo precisa ser extremamente barato em função do baixo preço de venda do produto. De acordo com o processo de fabricação e a natureza da argila utilizada, os tijolos classificam-se em crus, porosos, ordinários e refratários.

Os tijolos crus, secos ao ar ou ao sol são muito pouco utilizados, apenas em locais com abundância de argila e em construções modestas. Os tijolos refratários são feitos de argila pura e resistem a altas temperaturas sem sofrer deformação, sendo utilizados, principalmente, no revestimento interno de fornos e similares. Os tijolos porosos são obtidos pela mistura da argila ao pó de carvão, serragem ou qualquer outro material combustível. Têm muitos poros e são pouco resistentes.

Os tijolos mais utilizados são os do tipo ordinário, de cor geralmente avermelhada, cozidos em fornos, o que lhes confere resistência e dureza apropriadas. Dividem-se em maciços e furados sendo suas especificações definidas em norma.

Para avaliar as características de qualidade são utilizados ensaios normalizados, relativos a blocos cerâmicos. Foram analisados os critérios utilizados pelas normas australianas, americanas, inglesas e brasileiras, sendo selecionada, inicialmente, em função da adequação dos procedimentos à realidade estudada, a norma brasileira NBR 7171- Bloco cerâmico para alvenaria, complementada pela norma brasileira NBR 6461 - Ensaio de verificação da resistência à compressão e pela norma australiana AS 1226.9 - Ensaio de absorção de água.

A NBR 7171 fixa algumas condições para os blocos cerâmicos a serem utilizados em obras de alvenaria, podendo ser de vedação ou estruturais, comuns ou especiais, e possuindo as dimensões: comprimento, altura e largura, identificadas ( figura 2 ) e especificadas ( tabela 3 ). Sua verificação foi realizada individualmente com régua metálica graduada, embora a norma defina que seja feito para cada grupo de 24 peças.



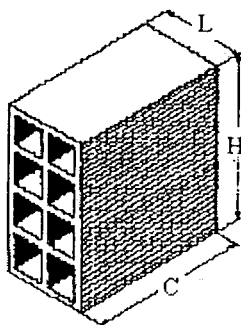


Figura 2 - Bloco cerâmico

Tabela 3 - Dimensões nominais de blocos cerâmicos

Tipo L x H x C ( cm )	Dimensões nominais ( mm )		
	Largura ( L )	Altura ( H )	Comprimento ( C )
10 x 10 x 20	90 ± 3	190 ± 3	190±3
10 x 10 x 25	90 ± 3	190 ± 3	240±3
10 x 10 x 30	90 ± 3	190 ± 3	290±3
10 x 10 x 40	90 ± 3	190 ± 3	390±3
12,5 x 20 x 20	115 ± 3	190 ± 3	190±3
12,5 x 20 x 25	115 ± 3	190 ± 3	240±3
12,5 x 20 x 30	115 ± 3	190 ± 3	290 ± 3
12,5 x 20 x 40	115 ± 3	190 ± 3	390 ± 3
15 x 20 x 20	140 ± 3	190 ± 3	190 ± 3
15 x 20 x 25	140 ± 3	190 ± 3	240 ± 3
15 x 20 x 30	140 ± 3	190 ± 3	290 ± 3
15 x 20 x 40	140 ± 3	190 ± 3	390 ± 3
20 x 20 x 20	190 ± 3	190 ± 3	190±3
20 x 20 x 20	190 ± 3	190 ± 3	240±3
20 x 20 x 20	190 ± 3	190 ± 3	290±3
20 x 20 x 20	190 ± 3	190 ± 3	390±3
10 x 10 x 20	90 ± 3	90±3	190±3
10 x 15 x 20	90 ± 3	140±3	190±3
10 x 15 x 20	90 ± 3	140±3	240±3
12,5 x 15 x 25	115 ± 3	140±3	240±3

Fonte : Norma Brasileira

A mesma norma determina a realização da medida do desvio relacionado ao esquadro das faces destinadas ao assentamento e ao revestimento ( figura 3 ), assim como a medição da planeza das faces, através da flecha de sua diagonal na região central ( figura 4 ), admitindo, para ambos, o valor máximo de 3 mm. Especifica, também, que a espessura das paredes externas deve ser de, no mínimo, 7mm. A medição das características utiliza régua e esquadro, graduados e metálicos, além de paquímetro.

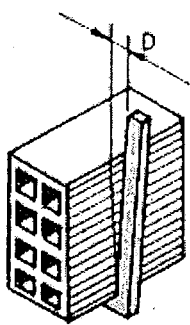


Figura 3 - Desvio em relação ao esquadro

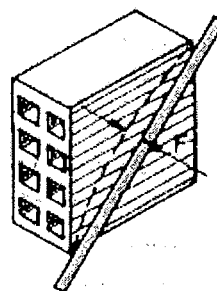


Figura 4 - Flecha para medição da planeza

Tabela 4 - Resistência mínima à Compressão,  
para blocos cerâmicos

Classe	Resistência ( MPa)
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

Fonte: Norma Brasileira

Esta norma estabelece a verificação, pela observância de defeitos sistemáticos tais como trincas, quebras ou deformações, que impeçam o emprego da peça na função especificada. Determina critérios para avaliar a resistência à compressão relacionada à área bruta ( tabela 4 ) e para a absorção de água, que não deve ser inferior a 8%, nem superior a 25%. A NBR 7171 especifica ainda procedimentos de inspeção e critérios de aceitação e rejeição de lote, orientando para que a produção seja dividida em lotes de 30.000 blocos.

As características visuais devem ser avaliadas no lote inteiro, enquanto as demais características, por dupla amostragem ( tabela 5 ). Com relação à aceitação ou rejeição do lote, a norma determina que seja aceito, se forem encontradas até 2 peças defeituosas na primeira amostra e que seja rejeitado, se a quantidade for de, no mínimo, 5. Se a quantidade de defeituosos na primeira amostra de 13 elementos for 3 ou 4, deve-se partir para uma segunda

amostragem de mais 13 elementos. Nesse caso, o lote deverá ser aceito se a quantidade de defeituosos for de até 6 unidades, entre as 26 peças das duas amostragens. Se a quantidade for 7 ou mais, o lote deve ser rejeitado.

Tabela 5 - Tamanho das amostras para inspeção de características que necessitem de medição direta ou ensaio, em blocos cerâmicos e critério para aceitação e rejeição de lotes.

Lotes	Amostras		Unidades defeituosas			
	Primeira	Segunda	1ª. amostra aceitação	rejeição	2ª. amostra aceitação	rejeição
1.000 a 30.000	13	13	2	5	6	7

Fonte : Norma Brasileira

A norma complementar NBR 6461 prescreve o método para verificação da resistência à compressão em blocos cerâmicos para alvenaria. Para blocos com função de vedação, a face destinada ao assentamento dos corpos de prova, depois de medida, deve ser coberta com pasta de cimento nivelada com placa de metal ou vidro, recoberta com leve camada de óleo. O procedimento deve ser repetido para a face oposta ( figura 5 ).

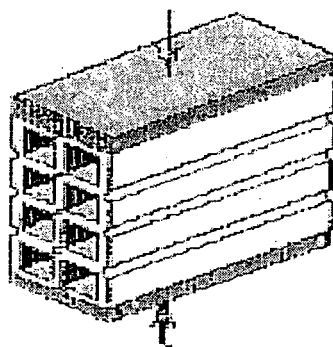


Figura 5 - Corpo-de-prova em ensaio de resistência à compressão.

Após o endurecimento das camadas de pasta, imerge-se o corpo de prova por 24 horas em água potável. Pouco antes do ensaio, retiraram-se os corpos-de-prova da água enxugando-os superficialmente para, em seguida, proceder ao ensaio da compressão, com a aplicação de carga sobre o corpo-de-prova, assegurando que se eleve progressivamente, objetivando determinar o seu limite de resistência, dado pela razão entre a carga aplicada e a área da superfície de contato.

Tal técnica serve para blocos de vedação e para blocos portantes cuja relação entre altura e largura for de até 0,8. Blocos portantes que não atendam esta condição devem ser ensaiados dois a dois, ou seja, dois blocos devem ser unidos com pasta de cimento, constituindo um novo corpo de prova. O procedimento torna-se, então, idêntico ao anterior.

A norma australiana AS1226.9 prescreve o método para determinar o teor de absorção de água. Os blocos devem ser secos em estufa na temperatura de 100°C ou 110°C por, no mínimo, 48 horas. Depois de esfriados à temperatura ambiente, deve-se determinar sua massa e imergi-lo em água limpa, por 24 horas. Retirar da água, limpando a superfície e, dentro de 3 minutos, determinar novamente sua massa. O teor de absorção será dado pela variação de massa expressa como percentagem da massa seca. É o chamado teste de imersão em água fria por 24 horas. A mesma norma também define um outro procedimento, equivalente a este primeiro, denominado teste de fervura por 5 horas. Em vez de serem imersos por 24 horas em água à temperatura ambiente, os corpos-de-prova são imersos por 5 horas em água fervente.

A norma brasileira NBR 7171 sugere que seja utilizada, para determinação do teor de absorção de água, a NBR 8947, que prescreve o método de determinação dessa característica para telhas cerâmicas. Esta norma, semelhantemente ao teste de fervura da norma australiana, determina que o produto seja imerso em água fervente por 2 horas e que ali permaneça, até que a água retorne à temperatura ambiente. Como todos estes métodos são equivalentes, optou-se pelo primeiro em função da facilidade de execução.

Na primeira amostragem, cuja finalidade era identificar os defeitos com maior frequência de ocorrência por uma análise gráfica de Pareto, foram consideradas outras características não mencionadas na NBR 7171, mas apontadas na bibliografia. Pela simples observação visual foi também avaliada a presença de manchas, a qualidade da cor e do som, este último quando percutido com martelo.

Em função da grande ocorrência, na cidade de Pelotas, de manifestações patológicas decorrentes da umidade, foi também medida a razão inicial de absorção de água. Como este ensaio não está regulamentado pela norma brasileira, foi selecionada a norma americana ASTM C-67-83, exatamente igual à norma inglesa BS 3921 para a mesma finalidade, em função de sua facilidade de execução. O ensaio estabelece que os tijolos, depois de secos por

um período de, no mínimo, 24 horas e resfriados por um período de, no mínimo, 4 horas, sejam pesados e posteriormente colocados sobre suportes metálicos em um recipiente com água ( figura 6 ), de forma que uma das superfícies do bloco fique em contato com esta por 1 minuto  $\pm$  1 segundo. A profundidade de imersão deve ser de  $3,18 \pm 0,25$  mm. Depois de retirado da água, o produto deve ser seco e pesado novamente. A razão inicial da absorção de água é dada pelo quociente entre a diferença de massas multiplicada por 1000 e a área da superfície de contato com a água.

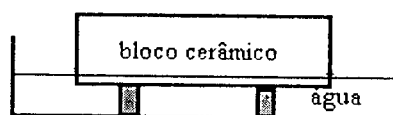


Figura 6 - Ensaio para determinação da razão inicial de absorção.

Dois tipos de blocos cerâmicos, produzidos pela olaria em estudo, apresentam as dimensões próximas às dos tijolos maciços e bastante diferentes das dimensões normatizadas dos blocos cerâmicos. Em função disto, para sua avaliação, foram também utilizadas as normas referentes àqueles.

De acordo com a NBR 7170, o tijolo maciço comum deve ser conformado por extrusão ou prensagem e queimado de forma que adquira algumas condições específicas. Classificam-se em comuns e especiais. Os tijolos comuns devem possuir a forma de um paralelepípedo com as dimensões nominais apresentadas na tabela 6, podendo ser classificados em A, B e C, conforme sua resistência à compressão ( tabela 7 ). Não devem apresentar defeitos sistemáticos tais como trincas, quebras, superfícies irregulares, deformações e desuniformidade na cor.

Tabela 6 - Dimensões nominais de tijolos maciços.

Comprimento ( mm )	Largura ( mm )	Altura ( mm )
$190 \pm 3$	$90 \pm 3$	$57 \pm 3$
$190 \pm 3$	$90 \pm 3$	$90 \pm 3$

Fonte : Norma Brasileira

Tabela 7 - Resistência mínima à compressão para tijolos maciços

Categoria	Resistência à Compressão ( MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

Fonte: Norma Brasileira

De acordo com a norma, as características visuais devem ser verificadas em todo o lote, enquanto as características geométricas precisam ser avaliadas em lotes não superiores a 10.000 tijolos. As características específicas devem ser verificadas por dupla amostragem com condições de aceitação e rejeição do lote ( tabela 8 ).

Tabela 8 - Tamanho das amostras para inspeção de características que necessitem de medição direta ou ensaio, em tijolos maciços e critério para aceitação e rejeição de lotes.

Lotes	Amostras		Unidades defeituosas			
	Primeira	Segunda	1ª. amostra		2ª. amostra	
			aceitação	rejeição	aceitação	rejeição
1.000 a 3.000	8	8	2	4	4	5
3.001 a 35.000	13	13	2	5	6	7
35.001 a 500.000	20	20	3	7	8	9

Fonte : Norma Brasileira


A NBR 6460 complementa a NBR 7170, prescrevendo o ensaio para determinação da resistência à compressão. Os blocos devem ser cortados ao meio sendo as metades unidas por pasta de cimento, formando-se novos corpos-de-prova, capeados, então, com a mesma pasta de cimento com espessura máxima de 3 mm. Após o endurecimento, os corpos-de-prova são imersos em água potável por 24 horas, são retirados e enxugados superficialmente, para serem submetidos à ação de uma carga que aumentará progressivamente à razão de 500 N/s. A resistência será dada pela razão entre a carga aplicada e a área da superfície de contato.

### 2.1.5 - Características de qualidade

Para que o produto tenha uma boa adequação ao uso, tecnicamente as características de qualidade exigidas para os tijolos apontadas por PIANCA ( 1977 ), PETRUCCI ( 1975 ) e SILVA ( 1991 ) são:

- Regularidade da forma e dimensões - estas características facilitam a construção de alvenaria no prumo e em esquadro, pois as juntas podem ser todas do mesmo tamanho, não existindo necessidade de compensações. Elas facilitam também o revestimento da alvenaria, permitindo ser menor espessura, o que resulta em economia.

- Arestas vivas, cantos resistentes e superfícies ásperas - estas características também facilitam a execução de alvenarias, auxiliando a aderência do produto às argamassas.

-  Som cheio e claro quando percutido com martelo - o som pouco claro indica tijolo cru e som muito agudo, tijolo muito cozido.

- Ausência de fendas, trincas, cavidades ou corpos estranhos - quando ocorrerem, indicam matéria-prima de má qualidade, falha na sua preparação ou em alguma outra etapa do processo produtivo, como secagem ou queima. Isto será um indicativo de produto com menor resistência.

- Fratura de grão fino e uniforme, de cor uniforme e sem manchas - os tijolos crus apresentam coloração desmaiada ou miolos escuros, enquanto os recozidos são escuros. Para uma boa coloração, é necessário que o produto, além de uma boa queima, apresente entre 8% e 9% de óxido de ferro e pouca cal. As cores esbranquiçadas podem ser indício da presença de enxofre no combustível, de depósitos de vapores com cinzas ou de cal. Combustível com muito oxigênio faz a cor do material tender para o vermelho e com muito óxido de carbono, tender para o amarelo. A cor amarelada pode provir da existência de grandes quantidades de cálcio ou magnésia, pois eles neutralizam o vermelho do ferro. Só a cor do produto pouco indica.

- Facilidade em se deixar cortar - isto facilita a adequação das medidas do material ao uso, o que freqüentemente é necessário.

- Resistência suficiente para suportar esforços de compressão - isto é indispensável, quando o tijolo for utilizado com finalidades estruturais, além de vedação.

↪ Pouca absorção de água - a absorção de água pode ser medida em laboratório. A diferença de peso entre o produto seco e depois de permanecer de 24 a 48 horas submerso deve estar entre 8% e 25%. Muita absorção de água indica porosidade alta e duração não muito longa, quando exposto às intempéries.

- A não-existência de sais solúveis em sua composição, evitando o aparecimento de eflorescências. Não é possível fixar o teor de tais produtos que garantam ou não o aparecimento do problema pois, além desses, deve também existir água e pressão hidrostática. No ensaio para verificação de suas conseqüências, os tijolos devem ser colocados verticalmente num recipiente de fundo chato com água destilada até o nível de 1 a 1,5 cm, sendo esta renovada, até que o tijolo fique saturado. Se existirem sais, depois de secar, eles afloram para a superfície, formando manchas brancas.

## **2.2 - Controle estatístico de processos**

### **2.2.1 - Introdução**

Embora a idéia de qualidade na indústria seja bastante antiga, a popularização de seu conceito aconteceu somente a partir dos anos 80. Alguns autores consideram que, no Brasil, a crise econômica iniciada nessa década foi um dos fatores que alavancou o processo, tendo em vista a contribuição da escassez de dinheiro para a formação de um consumidor mais exigente. Outro aspecto que também contribuiu para o novo perfil de consumidor foi a abertura de mercado, que lhe proporcionou mais opções para atender suas demandas. Foi percebido igualmente uma tendência de mudança cultural, com a desvalorização do conhecido e do tradicional em prol do novo, do desconhecido, mas com potencialidade de superá-lo. As



empresas tiveram que se adaptar a esta nova realidade de mercado, o que foi viabilizado pelos programas de qualidade.

Qualidade é a chave para orientar, com eficácia, qualquer empresa que objetive crescimento de mercado e lucratividade, desde que considerada sob o ponto de vista dos clientes e não dos produtores. A eficiência das empresas, nos negócios, depende de seus produtos e serviços, que devem ser confiáveis e consistentes, sem haver tolerância para perda de tempo e custo de falhas. Qualidade é um modo de gerenciar organizações, que causa melhoramento nos negócios, no gerenciamento e nas atividades técnicas, para permitir que seja alcançada a satisfação dos consumidores, a eficiência de recursos humanos e os menores custos.

Investimentos, quando acompanhados de rigorosos e eficazes programas de qualidade, têm gerado excelente rentabilidade nas empresas, permitindo avanços substanciais na penetração em mercados, melhorias significativas na liderança competitiva e na produtividade total, além de menores custos.

Ao longo dos anos, as técnicas e metodologias estatísticas vêm-se tornando, cada vez mais, amplamente utilizadas e aceitas. No início, houve uma certa resistência por parte do pessoal da indústria, o que foi contornado pela aproximação entre a estatística pura e as realidades práticas das situações industriais. Atualmente, a estatística tem desempenhado um papel fundamental nos modernos programas de controle de qualidade total. O ponto de vista estatístico resume-se ao estudo da variabilidade da característica de qualidade do produto, que tem de ser avaliada dentro de lotes, em diferentes lotes, em equipamentos e em características críticas e padrões, diretamente ou por parâmetros do processo produtivo.

Processo é um conjunto de condições ou causas que, interagindo, geram determinado resultado. Controle de processo é um conjunto de atividades planejadas e desenvolvidas com o objetivo de conhecê-lo. O controle estatístico de processo utiliza as técnicas estatísticas para analisar o comportamento do processo de fabricação, de maneira a tomar decisões e efetuar ações corretivas que permitam mantê-lo dentro de condições pré-estabelecidas. Ele tem, como objetivo, evitar a produção de itens de qualidade insatisfatória, melhorando e assegurando a qualidade da produção para satisfazer os consumidores. Esse tipo de controle reduz os custos

de produção evitando refugo e retrabalho, garantindo o fazer bem na primeira vez. Reduz os custos operacionais, otimizando a frequência de ajuste e troca de ferramentas. Além disso, maximiza a produtividade, identificando e eliminando as causas de perturbação do processo e elimina ou reduz a necessidade de inspeção de produtos.

De maneira geral, a necessidade do controle e da garantia da qualidade se faz sentir quando o produto final não apresenta a qualidade desejada, assim como quando é sentida a necessidade de eliminação de gorduras.

### 2.2.2 - Implantação de um controle estatístico de processo

Para a implantação de qualquer programa de qualidade é necessário estabelecer um ambiente favorável à ação. Todas as pessoas envolvidas no processo produtivo, desde o operário até a gerência, devem ser devidamente motivadas e conscientizadas da importância de suas atividades. É relevante, também, que se avalie o sistema de comunicação entre pessoas, equipes e departamentos, pois uma parcela significativa dos problemas de qualidade está relacionada à ineficiência de comunicação.

Depois de assegurar a receptividade do ambiente, deve-se definir cuidadosamente o processo. As pessoas, os equipamentos, as matérias-primas e a metodologia de trabalho, com suas diversas etapas, devem ser perfeitamente bem identificado, assim como os *inputs* e *outputs* do sistema. A partir deste momento, devem ser determinadas as características de qualidade e os parâmetros do processo.

Nem todas as características de qualidade e parâmetros do processo precisam ser controlados. Primeiramente todas as atenções devem voltar-se para as situações que se apresentam como críticas, avaliando esta criticidade em relação à segurança e ao uso.

No caso de produtos cerâmicos, para identificá-las, pode-se fazer uma avaliação do estoque para aferir a sua conformidade com as especificações e normas que orientam a produção. Pode-se prosseguir com a intervenção, do fim para o início da linha de produção,

fazendo outra avaliação na entrada do forno de pré-queima e outra, ainda, logo após a moldagem.

As características da qualidade devem ser relacionadas com os parâmetros do processo, pois em termos econômicos, é melhor monitorar estes, se possível o mais próximo do início do processo, do que aquelas já em fase final. Isto ajudará a reduzir perdas e custos.

Simultaneamente, pode-se também começar a intervir, visando a solucionar problemas importantes mas menos urgentes, sem a presença do fator emergência. Este momento se caracteriza por tentar eliminar não-conformidades crônicas, de maneira eficaz e efetiva.

Paralelamente, podem ser feitos alguns ajustes no processo produtivo, em função de problemas detectados pela simples observação. Óbvias causas externas de variabilidade devem ser eliminadas tão logo sejam detectadas.

Depois que todos os principais problemas foram solucionados, parte-se para a melhoria de procedimentos não realizados da melhor forma possível, mas sem conseqüências de grande importância. Busca-se otimizar o processo produtivo eliminando todos os pontos que não possam ser considerados em absoluta conformidade com uma situação ideal de trabalho, de forma a aumentar a produtividade e reduzir custos.

### 2.2.3 - Conceitos básicos

É sabido que não se podem produzir dois itens exatamente iguais. A variabilidade existente em um processo pode ser grande e evidente ou extremamente pequena e desapercibida, dando a falsa impressão de que os itens são iguais. Essa variabilidade vai sempre estar presente em qualquer processo produtivo e pode apresentar duas fontes, denominadas de causas comuns e causas especiais.

As causas comuns são várias pequenas causas que atuam sobre um processo de forma aleatória, apresentando um comportamento natural e previsível. São inerentes ao processo. Quando um processo sofre apenas este tipo de variação, as características de qualidade

analisadas formam um padrão e podem ser descritas e analisadas através de uma distribuição de probabilidade. Nesse caso, o processo é considerado sob controle estatístico. As causas especiais não são pequenas e não seguem um padrão aleatório, provocam uma alteração brusca no processo e são imprevisíveis. Quando elas aparecem, o processo é considerado fora de controle estatístico.

Para identificar se as causas de variação de um processo são comuns ou especiais, utilizam-se os gráficos de controle, construídos num sistema de coordenadas cartesianas ( gráfico 1 ). No eixo das ordenadas são identificados um valor médio e dois limites, um superior e outro inferior, aceitáveis para variações devido a causas comuns. Estes são fixados para uma variação de  $\pm 3$  desvios padrões em torno do valor médio. No eixo das abcissas são colocados os resultados encontrados em amostras seqüenciais.

Estes parâmetros, linha central e limites, identificam, no gráfico, duas zonas. A zona I, interior aos limites de controle, correspondê à zona de aceitação ou de controle, enquanto a zona II, exterior a estes limites, à zona de rejeição ou fora de controle.

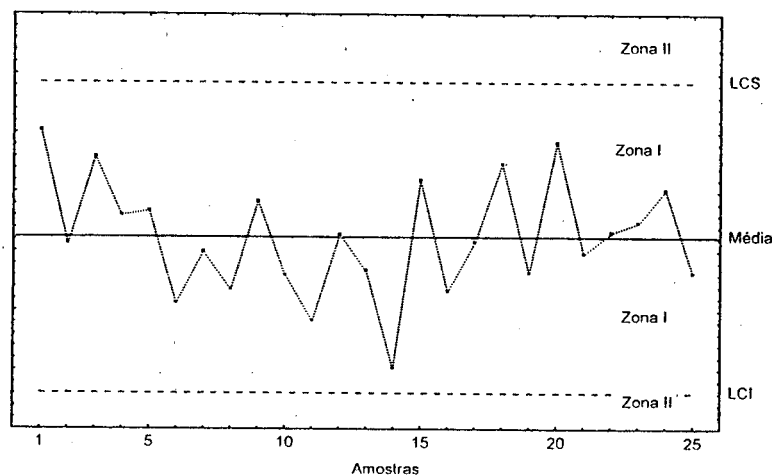


Gráfico 1 - Exemplo de gráfico de controle

Podem ser utilizadas linhas pontilhadas que facilitem a interpretação dos gráficos. Alguns autores aconselham a utilização de duas linhas situadas a  $\pm 1,5$  desvios-padrão do valor central, ou de quatro linhas situadas a  $\pm 1$  e  $\pm 2$  desvios-padrão do valor central.

Existem outras formas de apresentação de gráficos de controle. A mostrada aqui refere-se ao sistema americano, mais utilizado na prática. Existe, ainda, o sistema europeu, que considera, além de dois limites de controle situados a  $\pm 3,09$  desvios-padrão do valor médio, limites de advertência, situados a  $\pm 1,96$  desvios-padrão desse mesmo valor central.

Salienta-se que tais limites de controle não são os mesmos limites utilizados nas especificações, pois se referem a valores de medidas amostrais e não a valores individuais.

Para que os gráficos sejam construídos, é necessário que as características de qualidade sejam medidas. Para tal, podem ser utilizados diferentes tipos de escalas, qualitativas (nominal ou ordinal, ambas dicotomizadas) ou quantitativas (intervalar ou de razão). No primeiro caso a forma de medição da característica recebe a denominação de atributo, enquanto que, no segundo, de variável.

A escolha entre uma ou outra forma de medição vai depender da situação. As variáveis fornecem uma informação mais precisa a respeito da característica que estão representando, permitindo identificar a magnitude e o sentido do defeito, além de trabalhar com amostras menores. Seu emprego pode, entretanto, ser limitado pela dificuldade, demora e custo da medição. Os atributos são uma forma mais grosseira e menos precisa de medição, mas, de maneira geral, podem ser obtidos rapidamente.

#### 2.3.4 - Tipos de cartas de controle

Se for escolhida a forma de medição variável, as cartas usualmente plotadas são :

- Carta " $\bar{X}$  - R " - onde são registradas as médias amostrais, sendo a variabilidade do processo avaliada através da amplitude.

- Carta " $\bar{X}$  - S " - onde são registradas as médias amostrais, sendo a variabilidade do processo avaliada através do desvio-padrão ( estatisticamente considerado uma medida mais fidedigna ), sendo aconselhável para grandes amostras.

- Carta " R " - onde são registradas as amplitudes amostrais, sendo utilizada juntamente com a carta "  $\bar{X}$  - R ".

- Carta " S " - onde são registrados os desvios-padrões amostrais, sendo utilizada juntamente com a carta "  $\bar{X}$  - S ".

- Carta " Md - R " - onde são registradas as medianas amostrais, juntamente com suas amplitudes. Esta medida é fácil de ser determinada, não sofrendo a influência de dados atípicos.

- Carta para valores individuais - onde são registrados valores individuais de medição. Deve ser utilizada em situações especiais como processos com taxa de produção muito baixa ou com pouca variabilidade, testes destrutivos, etc, não sendo muito sensível a mudanças.

- Carta modificada - onde são registrados valores de médias amostrais, sendo utilizada quando o processo, embora apresentando grande variabilidade, satisfaz as especificações, não sendo necessária a sua centralização.

- Carta para a soma acumulada - onde são registrados valores de somas acumuladas. Pequenas mudanças na média podem ser identificadas facilmente, muito embora padrões sejam difíceis de serem identificados.

- Carta para médias móveis - onde são plotadas médias de médias amostrais, calculadas para períodos preestabelecidos. É eficiente para detectar pequenas mudanças na média.

- Carta para média móvel geométrica - onde são plotadas médias ponderadas de médias amostrais, calculadas para períodos preestabelecidos, sendo os pesos inversamente proporcionais à idade da amostra. Pode ser eficiente para detectar pequenas ou grandes mudanças, conforme o valor dos pesos.

- Cartas  $\bar{Z}$ - W - onde são plotados escores padronizados correspondentes a valores médios, sendo aconselhadas para corridas breves associadas a diferentes padrões.

- Cartas Z - W - onde são plotados escores padronizados correspondentes a valores individuais.

Para variáveis existe, ainda, a possibilidade de utilização do pré-controle, eliminando a necessidade de construção de cartas.

Podem também ser construídas cartas de controle que analisem o comportamento de várias variáveis simultaneamente. Elas são, entretanto, difíceis de trabalhar para mais de duas dimensões e eliminam a possibilidade de avaliação da seqüência temporal.

Se for escolhida a forma de medição atributo, podem ser plotados os seguintes tipos de gráficos :

- Carta " p " - onde são registradas as proporções ou frações de defeituosos ou não conformes em amostras de tamanho não necessariamente fixo.

- Carta " np " - onde são registradas as quantidades de exemplares defeituosos ou não conformes em amostras de determinado tamanho n.

- Carta " c " - onde é registrado o número de defeitos ou não-conformidades em amostras de determinado tamanho n.

- carta " u " - onde é registrado o número de defeitos ou não-conformidades por unidade produzida em amostras de tamanho não necessariamente fixo.

### 2.2.5 - Escolha de uma carta de controle

A escolha das cartas a serem utilizadas no controle de um processo dependem, inicialmente, da forma de medição das características de qualidade a serem monitoradas. As

cartas de controle para variáveis detectam defeitos mais rapidamente, são mais precisas e requerem amostras de menor tamanho. Muitas vezes, porém, é caro, demorado e trabalhoso fazer as medições.

Segundo RIBEIRO ( 1997 ), as cartas de controle para variáveis devem ser utilizadas quando:

- existe necessidade de monitorar novo produto ou novo processo, pois pouco se conhece a respeito deles;
- o processo apresenta problemas crônicos;
- existe necessidade de testes destrutivos;
- há dificuldade de identificação das causas da saída de controle do processo;
- o processo possui especificações muito rígidas e apresenta problemas de montagem;
- existe necessidade de decidir se ajusta ou não um processo ou se um *set up* está adequado;
- existe necessidade de monitorar mudança nas especificações;
- a estabilidade e exatidão do processo precisam ser continuamente comprovadas.

As cartas de controle para atributos devem ser utilizadas quando:

- cartas para variáveis não podem ser utilizadas;
- o sucesso é medido em termos de ocorrência ou não de não-conformidade;
- o operador tem fácil acesso às causas especiais;
- existe necessidade de um sumário histórico do problema para fins administrativos.

### 2.2.6 - Dinâmica das cartas de controle

As cartas de controle são utilizadas para identificar se um processo produtivo está ou não sob controle estatístico de modo a definir a necessidade ou não de ações corretivas, sendo aplicadas em um processo contínuo de melhoria.

Para a sua construção, depois de definir quais características devem ser monitoradas, em que ponto do processo, qual sua forma de medição, tamanho e intervalo das amostras, deve-se proceder à coleta de dados. A partir desses dados e de acordo com o gráfico



selecionado, devem ser calculados os limites de controle para o processo. Quando alguns pontos dos utilizados no cálculo dos limites de controle ficam fora dos limites, eles devem ser eliminados e suas causas pesquisadas. Novos limites revisados devem ser, então, calculados. A partir desse momento se inicia o monitoramento do processo.

Durante o monitoramento, os dados são continuamente coletados e plotados nas cartas. Se todos os pontos estão dentro dos limites definidos, diz-se que o processo encontra-se em controle estatístico, existindo apenas causas comuns como fonte para a variabilidade do processo. Se um ponto cai fora dos limites, tem-se uma provável indicação da presença de causas especiais. Também pode ser indicação da presença dessas causas especiais a ocorrência de determinados padrões em seqüências de pontos, tais como corridas e tendências. Essas indicações, sempre que detectadas, devem ser pesquisadas e eliminadas.

Se o processo está sob controle estatístico, sem a atuação de causas especiais, deve-se avaliar sua capacidade ou capacidade. A capacidade refere-se ao atendimento das especificações do produto. É possível serem utilizados índices, calculados pela comparação entre os limites de especificações e a dispersão do processo, que podem definir a capacidade potencial deste processo, que não leva em consideração o fato do processo estar centrado, assim como sua capacidade efetiva. Para alterar a capacidade de um processo produtivo deve-se atuar no sistema, mexendo em suas causas comuns. Tal alteração provavelmente reduzirá a variabilidade do processo, existindo necessidade de calcular novos limites de controle, o que poderá conduzir ao aparecimento de novas causas especiais.

A utilização das cartas de controle é um processo dinâmico.

## Capítulo 3

### Caracterização da empresa analisada

#### 3.1 - Considerações gerais

A olaria analisada situa-se na periferia da cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul. Quando de sua aquisição pelos atuais proprietários, há 23 anos, era uma empresa familiar, como a maioria das que hoje existem nas suas proximidades. Em função de sua excelente administração, desenvolveu-se, tornando-se a melhor empresa produtora de tijolos da região sul do estado, contando atualmente com uma capacidade produtiva de mais de 800.000 tijolos/mês. Atualmente a empresa tem, como objetivo, suprir as necessidades dos construtores da referida cidade e arredores, no que se refere a produtos cerâmicos utilizados na construção de alvenaria, mais especificamente, tijolos furados, produzindo vários tipos desse produto, à vista e comum, assim como blocos. Eles diferem entre si pelas dimensões, forma e quantidade de furos, além da qualidade da matéria-prima.

Atualmente a empresa desenvolve, em parceria com outras duas empresas da construção civil, sediadas em Pelotas, outros tipos de blocos cerâmicos a serem utilizados em um, também novo, sistema construtivo.

A empresa possui três setores bem definidos : administração, produção e manutenção, desenvolvendo suas atividades em um *lay out* adequado ( apêndice 1 ). As atividades da administração são desenvolvidas pelos proprietários, auxiliados por uma secretária. As

atividades de produção e de manutenção são desenvolvidas por uma quantidade bem maior de funcionários, sendo ambas supervisionadas diretamente pelos proprietários. Nestes setores os funcionários estão divididos em grupos de acordo com a função desempenhada existindo, em cada um deles, um supervisor.

Os grupos identificados no setor de produção foram :

- Grupo I - responsável pela extração da matéria prima e alimentação do processo;
- Grupo II - responsável pela preparação da argila e moldagem do produto;
- Grupo III - responsável pela movimentação do produto no chão da indústria, subdividido em outros grupos menores responsáveis pelo carregamento e descarregamento do produto nos carros transportadores e pela condução deles;
- Grupo IV - responsável pela alimentação dos fornos e estufa;
- Grupo V - responsável pela estocagem e entrega do produto ao consumidor.

O pessoal da manutenção é utilizado principalmente para consertar e/ou construir os carros transportadores e os estrados de madeira.

De acordo com a necessidade, pode existir remanejamento de funcionários de um grupo para outro. Estes, quase em totalidade do sexo masculino, são admitidos a partir de uma entrevista realizada por um dos proprietários, onde em geral, especificamente se investigam informações a respeito de empregos anteriores ( local, tempo de serviço, etc.), bem como informações pessoais ( local de moradia, tempo, etc.), não sendo exigida experiência anterior na função a ser desempenhada.

A empresa funciona com uma única equipe de trabalho, sendo seu horário o mesmo utilizado pela construção civil, ou seja, das 7:20h às 11:30h e das 13:30h às 18:00h, com intervalo de 15 minutos em cada turno para descanso e alimentação. Procedimento diferenciado é adotado com relação aos queimadores, com jornadas sucessivas, pois o trabalho é permanente. A disciplina é bastante rigorosa, não sendo permitidas conversas em excesso nem o uso de cigarros durante o expediente. A estabilidade na empresa é satisfatória, tendo em vista que existem funcionários trabalhando na empresa desde a sua fundação.

Procurando atender seus clientes da melhor forma possível, fornecendo-lhes um produto de qualidade e adequado às suas necessidades, a empresa tem investido maciçamente em tecnologia no setor produtivo.

Sua importância sócioeconômica está no suprimento das necessidades dos clientes, na geração de empregos diretos e indiretos, bem como nas contribuições fiscais.

### 3.2 - Sistema de produção

O sistema de produção avaliado segue, em linhas gerais, as etapas convencionais de produção de produtos cerâmicos : extração, formação da pasta, moldagem, secagem, queima e esfriamento. Para tal a matéria prima passa pelos seguintes equipamentos:

- retroescavadeira;
- pá carregadeira;
- esteira rolante;
- máquinas com desagregadores, cilindros e misturadores;
- máquina de feira;
- mesa de corte;
- carros transportadores tipo prateleira;
- estufa para secagem;
- carros transportadores motorizados;
- carros transportadores tipo queima;
- forno para pré cozimento;
- forno para cozimento;
- ventiladores.

Para a maioria dos produtos, a argila é retirada de jazida situada em local próximo à olaria. A extração é feita por retroescavadeira. Um operador retira o material da barreira e o deposita junto à linha de produção ( figura 7 ), alimentada por uma pá carregadeira. Existe um pequeno estoque de matéria-prima para ser utilizado quando o tempo está ruim e impede a extração . Para tijolos à vista, a argila é trazida de outro local.

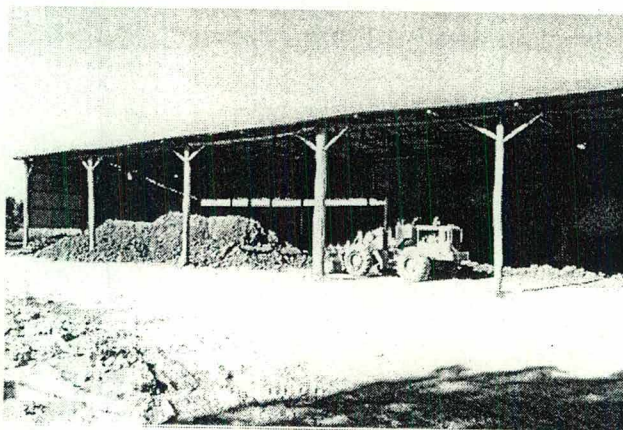


Figura 7 - Depósito de matéria prima.

O operador da pá carregadora é responsável pela alimentação do sistema de produção, colocando a matéria-prima em uma caixa de alimentação ( figura 8). Ao sair da caixa, o material passa por uma seqüência de máquinas e esteiras movimentadas por energia elétrica. A movimentação é controlada por um painel de controle ( figura 9 ) que dá informações a respeito de amperagem, geral e da maromba, e voltagem, possuindo botões que permitem ligar e desligar, individualmente ou seqüencialmente, cada máquina.

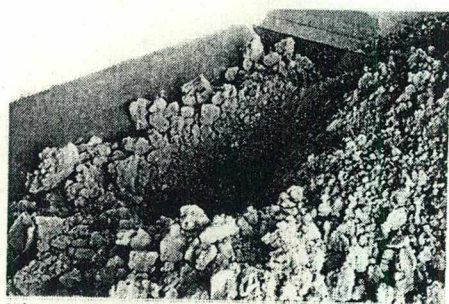


Figura 8- Caixa alimentadora

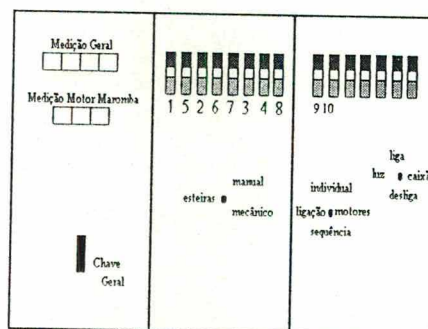


Figura 9 - Painel de controle das máquinas de moldagem

Inicialmente, por uma esteira rolante, o material é encaminhado a um desagregador que desmancha os seus torrões, largando-o em outra esteira rolante que o encaminha a um misturador ( figura 10 ), objetivando a homogeneização da matéria-prima. Sobre esta máquina existe uma tubulação com vários furos, controlados por um registro, que servem para adicionar água à mistura, a qual é levada por outra esteira rolante a um laminador para ser triturada por cilindros.



Nova esteira rolante a leva a uma maromba ( figura 11 ), cujo trabalho começa com um segundo misturador que cuidará da homogeneização da argila e da formação da pasta. Sobre ela existe outra tubulação com vários furos, controlada por um outro registro, para possibilitar nova adição de água ao processo, quando necessário.

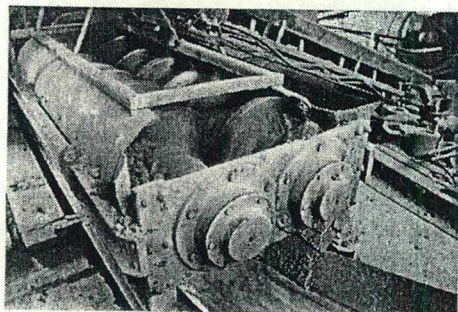


Figura 10 - Misturador

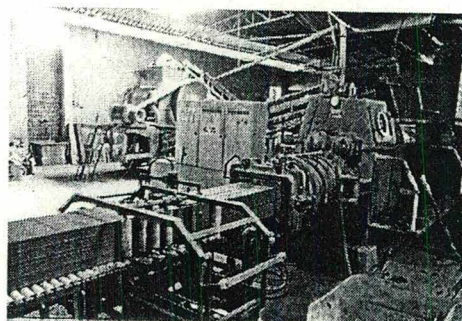


Figura 11 - Maromba

O controle da quantidade muito variável de água adicionada ao barro no misturador é feito por um prático. Já na maromba, o controle é feito pela leitura da amperagem mostrada no painel de controle, podendo variar de 0 a 300 A. A correlação entre as variáveis, teor de umidade da mistura e amperagem da máquina é inversamente proporcional, sendo o ideal trabalhar com uma amperagem de 270 A.

Na maromba, unido ao misturador, existe um compartimento onde está acoplada uma bomba de vácuo que retira todo o ar existente na mistura. Sua ação é regulável, podendo ser controlada por um medidor. A seguir, a mistura é encaminhada a uma máquina de fieira com irrigação de água aquecida, responsável pela moldagem e que, por extrusão, produz fitas contínuas de argila cujas dimensões e forma podem variar de acordo com o tipo de produto que está sendo produzido. A pressão de extrusão poderia ser medida por um aparelho que não está funcionando por não ser considerado importante pelo proprietário.

Na mesa de corte, as fitas produzidas podem ser seccionadas de diferentes maneiras. O tipo de máquina utilizada com maior frequência é horizontal e formada por um quadro metálico com fios de arame convenientemente afastados. As dimensões da fita e o espaçamento dos fios de arame dependem do tipo de tijolo que está sendo produzido. Na olaria estudada existe apenas uma linha de produção e as máquinas precisam ser adaptadas ao tipo de produto que se pretende produzir. A troca de máquinas na linha de produção acontece,



normalmente, fora da jornada de trabalho, objetivando não atrapalhar o processo produtivo e demora, aproximadamente, meia hora.

Até então, além dos manobristas, o processo depende de dois operadores que, além de controlar todas as máquinas, realimentam o processo, utilizando pás e carrinhos de mão, com material jogado para fora das máquinas.

Da mesa de corte os tijolos passam automaticamente para uma esteira rolante ( figura 12 ), sendo rapidamente avaliados pelos dois operadores das máquinas. Nesse momento, alguns produtos podem ser rejeitados e retirados da linha de produção por má formação e reaproveitados, sendo recolocados na maromba para nova moldagem.

Na seqüência, de acordo com o tipo de tijolo produzido, entre 3 e 6 homens ficam em torno da esteira retirando os tijolos e acondicionado-os em carrinhos transportadores tipo prateleira ( figura 13 ) que deslizam sobre trilhos e possuem 6 prateleiras onde os tijolos são cuidadosamente acomodados em uma ou duas camadas, dependendo de seu tamanho. Existem trilhos dos dois lados da esteira. Os carros são colocados, primeiramente do lado esquerdo da esteira, sendo seu lado direito preenchido e, em seguida, do lado direito, para que seu lado esquerdo seja preenchido.

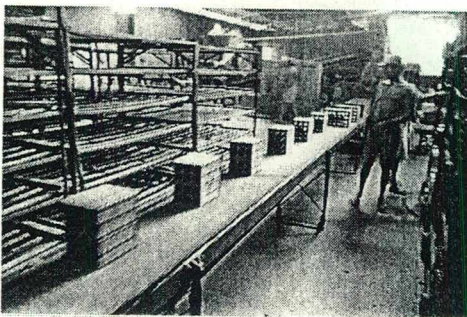


Figura 12 - Esteira rolante

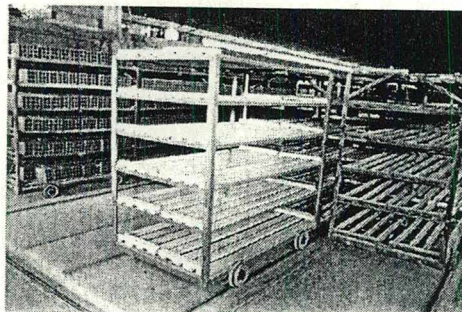


Figura 13-Carro transportador tipo prateleira

Um trabalhador é responsável pela movimentação dos carros e os leva, depois de cheios, sobre os trilhos, a uma estufa para secagem, onde permanecem entre 24 e 30 horas, aproximadamente. Na entrada, a estufa possui aproximadamente 3 metros de trilhos rolantes mecânicos para que não seja necessária a entrada do operador no ambiente, cuja temperatura



oscila entre 50°C e 60°C e é alimentada pelo calor do forno de queima, através de tubulações. Eventualmente é utilizada a secagem natural ( figuras 14 e 15 ) sem parâmetros de tempo pré-definidos.

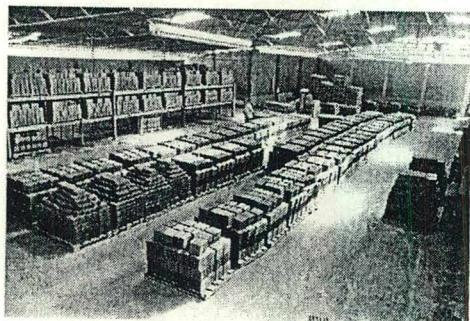


Figura 14 - Secagem natural

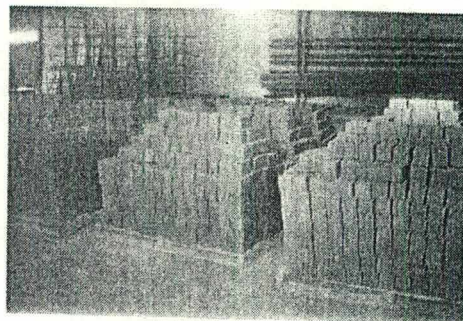


Figura 15 - Secagem natural

Depois da estufa os tijolos são retirados do carro e empilhados sobre estrados de madeira colocados ao lado dos trilhos, onde aguardam a queima ( figura 16 ). Um carro motorizado ( figura 17 ) leva as pilhas para junto de outros trilhos onde são colocados em carrinhos transportadores tipo queima ( figura 18 ), que resistem a altas temperaturas. Este segundo tipo de carro transportador não possui prateleiras. Os tijolos são empilhados cuidadosamente em várias camadas até uma altura de aproximadamente 1,60 m. Na primeira camada os tijolos são colocados afastados, formando túneis, que possibilitam a circulação do ar. Nessa etapa trabalham entre 4 e 6 carregadores de tijolos e um manobrista do carro motorizado.

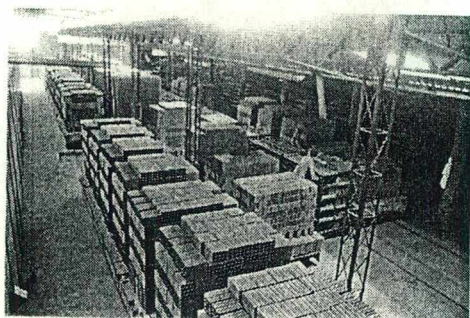


Figura 16 - Produto a ser queimado

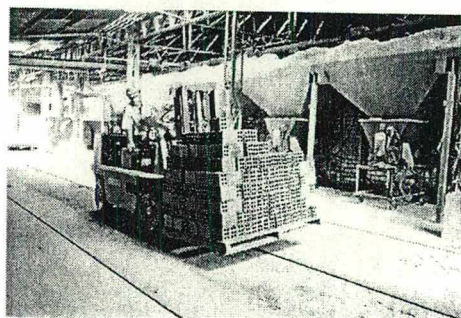


Figura 17 - Carro transportador motorizado



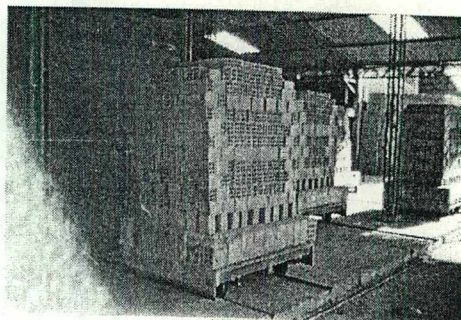


Figura 18 – Carro-queima ou vagoneta

Após a troca de carro, o produto é levado para o forno de pré-aquecimento, pois muitas vezes se encontra frio por ter secado naturalmente ou por já ter saído da estufa há algum tempo. Nesse forno, também aquecido com calor retirado do forno de queima por tubulações ( figura 19 ), é colocado um novo carro de meia em meia hora.

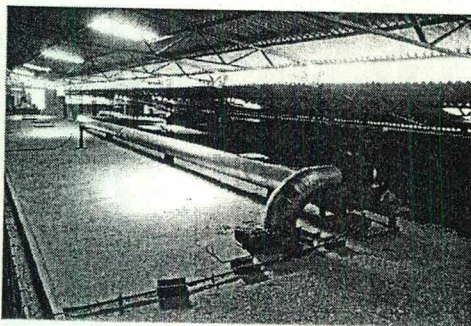
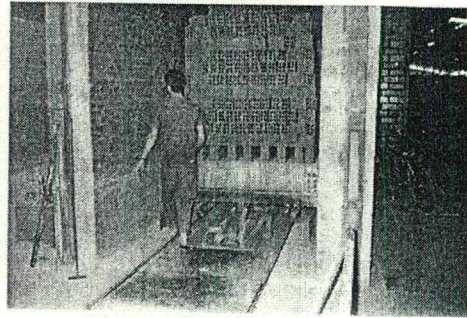
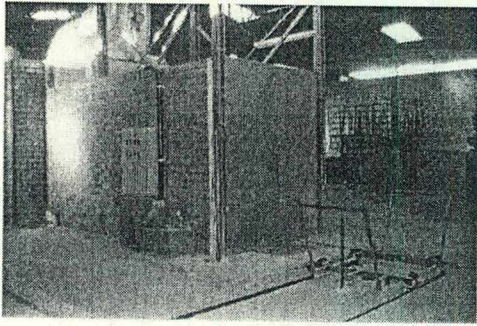


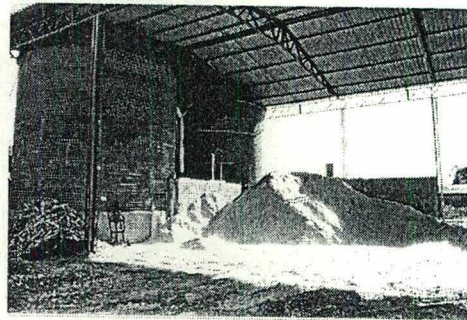
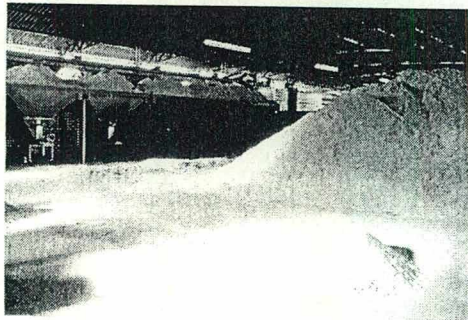
Figura 19 - Tubulações que transportam calor

Ao sair do forno de pré-aquecimento, é conduzido imediatamente para o forno de queima ( figuras 20 e 21 ), do tipo túnel ( apêndice 2 ), sendo alimentado pela queima de serragem ( figura 22 ). Ao lado do galpão onde funciona o setor de produção existem dois silos que armazenam a serragem ( figura 23 ) levada, por sucção, através de tubulações, até a parte central do forno onde existem, na parte externa, 12 caixas alimentadoras da fornalha. No início do forno a temperatura é baixa, em torno de  $70^{\circ}\text{C}$ , chegando a temperaturas entre  $850^{\circ}\text{C}$  e  $950^{\circ}\text{C}$  no centro e diminuindo, no fim, para temperaturas em torno de  $50^{\circ}\text{C}$ . A fim de amenizar as diferenças de temperatura interna e externa, o forno possui paredes duplas espaçadas aproximadamente 30 cm, sendo o espaço preenchido com terra. O teto também é duplo, existindo um bolsão de ar entre eles. Na parte externa central existe um mostrador digital que permite o conhecimento da temperatura interna em 18 pontos internos.





Figuras 20 e 21 - Entrada do forno de queima



Figuras 22 e 23 - Depósitos de serragem.

Cada carrinho permanece nesse forno entre 24 e 30 horas. Aproximadamente, de meia em meia hora, é colocado um novo carrinho no forno de queima. Para tal é necessário muito cuidado pois a abertura de sua porta implica em resfriamento do local. Para não prejudicar a queima do material já no forno, este apresenta, no local de entrada, duas portas, uma interna e outra externa. Fecha-se a porta interna, abre-se a porta externa. O carrinho entra, fecha-se a porta externa e aguarda-se, por alguns minutos, que a porta interna seja aberta. Para que isto possa ser executado sem prejudicar a queima, existe um painel com botões onde podem ser controlados o comportamento do pistão ( para frente ou para trás), o comportamento da porta ( sobe ou desce), o resfriamento rápido, o exaustor do reciclo, o exaustor de fumaça e a centralina.

Quando entra um novo carrinho no forno , outro é retirado e levado para um local onde aguarda para ser descarregado. Algumas vezes é utilizado um ventilador para ajudar no resfriamento do produto ( figura 24 ).



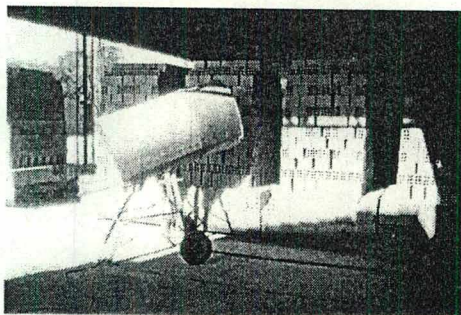
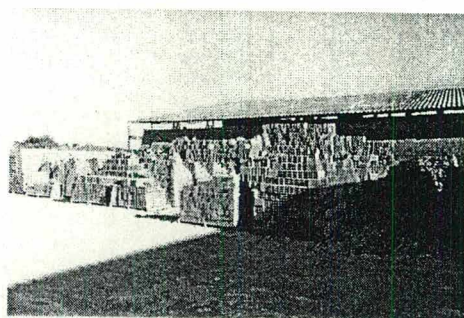
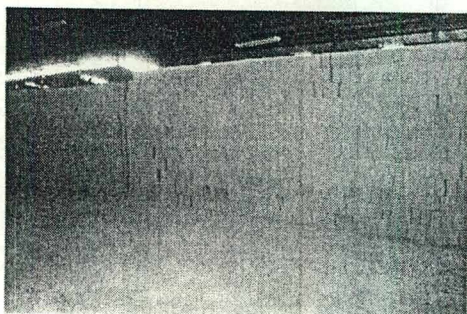


Figura 24 - Ventilador

Após isto, o produto é acomodado em um depósito ( figuras 25 e 26 ), onde aguarda o carregamento em caminhão.



Figuras 25 e 26 - Depósitos de produto acabado, respectivamente, interno e externo.

A olaria utiliza, como técnica de produção, o *just in time*, não trabalhando com grandes estoques de matéria-prima nem de produto acabado, sendo este último, muitas vezes, colocado no caminhão diretamente da vagoneta ( figura 27 ). A determinação do tipo de produto a ser confeccionado depende dos pedidos recebidos.

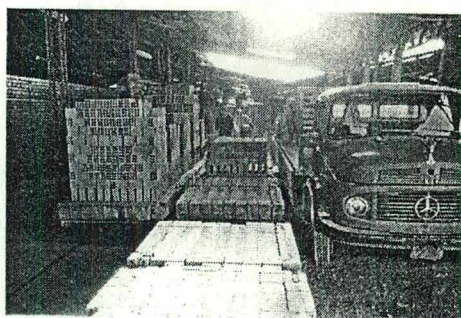


Figura 27 - Carregamento de produto acabado

### 3.3 - Sistema de comercialização

A empresa analisada atende não só as necessidades internas da cidade de Pelotas, como também de outros municípios da zona sul, além de exportar para o Uruguai. A comercialização, entretanto, é limitada pelo alto custo do transporte, determinado pela relação alto peso do produto x baixo valor unitário.

Esta comercialização acontece tanto de forma direta ( produtor - consumidor ), como de forma indireta ( produtor - vendedor - consumidor ). Na comercialização direta, os consumidores podem ser o proprietário final do imóvel, o investidor que constrói para revenda ou o construtor/investidor que se caracteriza por ser uma empresa construtora cujo objetivo é também a revenda. Na comercialização indireta, os intermediários são os revendedores de materiais de construção.

Os preços praticados pela empresa são competitivos no mercado.

## **Capítulo 4**

### **Implantação de um Controle Estatístico de Processo**

#### **4.1 - Introdução**

Para a identificação das variáveis e atributos a serem controlados pelo CEP foi realizada, primeiramente, a identificação de todas as características de qualidade relevantes para o produto sob o ponto de vista técnico, hierarquizadas por sua criticidade. Foram também identificadas as características relevantes sob o ponto de vista dos consumidores. Após, elas foram cuidadosamente avaliadas em uma amostra piloto, para a identificação, por diagramas de Pareto, dos tipos de defeito mais freqüentes. Pela criticidade e pela freqüência de ocorrência dos defeitos foram determinadas as variáveis e/ou atributos a serem monitorados.

O processo produtivo também foi cuidadosamente analisado com a identificação dos pontos de estrangulamento, limitadores da produtividade. As cartas de controle de qualidade foram aplicadas somente depois dessa cuidadosa análise.

#### **4.2 - Avaliação das características do produto final**

Considerando uma abordagem de qualidade centrada no produto, procedeu-se à investigação da incidência de problemas apresentados pelo produto final, de acordo com sua

forma de manifestação. Para tal, foram considerados como população amostrada todos os produtos em estoque no depósito da referida olaria, sendo estratificados pelo tipo de produto. Foram escolhidos aleatoriamente 8 estratos e, de cada estrato, como não existiam menos de 1.000 e nem mais de 30.000 tijolos de cada tipo em estoque, seguindo a normatização brasileira, foram extraídos pelo menos 13 elementos cuidadosamente identificados. O primeiro elemento de cada amostra foi escolhido aleatoriamente no depósito, com auxílio de uma tabela de números aleatórios, sendo os demais, consecutivos a ele.

Nessa amostra inicial foram avaliadas as seguintes características: ocorrência de fissuras, fendas, amassamentos, manchas e quebras, tonalidade, qualidade do som, planeza e esquadro das faces de assentamento, dimensões, espessura das paredes externas, teor e velocidade de absorção de água e resistência à compressão.

As avaliações das características de aparência foi realizada por simples observação, sendo os resultados expressos em termos de apresentar ou não apresentar o defeito. Em caso de ocorrência do defeito, existiu uma segunda avaliação para determinar se o defeito era relevante para que o produto fosse realmente rejeitado.

Para as características de planeza e esquadro das faces de assentamento e espessura das paredes externas foi usada régua metálica, esquadro metálico e paquímetro, sendo o produto classificado como estando ou não de acordo com as especificações.

As três dimensões: comprimento, altura e largura, foram determinadas individualmente, peça por peça, com auxílio de régua e esquadro metálico, sendo expressas em cm.

As avaliações das características referentes à resistência à compressão, teor e velocidade de absorção de água utilizaram equipamentos mais sofisticados, como balança de precisão, forno e prensa mecânica, com procedimentos definidos em norma. A resistência à compressão foi expressa em  $\text{Kgf/cm}^2$ , enquanto que a velocidade de absorção de água em  $\text{g/mm}^2/\text{min}$ . Já o teor de absorção de água, expresso em %, foi classificado como estando ou não de acordo com as especificações.

Considerando que toda mensuração está sujeita a um erro de medida e que o controle proposto é realizado em um conjunto de dados resultante de medições, foi feito, no primeiro subgrupo da amostra-piloto, um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade ( R&R ). Mesmo sabendo que é praticamente impossível eliminar o erro decorrente de uma medição, é consenso comum que se deve entendê-lo e defini-lo, para saber se está ou não dentro de limites aceitáveis, para que não prejudique a execução do trabalho a ser desenvolvido.

O critério utilizado para interpretar os resultados foi o mesmo empregado na indústria, onde é prática comum considerar satisfatório o sistema que apresentar R&R menor que 10% e insatisfatório o que apresentar R&R maior que 30%. Se o índice encontrado ficar dentro deste intervalo, o sistema pode ser aceito com algumas restrições.

Quando a medição das características de qualidade foi feita sob a forma de variável realizou-se, inicialmente, um estudo rápido de R&R, sendo a amostra avaliada duas vezes pelo mesmo operador para cada característica. Quando o resultado encontrado para este estudo rápido não foi satisfatório, realizou-se uma segunda avaliação, denominada estudo formal, onde dois operadores mediram duas vezes as mesmas características de cada peça.

Primeiramente foram avaliadas as características referentes a dimensões: comprimento, altura e largura, sendo aplicada a régua metálica graduada, com a precisão de 0,1cm. No estudo rápido foi constatada uma grande discrepância de resultados, sendo encontrados, para R&R, índices bem acima do aceitável, conforme mostram dados da tabela 9.

Tabela 9 - Resultados do primeiro estudo rápido de R&R para medidas relativas a dimensões.

Variável	Discrepância média	R%R (%)
comprimento	0,1154	87,64
largura	0,0769	58,43
altura	0,0731	55,51

Fonte : Análise estatística

Os resultados mostraram a necessidade de um estudo formal, para que fossem identificadas as causas de tanta variação. Os resultados encontrados pelo estudo formal, apresentados na tabela 10, mostram que a origem dos erros causadores de tanta variabilidade

está na repetitividade, indicando a necessidade de um treinamento entre os operadores e/ou a utilização de instrumentos mais precisos e/ou de leitura mais fácil.

Tabela 10 - Estudo formal de R&R para características relativas a dimensões.

Variável	discrepância média	R&R(%)	Repetitividade (%)	Reprodutibilidade(%)
comprimento	0,1231	93,98	98,97	1,03
largura	0,0846	64,65	98,82	1,18
altura	0,0904	69,47	97,71	2,30

Fonte : Análise estatística

Depois de alguns ajustes no processo de medição e treinamento dos operadores, novos estudos foram realizados. Os resultados, apresentados na tabela 11, mostram uma diminuição significativa de variabilidade considerada satisfatória para o estudo realizado, tendo em vista o pequeno intervalo admitido para as especificações em função do grau de precisão do instrumento utilizado na medição.

Tabela 11 - Resultados do segundo estudo rápido de R&R para medidas relativas a dimensões

variável	discrepância média	R&R (%)
comprimento	0,0385	29,21
largura	0,0308	23,37
altura	0,0308	23,37

Fonte: Análise estatística

Em seguida foram avaliados os resultados referentes às medições da espessura das paredes, realizadas com o auxílio de um paquímetro. Cada operador deveria medir, com o referido instrumento, a espessura da parede visualmente mais fina. No estudo rápido foi encontrado, para R&R, o valor 80,27%, revelando também, a inadequação do sistema de medição utilizado. Um estudo formal foi realizado e encontrado, para R&R, o valor 74,01%, dos quais 96,37% foram devido à repetibilidade e 3,62%, à reprodutibilidade. Prosseguiu-se, então, com uma avaliação dos procedimentos utilizados, com a alteração da padronização de alguns, como, por exemplo: em vez de medir a espessura da parede visualmente menor, medir todas, registrando o menor valor encontrado. Além de um treinamento geral dos operadores, foi também recomendado que fossem utilizadas travas de segurança para impedir deslizamento da escala do paquímetro, e lupa para facilitar a leitura. Os novos resultados conduziram a um R&R de 2,51%, altamente satisfatório.



Após, foi realizada avaliação referente ao sistema de medição da razão inicial de absorção de água, que utiliza estufa para secagem e balança para pesagem, além de usar informações a respeito das dimensões da peça. Como não existem especificações definidas em norma para esta característica, optou-se por definir o intervalo de especificação necessário para que o sistema de medição apresente R&R igual a 20%. O resultado encontrado para a amplitude desse intervalo, por um estudo rápido, foi de 26,73 g/mm<sup>2</sup>/min.

Outra forma de medição analisada foi a determinação do teor de absorção de água. A técnica empregada para tal utiliza forno para secagem do produto e balança para pesagem, com precisão de 0,1g. Os resultados encontrados levaram, por um estudo rápido, ao valor de 3,97% para R&R, o que é altamente satisfatório.

A resistência à compressão não pôde ser objeto de estudo desta análise por utilizar ensaio destrutivo.

Para as características avaliadas sob a forma de atributos, foi feito um estudo de consistência e uniformidade de critérios de julgamento pela avaliação da discrepância de resultados fornecidos por dois ou mais operadores, em duas ou mais oportunidades.

As características: fissuras, fendas, manchas, quebras, amassamentos, som, cor e planeza apresentaram um grau de discrepância de 0%, enquanto que a de esquadro, 20%. Isto talvez tenha acontecido porque, como a maioria destas características é avaliada pela simples observação visual, tenha-se tido maior cuidado na padronização de critérios utilizados.

Somente depois da padronização dos procedimentos e técnicas de medição neste primeiro subgrupo é que foram realizadas as demais medições. De acordo com os resultados dessas medições foi possível então, a identificação da ocorrência de defeitos, classificados em críticos, maiores e menores ( tabela 12 ). De acordo com PALADINI ( 1995 ), defeitos graves ou críticos são defeitos que impedem a utilização do produto para o fim a que se destina; defeitos maiores são os que diminuem a vida útil dos produtos afetando sua eficiência e defeitos menores não atingem o desempenho do produto na sua função essencial.

Tabela 12 - Ocorrência de defeitos, de acordo com sua criticidade.

defeitos	ocorrência	%
menores	133	78,70
maiores	036	21,30
críticos	-	-
total	169	100,00

Fonte: levantamento de dados

As 11 características avaliadas em termos de produto satisfatório ou insatisfatório, nos 107 produtos da amostra inicial, forneceram 1177 informações, sendo encontradas apenas 168 positivas à ocorrência de defeitos. Destes, 78,70% foram considerados menores e 21,30%, maiores, não sendo encontrados defeitos críticos.

Realizou-se, então, a análise dos defeitos maiores por meio de tabelas e diagramas de Pareto, classificados por tipo de defeito ( tabela 13 e gráfico 1 ) e por tipo de produto ( tabela 14 e gráfico 2 ).

Os dados da tabela 13 e gráfico 1 evidenciam que a maioria dos defeitos considerados maiores são fissuras e fendas. Organizando ações corretivas para os mesmos, conseguir-se-ia eliminar 75% dos defeitos maiores.

Tabela 13 - Ocorrência de defeitos maiores, por tipo de defeito.

Tipo de defeito	F	F acumulada	%	% acumulada
fissuras	22	22	61.11	61.11
fendas	05	27	13.89	75.00
esquadro	04	31	11.11	86.11
planeza	03	34	08.33	94.44
amassamentos	02	36	05.56	100.00

Fonte : planilhas de registro de dados

Os dados da tabela 14 e do gráfico 3 mostram que estes defeitos ocorrem com maior frequência nos produtos maiores. Para eliminar 77,78% deles, ter-se-ia que organizar ações corretivas em 4 categorias. Isto indica que, para eliminação de defeitos maiores, é preferível organizar ações corretivas de acordo com o tipo de defeito.

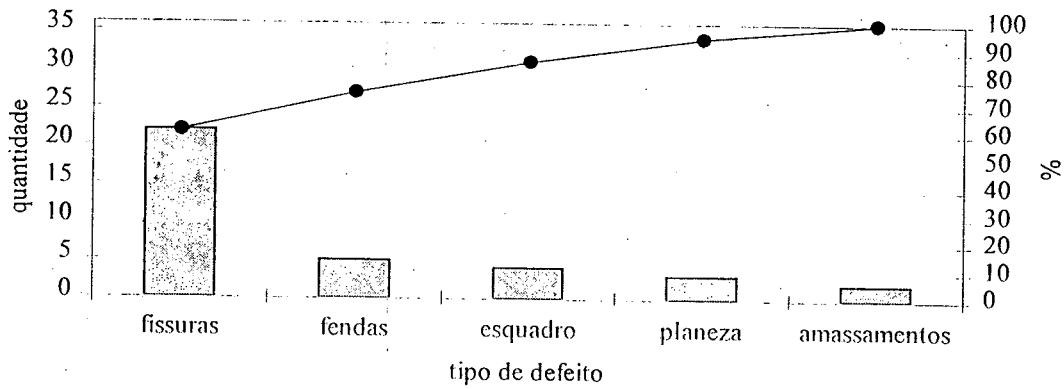


Gráfico 2 - Diagrama de Pareto para identificação dos defeitos maiores, por tipo de defeito.

Tabela 14 - Ocorrência de defeitos maiores, por tipo de produto.

Tipo de produto	F	F acumulada	%	% acumulada
10 furos	12	12	33.34	33.34
12 furos	07	19	19.44	52.78
8 furos	05	24	13.89	66.67
1/2 de 8 furos	04	28	11.11	77.78
21 furos	03	31	08.33	86.11
6 furos quadrados	03	34	08.33	94.44
6 furos redondos	02	36	05.56	100.00

Fonte : Planilhas de registro de dados

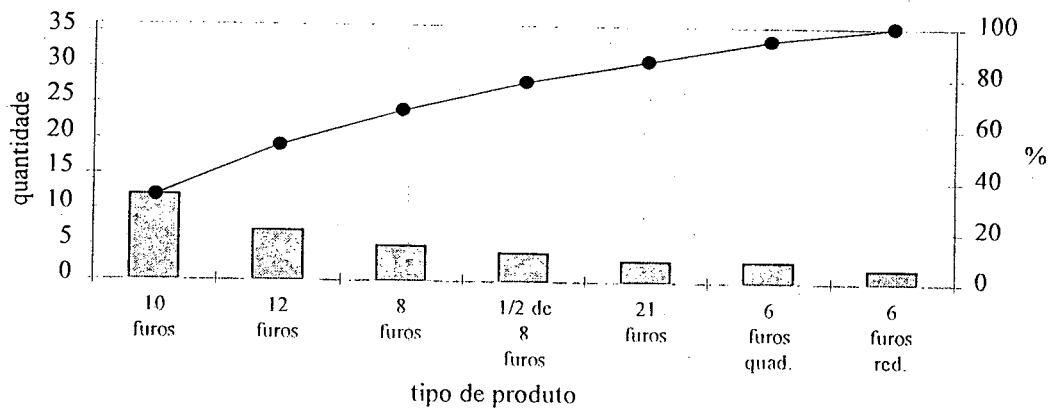


Gráfico 3 - Diagrama de Pareto para identificação dos defeitos maiores, por tipo de produto.

Esta mesma análise foi realizada também para os defeitos considerados menores, sendo os resultados apresentados nas tabelas 15 e 16 e gráficos 4 e 5.

Os dados mostram que os 133 defeitos menores estão mais distribuídos. Para eliminar 75,19% desles, de acordo com tabela 15 e gráfico 4, seriam necessárias ações corretivas que diminuíssem o número de amassamentos, melhorassem a qualidade do som e diminuíssem o número de manchas, ou seja, existiria necessidade de mexer em 3 categorias.

Tabela 15 - Ocorrência de defeitos menores, por tipo de defeito.

Tipo de defeito	F	F acumulada	%	% acumulada
Amassamentos	47	47	35.34	35.34
som	31	78	23.31	58.65
manchas	22	100	16.54	75.19
quebras	18	118	13.53	88.72
fissuras	15	133	11.28	100.0

Fonte : Planilhas de registro de dados

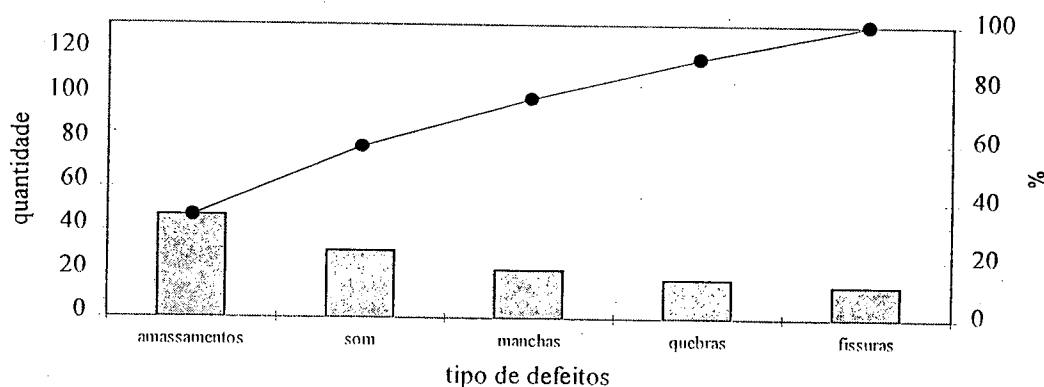


Gráfico 4 - Diagrama de Pareto para identificação de defeitos menores, por tipo de defeito.

Se as ações fossem direcionadas de acordo com o tipo de produto, conforme tabela 16 e gráfico 5, para eliminação de percentagem aproximadamente igual dos defeitos (75,18%), ter-se-ia que mexer em 5 tipos de produtos. Novamente conclui-se que, para eliminação desses defeitos, é melhor organizar ações corretivas de acordo com o tipo de defeito.

Tabela 16 - Ocorrência de defeitos menores, por tipo de produto.

Tipo de produto	F	F acumulada	%	% acumulada
12 furos	28	28	21.05	21.05
10 furos	21	49	15.79	36.84
2 furos	18	67	13.53	50.37
8 furos	17	84	12.78	63.15
6 furos redondos	16	100	12.03	75.18
6 furos quadrados	14	114	10.53	85.71
21 furos	12	126	09.02	94.73
1/2 de 8 furos	07	133	05.27	100.00

Fonte : Planilha de registro de dados.

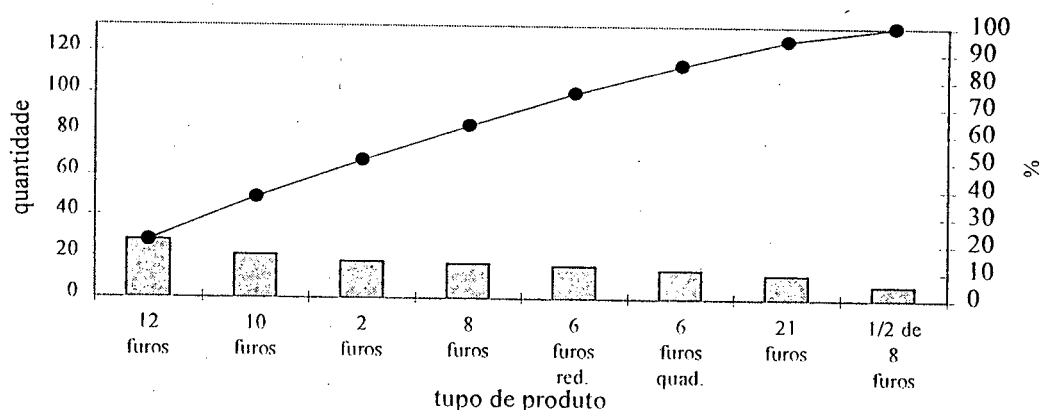


Gráfico 5 - Diagrama de Pareto para identificação de defeitos menores, por tipo de produto.

As características: dimensões, resistência à compressão e velocidade de absorção de água foram objeto de outro tipo de análise.

Os resultados encontrados para as dimensões ( comprimento, altura e largura ), transformados em medidas estatísticas, por tipo de produto, são apresentados na tabela 17, juntamente com a denominação e medidas mais próximas definidas na norma brasileira. Os resultados indicam que, se fossem consideradas as especificações da norma brasileira, muitos produtos seriam rejeitados.

As dimensões médias de cada uma das amostras foram comparadas com as dimensões nominais esperadas, através da prova estatística de Student, sendo constatado que todas as dimensões, de todos os produtos, apresentam média significativamente maior ou menor

(  $p < 0,01$  ) que a esperada. Esses resultados conferem com ANTUNEZ ( 1990 ) que realizou estudo em várias olarias da cidade de Pelotas. Se for considerada a função principal do produto, entretanto, este fato não tem a menor importância, desde que não exista muita variabilidade no produto final. Seria aconselhável a definição e divulgação da centralização do processo, não só a nível de empresa como a nível regional.

Pela norma brasileira, de acordo com o resultado da avaliação de uma outra característica de qualidade: a resistência à compressão, o produto é enquadrado em uma categoria e, de acordo com este enquadramento, são definidas as suas possíveis utilizações. Os resultados dos ensaios realizados, apresentados na tabela 18, mostram os valores médios encontrados em cada sub-grupo analisado com sua respectiva variabilidade, valores máximos, valores mínimos e classe de enquadramento.

Nenhum grupo foi enquadrado na pior classe, de acordo com o valor médio, que exige uma resistência mínima à compressão de 1,0 MPa, assim como nenhuma peça individual apresentou resistência inferior a este valor. Algumas peças, entretanto, apresentaram resistência compatível com classe anterior ou posterior à correspondente ao valor central. Salienta-se, ainda, que esta característica é determinante para a utilização da peça, sendo do tipo " maior é melhor ".

Com relação à velocidade de absorção de água, conforme já mencionado anteriormente, não existe ensaio definido em norma brasileira. Os resultados encontrados, de acordo com a norma americana, são apresentados na tabela 19, em termos de valores médios, máximos, mínimos e desvio-padrão.

Embora não existam especificações para a característica citada, tecnicamente é aconselhável conhecê-la para definição da qualidade dos materiais utilizados em seu revestimento ou proteção. Tal necessidade se torna mais evidente em blocos a serem utilizados em alvenaria a vista.

Tabela 17 - Resultados das dimensões nominais e reais, fornecidas em cm.

Popular	Denominação		dimensões nominais			
	norma L x H x C (cm)	norma L x H x C (cm)	estatísticas	L (cm)	H (cm)	C (cm)
12 furos	15x20x25	14x19x24	Média	15,00	19,54	23,48
			Desvio-pad.	0.20	0.21	0.21
			Valor min.	14.60	19.20	23.00
			Valor máx.	15.25	19.85	23.80
			t calc.	+18.70	+9.62	-9.26
10 furos	12.5x25x25	11.5x24x24	Média	11.35	23.77	23.69
			Desvio-pad.	0.08	0.08	0.18
			Valor min.	11.25	23.65	23.40
			Valor máx.	11.50	23.90	24.00
			t calc.	-6.49	-9.96	-5.97
8 furos	10x20x25	9x19x24	Média	9.48	19.25	23.53
			Desvio-pad.	0.10	0.07	0.08
			Valor min.	9.30	19.15	23.35
			Valor máx.	9.65	19.35	23.65
			t calc.	+16.62	+12.37	-20.35
1/2 de 8furos	10x20x12.5	9x19x11.5	Média	10.28	20.05	14.06
			Desvio-pad.	0.08	0.05	0.07
			Valor min.	10.15	19.95	13.95
			Valor máx.	10.40	20.10	14.15
			t calc.	+55.45	+72.73	+126.68
6 furos quad.	10x15x20	9x14x19	Média	10.00	14.81	18.75
			Desvio-pad.	0.07	0.07	0.25
			Valor min.	9.90	14.70	19.10
			Valor máx.	10.20	14.90	18.40
			t calc.	+49.48	+40.08	-3.46
6 furos red.	10x15x20	9x14x19	Média	8.81	12.88	17.79
			Desvio-pad.	0.05	0.09	0.17
			Valor min.	8.70	12.75	17.50
			Valor máx.	8.90	13.00	18.00
			t calc.	-13.70	-44.87	-25.66
21 furos	maciço	9x5.7x19	Média	10.36	5.52	22.84
			Desvio-pad.	0.10	0.12	0.09
			Valor min.	10.20	5.30	22.70
			Valor máx.	10.50	5.75	23.00
			t calc.	+47.11	-5.19	+147.80
2 furos	maciço	9x5.7x19	Média	10.71	5.80	21.89
			Desvio-pad.	0.09	0.08	0.20
			Valor min.	10.60	5.70	21.50
			Valor máx.	10.85	5.95	22.20
			t calc.	+68.50	+4.95	+52.10

Fonte : Planilha de registro de dados e análise estatística

Tabela 18 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão, fornecidos em kgf/cm<sup>2</sup>.

produto	quantidade (un.)	face de assentamento	valor mínimo	valor médio	valor máximo	Desvio-padrão	amplitude	classe
12 furos	8	maior	18,22	26,83	33,87	6.12	15,65	25
	7	menor	13,02	19,98	26,71	4.90	13,69	15
10 furos	7	maior	30,59	35,2	40,06	3.41	9,47	25
	6	menor	17,59	25,25	31,78	4.68	14,19	25
8 furos	7	maior	28,69	35,65	41,42	4.29	12,73	25
	6	menor	24,98	30,06	41,93	6.51	16,95	25
1/2 de 8 furos	13	maior	25,65	51,36	66,34	12.48	40,69	45
6 furos quad.	13	maior	20,45	40,23	60,26	12.07	39,81	25
6 furos red.	7	maior	33,74	46,80	56,50	7.61	22,76	45
	7	menor	28,88	35,06	46,16	6.33	17,28	25
21 furos	12	maior	68,13	105,04	137,97	21.65	69,83	100
2 furos	14	maior	16,99	36,40	51,20	9.29	34,21	25

Fonte : Planilha de registro de dados e análise estatística

Tabela 19 - Resultados do ensaio de velocidade de absorção de água fornecidos em (g/mm<sup>2</sup>/min. ).

Produto	quantidade	valor mínimo	valor médio	valor máximo	desvio-padrão
12 furos	15	0.5405	0.9153	1.1105	0.1410
10 furos	13	0.5330	0.6977	0.8138	0.0804
8 furos	13	0.8408	1.0224	1.1937	0.0845
1/2 de 8 furos	13	0.5999	0.9664	1.5210	0.2461
6 furos quad.	13	0.6143	0.7396	0.9233	0.0930
6 furos red.	14	0.7342	0.9263	1.1291	0.1093
21 furos	13	0.6620	0.7628	1.0322	0.1100
2 furos	14	0.8740	1.0878	1.3850	0.1447

Fonte : Planilha de registro de dados e análise estatística

### 4.3 - Avaliação das necessidades do consumidor

Para avaliar a criticidade dos defeitos encontrados, além de considerações técnicas, a avaliação da qualidade foi enfocada dentro de uma abordagem centrada no consumidor. Foram consideradas as necessidades e desejos dos consumidores com relação ao produto analisado, obtidas em de entrevistas semi-estruturadas. Dos subtítulos Construção Civil,



Arquitetos, Engenharia - Empresas e Engenheiros Civis das páginas amarelas da lista telefônica de 1996 da cidade de Pelotas, foram sorteados aleatoriamente 15 profissionais que, ao serem contactados por telefone, responderam à seguinte indagação : " O que você leva em consideração para escolher os tijolos a serem utilizados na execução de suas obras? ". As características apontadas por um maior número de profissionais foram: aparência visual, ( abrangendo cor, fissuras, fendas, quebras, manchas, etc.), regularidade de dimensões e resistência à compressão, no caso de utilização com função estrutural.

Nessa sondagem foi constatada também uma postura paradoxal em relação à característica preço : alguns a ignoraram, muito embora outros a tenham considerado fundamental, pois respondiam : "Além do preço, é claro, ....".

Dois dos engenheiros entrevistados, clientes da olaria analisada, foram ao depósito dela para fazer uma avaliação subjetiva do produto. Ambos afirmaram que o produto tinha um aproveitamento de praticamente 100 %; embora apresentasse algumas pequenas falhas, elas não eram relevantes em função da pouca frequência de ocorrência.

#### **4.4 - Avaliação do sistema produtivo**

Enfocando qualidade com uma abordagem centrada no processo de fabricação, realizou-se também, uma avaliação do sistema produtivo. Inicialmente fez-se uma rápida análise do *lay out* da fábrica ( apêndice 1 ), não sendo detectado nenhum problema grave que impedisse o bom andamento do fluxo produtivo.

Após, foi feita uma avaliação da capacidade produtiva do processo com a identificação de possíveis gargalos, iniciada com a divisão do referido sistema em seis etapas, a saber :

- extração da matéria-prima;
- alimentação do processo;
- purificação da matéria-prima e moldagem do produto;
- secagem;
- pré-aquecimento e queima;

- estocagem ( gráfico 6 ).

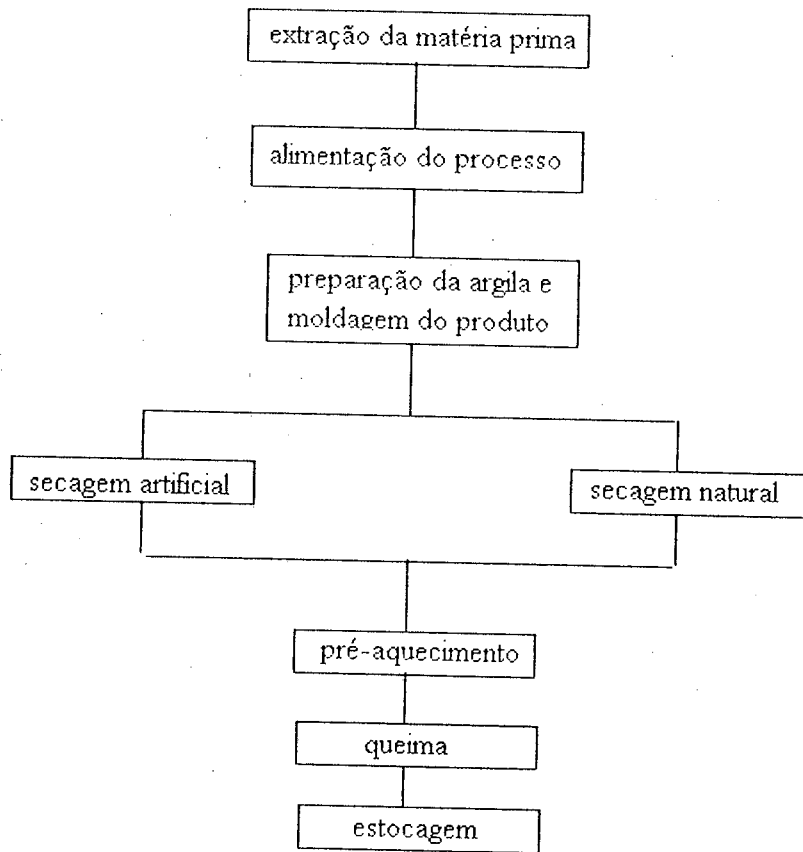


Gráfico 6 - Etapas do processo produtivo analisado para fins de avaliação de capacidade produtiva.

A extração da matéria-prima é feita em barreira situada próxima ao local de processamento do produto, não apresentando maiores problemas, a não ser em períodos muito longos de chuvas intensas, quando o acesso às barreiras fica impedido.

A alimentação do sistema, feita através de uma pá carregadeira, apresenta capacidade ociosa, tendo em vista que seu operador, com bastante freqüência, abandona o posto para executar outras atividades, sem que isto prejudique o andamento do processo.

A preparação da argila e moldagem do produto demora em torno de 30 a 45 minutos. A capacidade produtiva da etapa é bastante variável e depende do tipo de produto que está

sendo moldado. A partir de dez medições de diferentes produtos esta quantidade foi estimada em 16,95 carros-prateleira/hora, correspondendo a 746 carros-prateleira/semana.

A maioria desses carros-prateleira são conduzidos a uma estufa, para secagem artificial, com capacidade para 120 carros-prateleira. Ali permanecem entre 24 e 30 horas. Para efeito de cálculo foram consideradas 27 horas. Esta demora permite a secagem de 746 carros-prateleira/semana. A estufa consegue praticamente absorver toda a produção da etapa anterior; entretanto, quando isto não acontece, é utilizada a secagem natural, que não impede o andamento normal do processo, pois existe espaço suficiente com capacidade ociosa.

Para a próxima etapa o produto é acondicionado em outro tipo de carro de maior capacidade, aproximadamente 119% a mais, encaminhado a um forno de pré-aquecimento, com capacidade de 15 carros, onde permanece por, aproximadamente, 6,25 horas, propiciando uma capacidade de 403 carros-queima/semana que equivalem a 883 carros-prateleira/semana. Seqüencialmente o produto passa ao forno de queima com capacidade de 71 carros-queima, aí permanecendo por, no mínimo, 30 horas, o que lhe confere a mesma capacidade do forno de pré-queima.

De acordo com esta análise, o gargalo do processo é a terceira etapa, que realiza atividades de preparação da argila e moldagem do produto. Conforme já mencionado anteriormente, esta linha de produção é utilizada para todos os diferentes tipos de blocos cerâmicos, bastando, para isso, trocar os equipamentos responsáveis pela moldagem do produto : a boquilha da máquina de fiação acoplada à maromba e a mesa de corte. O processo pode ser interrompido intencionalmente na etapa, por um tempo médio de 20 minutos, para troca de equipamento, sendo usual realizá-la fora da jornada de trabalho. Essa fase foi identificada como crucial para o funcionamento do processo produtivo e determinante da produtividade.

A terceira etapa utiliza uma grande quantidade de máquinas que necessitam de manutenção, sendo algumas peças substituídas periodicamente ( tabela 20 ). O desgaste das peças interfere no bom andamento do processo, sendo constatada a necessidade de determinação do momento adequado de substituir cada uma delas.

Tabela 20 - Vida útil de peças das máquinas de purificação e moldagem da argila

máquina	peça	vida útil
caixão alimentador	correntes laterais da esteira ( taliscas )	5 anos
desintegrador	réguas ou facas do cilindro	3 anos
laminador	camisa do cilindro	3 anos
misturador	pás do misturador	6 meses
maromba	pás do misturador	6 meses
	hélice de pré extrusão	6 meses
	facas picotadoras ou dentes	6 meses
	pás de alimentação	6 meses
	hélice de extrusão ( caracol )*	6 meses

\* peça que mais interfere na qualidade final da moldagem, segundo o produtor

Outro ponto identificado como crítico para o processo produtivo foi o forno de queima, cujo calor também é utilizado para aquecimento do forno de pré-queima e da estufa de secagem do material. Considerado fundamental para a qualidade do produto final, tem a temperatura controlada em 9 pontos, não sendo, entretanto, realizada nenhuma análise técnica dos dados registrados.

O processo possui também três pontos de inspeção de produtos. O primeiro deles se situa na saída da mesa de corte; o segundo, no instante do carregamento do segundo carro transportador utilizado durante a pré-queima e queima; o terceiro, na saída do forno de queima, não existindo, entretanto, registro do que está sendo feito. No primeiro ponto, o produto pode ser retrabalhado, enquanto nos outros dois é simplesmente refugado, sendo a quantidade de retrabalho muito superior a de refugos.

Uma pequena falha identificada nesse processo produtivo foi a forma como o produto retirado da linha de produção, no primeiro ponto de inspeção, retorna ao processo, indo diretamente para a maromba, sem passar pelas demais máquinas. O procedimento provoca, muitas vezes, a ocorrência de dois outros problemas: a falta de homogeneização da mistura na hora da extrusão e o entupimento do compartimento de vácuo da maromba em função do

excesso de material. A situação foi contornada pela colocação de uma esteira rolante que conduz o produto do local de inspeção até o local de alimentação do processo.

Outra falha detectada com relativa frequência foi a falta de ajustamento entre o comprimento da fita da máquina de fiação e a mesa de corte. É bastante usual perder-se sempre a primeira fatia do corte. O pequeno problema, assim que detectado, foi contornado. Em uma das mesas de corte, entretanto, não foi possível um ajuste perfeito, sendo a primeira fatia deixada o mais fina possível, rolando pela esteira até cair em um carrinho de mão que, quando cheio, é esvaziado diretamente na esteira que leva os rejeitados para o ponto de alimentação do processo.

Convém salientar ainda a ineficiência, de maneira geral, da secagem natural, muito embora seja utilizada em pequena parcela da produção, pois permite, muitas vezes, o aparecimento de fissuras e empenamento.

#### **4.5 - Parâmetros do processo que podem afetar as variáveis identificadas**

A análise realizada nas características do produto final, com os diagramas de Pareto, identificou a ocorrência de fissuras e fendas como defeitos maiores de maior incidência, concordando com parecer técnico no que se refere à criticidade. De acordo com as necessidades do consumidor, foram identificadas as dimensões e a resistência à compressão, esta última quando existir necessidade de função estrutural.

A ocorrência de fissuras está relacionada à composição química da argila e, principalmente, à forma de eliminação da água presente no produto. Impurezas como carbonato de cálcio e compostos sulfurosos facilitam a sua ocorrência e uma rápida elevação ou diminuição da temperatura ocorrida durante a secagem, pré-queima ou queima, que pode levar à contração desuniforme.

A ocorrência de fendas está ligada ao diâmetro das partículas que compõem a matéria prima, assim como também, à presença de impurezas na argila. Elas dependem da qualidade

da matéria prima e da qualidade de sua purificação que acontece nos desagregadores, misturadores e laminadores. Este problema, entretanto, só consegue ser detectado na hora da moldagem, pelo entupimento da boquilha.

As dimensões do produto são definidas pelas dimensões da boquilha e pelo espaçamento dos arames da mesa de corte. Sofrem também grande influência da quantidade de água existente no produto, que é eliminada durante a secagem e queima, ocasionando a sua contração.

A resistência à compressão é a variável que é influenciada por uma maior quantidade de outras variáveis e parâmetros. Depende da composição química da argila, da presença de impurezas, de sua plasticidade e porosidade, da secagem e da queima, da moldagem do produto ( retirada de ar e pressão de extrusão ), das dimensões do produto, da face de assentamento, da presença de fissuras e fendas, etc.

Das 4 características identificadas, três ( fissuras, dimensões e resistência à compressão ), são, então, bastante influenciadas pelas variações da temperatura, o que mostra a necessidade de monitoramento deste parâmetro do processo produtivo. O produto é influenciado pela temperatura na estufa de secagem e nos fornos de queima e pré-queima. O aquecimento da estufa de secagem e do forno de pré queima é feito pelo calor do forno de queima, logo, se este estiver sob controle os outros também estarão.

A outra característica está relacionada ao processo de moldagem que foi identificado como um ponto de estrangulamento do processo produtivo, logo, alguns de seus parâmetros, tais como, ineficiência produtiva, refugos e tempo e número de interrupções do processo deveriam ser controlados.

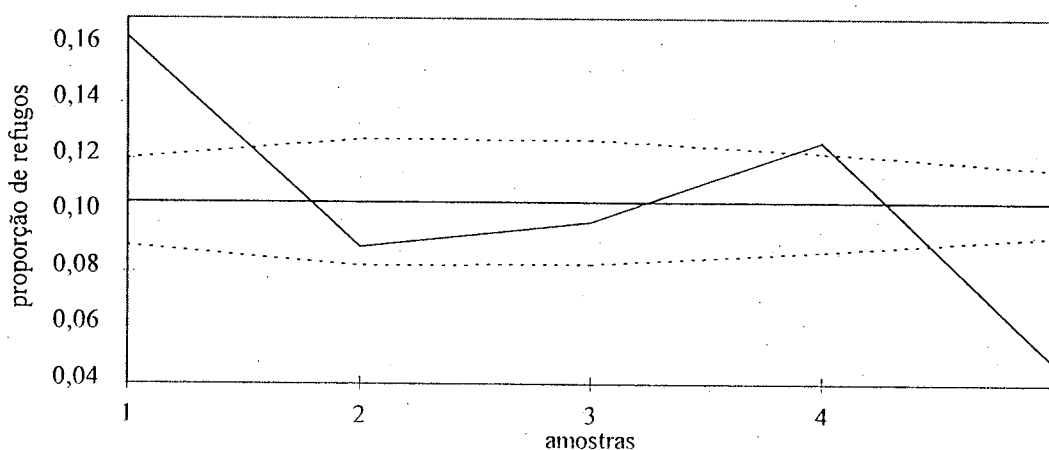
#### **4.6 - Operacionalização e interpretação das cartas de controle**

Para monitorar a qualidade do processo de moldagem, a observação foi realizada durante uma hora, em dois diferentes dias da semana, sendo registrados durante os primeiros

30 minutos, a quantidade produzida e, durante os outros 30 minutos, a quantidade de refugos. Depois de 5 períodos de observação, a nível de sondagem, foi construída a primeira carta p ( gráfico 7 ), onde p representa a relação entre a quantidade de refugos e a quantidade produzida, ou seja,

$$p = \frac{x}{n}$$

onde: x = quantidade de refugos  
n = quantidade produzida.



LCI = variável

LC = 0,1044

LCS = variável

Gráfico 7 - Carta de controle para monitoramento da proporção de refugos após a moldagem. Abril de 1997.

A carta evidenciou a elevada percentagem de refugos nesta etapa, além de sugerir a falta de estabilidade do processo em relação a este parâmetro.

Foi constatada também a necessidade de ajuste das quantidades analisadas pelos tempos de trabalho efetivo entre as duas meias horas de contagem, tendo em vista que, embora o tempo de contagem fosse o mesmo, o tempo de trabalho efetivo durante as duas contagens, na maioria das vezes, era diferente. Suponha que, no período A, durante a primeira meia hora de contagem, o processo produziu 6000 unidades (  $n = 6000$  ) trabalhando 25 minutos e que, durante a segunda meia hora de contagem, foram refugadas 200 unidades (  $x = 200$  ), tendo o processo trabalhado por 20 minutos. Se for utilizada a expressão citada anteriormente (  $p = \frac{x}{n}$  ) para a determinação da proporção de refugos, o resultado sofre um

viés porque é desconsiderado o fato de que, na primeira contagem, o processo trabalhou 25 minutos dos 30 observados e, na segunda contagem, 20 minutos dos 30 observados. Com uma simples regra de três, os resultados foram ajustados para 30 minutos da seguinte forma:

$$\begin{array}{l} \text{Primeira contagem :} \\ \quad 25 \quad \text{-----} \quad 6000 \\ \quad 30 \quad \text{-----} \quad n' \end{array} \quad n' = \frac{6000 * 30}{25}$$

$$\begin{array}{l} \text{Segunda contagem :} \\ \quad 20 \quad \text{-----} \quad 200 \\ \quad 30 \quad \text{-----} \quad x' \end{array} \quad x' = \frac{200 * 30}{20}$$

A proporção corrigida seria dada por :

$$p' = \frac{x'}{n'} = \frac{\frac{200 * 30}{20}}{\frac{6000 * 30}{25}} = \frac{\frac{200}{20}}{\frac{6000}{25}} = \frac{200 * 25}{6000 * 20} = \frac{x * 25}{n * 20} = p * \frac{25}{20}$$

Para desenviezar a proporção basta, portanto, multiplicá-la por um fator de correção dado por:

$$FC = \frac{t_1}{t_2}$$

onde:

$t_1$  = tempo, em minutos, de trabalho efetivo durante a meia hora de contagem da quantidade produzida;

$t_2$  = tempo, em minutos, de trabalho efetivo durante a meia hora de contagem da quantidade de refugos.

É iniciado, então, um segundo período de contagem, onde são coletadas informações referentes a: quantidade produzida em 30 minutos e respectivo tempo de trabalho efetivo; quantidade de refugos em 30 minutos e respectivo tempo de trabalho efetivo; tipo de defeito

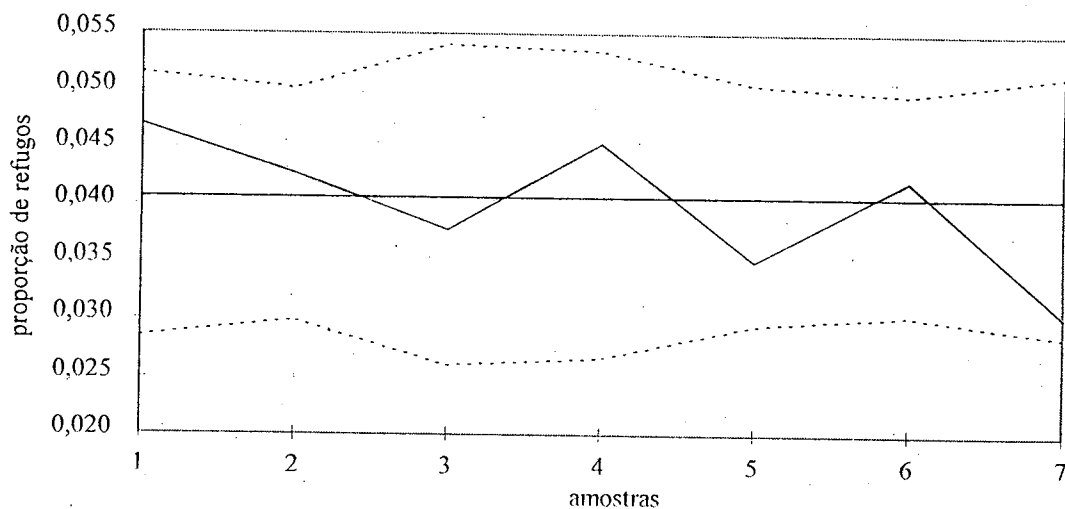




Os períodos 4, 7, 23, 24 e 25 caracterizaram-se por chuvas intensas que dificultaram e/ou impossibilitaram o acesso à barreira para extração da matéria-prima. Em tais casos, a argila utilizada era de pior qualidade por estar sendo retirada mais superficialmente ou por ser de outra jazida de ruim qualidade.

Os períodos 15, 17, 18 e 20 apresentaram proporção superior, não se conseguindo identificar, entretanto, as causas especiais intervenientes no processo responsáveis por esta variabilidade.

Depois de eliminar os períodos responsáveis pela grande variabilidade por estarem sujeitos a causas especiais, restaram apenas 7, que levaram à construção da terceira carta p para a proporção de refugos ( gráfico 9 ).



LCI = variável

LC = 0,0406

LCS = variável

Gráfico 9 - Carta de controle, com limites revisados, para monitoramento da proporção de refugos após a moldagem. Maio/julho de 1997.

Eliminando todas as causas de variação especial ( hélice de extrusão com manutenção muito recente ou nova, melhora da purificação da matéria prima e chuvas em excesso ), o processo se tornou estável na proporção em torno de 4%, o que é muito elevado. Esforços devem ser feitos no sentido de diminuir tal proporção que representa um parâmetro do tipo “ menor é melhor “ .

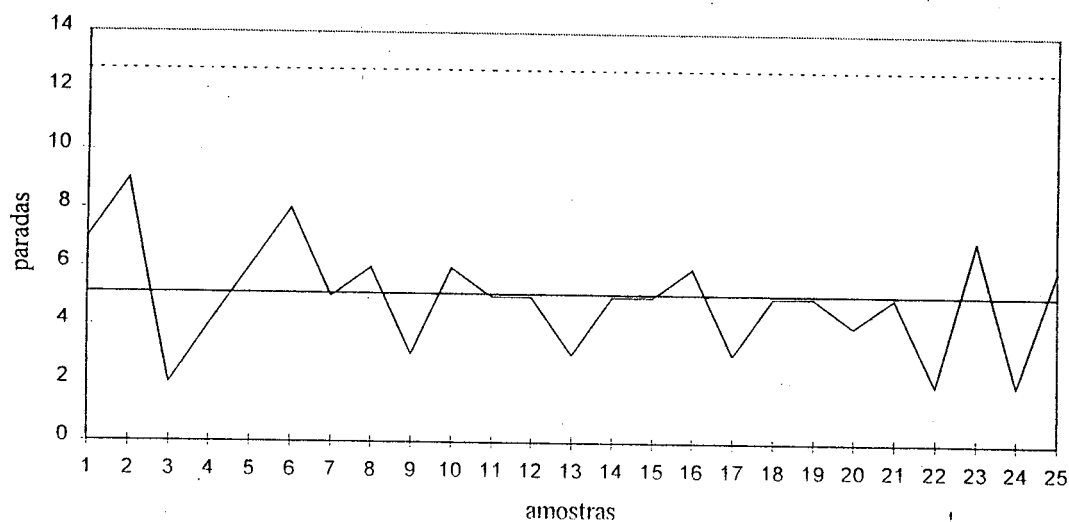
Paralelamente a este monitoramento foram registradas informações a respeito do tipo de defeito que levava ao refugo da peça, associado à possível causa. Os dados coletados, mostrados na tabela 21, revelaram que, entre 866 produtos refugados na etapa de moldagem, 713, correspondentes a 82,33%, apresentavam fendas causadas pelo entupimento da boquilha, indicando a necessidade de melhorar a qualidade da etapa do processo anterior à moldagem, que trata da purificação da matéria-prima.

Tabela 21 - Defeitos que levam à rejeição do produto no processo de moldagem.

Defeitos	ocorrência	ocorrência acumulada	%	% acumulada
fendas por entupimento da boquilha	713	713	82,33	82,33
alteração das dimensões por rompimento do arame	146	859	16,86	99,19
deformações por descuido no manuseio	007	866	0,81	100,00
Total	866	866	100,00	100,00

Fonte : coleta de dados

Durante a moldagem, também foi registrado o número de vezes que o processo era interrompido, sendo escolhida a carta c para representá-los, em que c representa o número de interrupções desta etapa do processo ( gráfico 10 ).



LCI = 0,00

LC = 4,96

LCS = 11,50

Gráfico 10 - Carta de controle para monitoramento do número de interrupções/hora do processo de moldagem. Abril/julho de 1997.

Com relação a este parâmetro o processo mostrou-se totalmente estável em torno de uma média de 4,96 paradas/hora. Tal valor, entretanto, é alto, e medidas devem ser tomadas para diminuí-lo.

Objetivando nortear as ações que poderão diminuir o número de interrupções do processo foi elaborado um levantamento de suas causas ( tabela 22 ).

Tabela 22 - Causas das interrupções do processo de moldagem do produto

causa	ocorrência	ocorrência acumulada	%	% acumulada
arames da mesa de corte	45	45	38,79	38,79
entupimento boquilha	26	71	22,41	61,20
entupimento maromba	13	84	11,21	72,41
desagregador	11	95	9,48	81,89
manuseio carros/estrados	9	104	7,76	89,65
laminador	6	110	5,17	94,82
esteira	3	113	2,59	97,41
entupimento mesa de corte	1	114	0,86	98,27
rolamentos mesa de corte	1	115	0,86	99,13
misturador	1	116	0,86	100,00
total	116	116	100,00	100,00

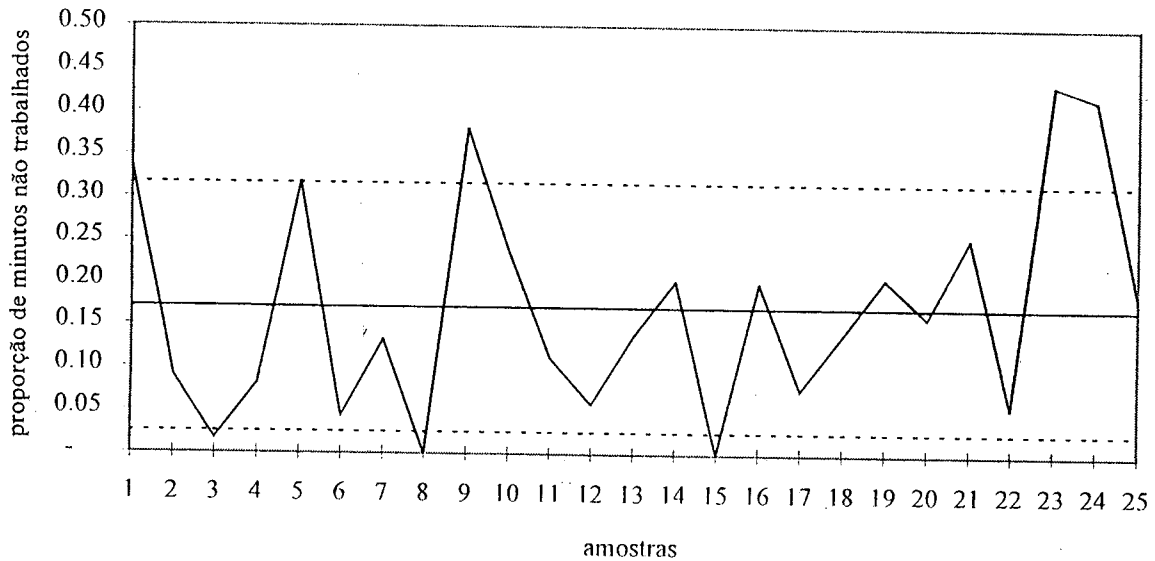
Fonte : Levantamento de dados

De 116 interrupções, 45 foram por problemas nos arames da mesa de corte em função de seu ajuste, troca ou limpeza; 26 por entupimento da boquilha e 13 por entupimento do compartimento de vácuo da maromba. Ações preventivas em relação a essas três causas poderiam eliminar 72,41% das interrupções.

Além da quantidade de paradas/hora do processo foi também analisado o tempo desperdiçado contagem da quantidade de minutos não trabalhados a cada 60 minutos, expressos em termos percentuais, representando a ineficiência do processo. Este parâmetro foi avaliado pela carta " p " ( gráfico 11 ).

Depois de pesquisar as causas especiais que interferiram no processo, levando a pontos fora dos limites de controle, foram recalculados os limites de controle, apresentados no

gráfico a seguir. As causas já comentadas anteriormente referem-se a períodos de substituição ou manutenção da hélice de extrusão ou períodos de chuvas intensas.



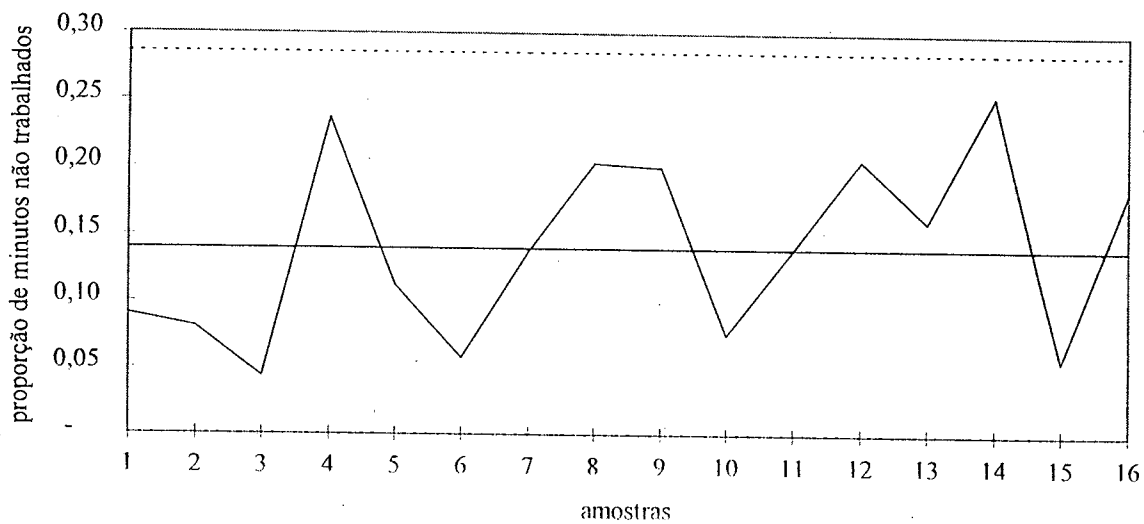
LCI = 0,0249

LC = 0,1707

LCS = 0,3164

Gráfico 11 - Carta de controle para monitoramento da ineficiência do processo de moldagem. Abril/julho de 1997.

Conforme indicado no gráfico 12, a estabilização do processo poderá ser encontrada em torno de uma ineficiência de 14%. Tal resultado, entretanto, é muito elevado e esforços devem ser realizados no sentido de diminuí-lo.



LCI = 0,0000

LC = 0,1397

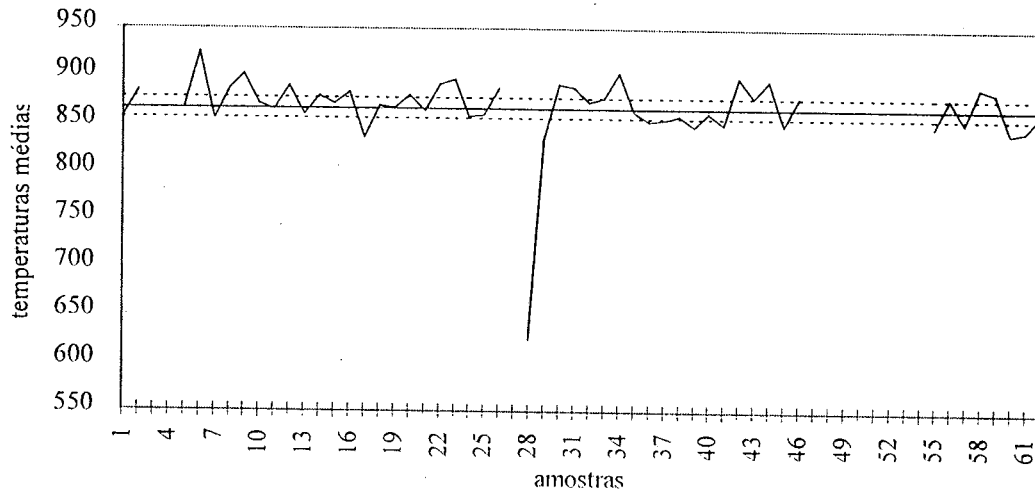
LCS = 0,2854

Gráfico 12 - Carta de controle, com limites revisados, para monitoramento da ineficiência do processo de moldagem. Abril/julho de 1997.

Quando iniciada esta avaliação do processo para implantação do CEP, a temperatura do forno de queima já era monitorada por um controle formal, em 9 diferentes pontos, de hora em hora. O procedimento estava sendo realizado desde outubro de 1996, quando o equipamento entrou em funcionamento. Para avaliar a estabilidade e capacidade dessa etapa do processo, foram extraídas duas amostras diárias de 5 medições consecutivas, durante quatro meses ( de março a junho ). Optou-se por duas amostras diárias numa tentativa de controle da interferência da temperatura ambiente, bem menor durante a noite, e dos operadores. Embora existam cartas bem mais sofisticadas e precisas, estas temperaturas foram analisadas pelas cartas “ $\bar{X} - R$ ” e “ $R$ ”, em função de sua simplicidade e facilidade de manuseio e compreensão.

A plotagem dos dados referentes ao período mostrou, primeiramente, a falta de estabilidade do processo de queima em todos os nove pontos, principalmente no mês de março ( apêndice 3 ). Os gráficos “ $\bar{X} - R$ ” mostraram que a centralização do processo, se calculada mês a mês, leva sempre a diferentes resultados, diminuindo gradualmente nos pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, ficando aproximadamente estável no ponto 7, e aumentando ligeiramente nos dois meses centrais nos pontos 8 e 9.

Entre as causas especiais que agiram sobre o processo, responsáveis por sua falta de estabilidade, conseguiu-se identificar apenas duas, ambas no mês de março. Uma delas foi o desmoronamento de um produto do carro-queima sobre os trilhos, impedindo o deslizamento. Para poder retirá-lo foi necessário deixar de alimentar o forno por aproximadamente 5 horas, de forma a possibilitar o acesso de uma pessoa ao local. Seu efeito pode ser visualizado na carta do ponto 6 ( gráfico 13 ). Outra causa identificada neste mês foi a retirada do ponto de ventilação no final do forno, fazendo as temperaturas, nesse ponto, aumentar significativamente, podendo seu efeito ser visualizado no gráfico do ponto 9 ( gráfico 14 ). Em função disto, eliminaram-se os dados referentes ao mês de março. Foi também constatada a semelhança de resultados entre os meses de maio e junho que, seguindo parecer técnico, foram considerados para determinação dos limites de controle do processo. Para a construção das cartas “ $R$ ” considerou-se o mesmo critério.

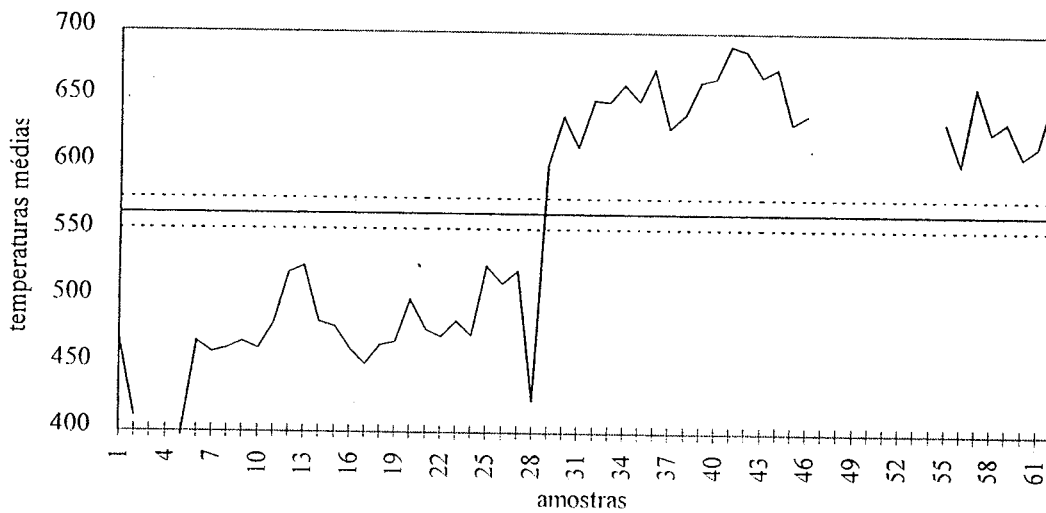


LCI = 856,15

LC = 866,74

LCS = 877,33

Gráfico 13 - Carta de controle para monitoramento da temperatura média no ponto 6 do forno de queima. Março de 1997.



LCI = 552,87

LC = 564,35

LCS = 575,84

Gráfico 14 - Carta de controle para monitoramento da temperatura média no ponto 9 do forno de queima. Março de 1997.

Constatou-se, também, que as séries cronológicas descritas nas cartas apresentaram um formato totalmente dentado, sugerindo a interferência da temperatura externa e/ou do operador. Em função disto foram realizados alguns experimentos para avaliar a interferência destas variáveis.

Para avaliar a interferência do operador, foi sorteado um dia durante o mês de junho. As temperaturas deste dia, registradas por um dos operadores, foram comparadas pela prova estatística de Student, com as temperaturas do dia seguinte, registradas pelo outro operador. Os resultados, apresentados na tabela 23, mostram a existência de diferença significativa em 6 dos 9 pontos analisados, sendo que, em todos eles, constatou-se a superioridade das temperaturas do operador 1.

Para avaliar o efeito da temperatura externa sobre o forno, foram comparadas as temperaturas registradas entre 1 e 5 horas, representando o período noturno, com as registradas entre 13 e 17 horas, representando o período diurno, por um período de 10 dias do mês de junho. Os dados apresentados na tabela 24 mostram que existe uma tendência de superioridade da temperatura diurna, sendo significativamente maior em 4 dos 9 pontos avaliados.

Os resultados encontrados sugerem a interferência tanto do operador como da temperatura externa sobre a temperatura interna do forno.

Tabela 23 - Temperaturas médias fornecidas por dois operadores em 9 pontos do forno de queima em dois dias consecutivos do mês de junho de 1997.

Ponto	operador1		operador2		t	P
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S		
1	74,34	5,09	70,09	3,94	3,26	0,003*
2	177,22	7,41	180,00	11,92	-0,95	0,352
3	543,61	18,64	543,91	10,85	-0,08	0,936
4	647,21	17,53	646,21	13,09	0,21	0,836
5	783,26	23,06	764,65	18,91	3,12	0,004*
6	854,35	14,49	807,00	14,89	10,84	<0,001*
7	924,34	22,26	879,17	10,98	8,47	<0,001*
8	831,26	15,16	786,34	10,11	12,71	<0,001*
9	693,91	20,90	657,78	8,86	7,44	<0,001*

Fonte : Análise estatística



Tabela 24 - Temperaturas médias, noturnas e diurnas, de 9 pontos do forno de queima em dez dias do mês de junho de 1997.

Ponto	período noturno		período diurno		t	p
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S		
1	69,10	5,71	71,40	6,38	-1,77	0,082
2	178,74	12,86	179,64	15,22	-0,32	0,749
3	569,12	13,63	570,22	14,40	-0,40	0,690
4	679,02	22,95	682,16	19,37	-0,90	0,369
5	795,86	31,20	810,24	24,81	-2,63	0,011*
6	831,82	21,79	839,36	23,97	-2,27	0,028*
7	887,24	17,45	896,32	22,66	-3,71	<0,001*
8	792,16	25,90	805,26	28,30	-3,14	0,003*
9	662,10	21,11	655,42	27,03	1,33	0,189

Fonte : Análise estatística

A partir das temperaturas do forno referentes aos meses de maio e junho foram, então, determinados os limites de controle para os 9 pontos. Todos os limites dos gráficos construídos tiveram, entretanto, que ser revisados pois apresentaram pontos externos, sendo suas causas atribuídas à interferência das variáveis acima mencionadas. Foram eliminados todos os pontos abaixo do limite inferior resultantes de medições noturnas ou de registro efetuado pelo operador 2, assim como os pontos acima do limite superior resultantes de medições diurnas ou de registro efetuado pelo operador 1. Em algumas cartas “ $\bar{X} - R$ ”, outros pontos que não se enquadraram dentro destes critérios, foram também eliminados, em função da falta de habilidade dos operadores com o novo equipamento.

Para a centralização do processo foram definidos os valores apresentados na tabela 25 e gráfico 15.

Tabela 25 - Limites de controle revisados a serem utilizados no monitoramento da temperatura média em cada um dos nove pontos do forno de queima

Pontos	Limite inferior	Linha central	Limite superior
1	65,78	71,18	76,59
2	168,32	178,12	187,92
3	550,66	561,07	571,48
4	656,86	664,84	672,81
5	777,84	788,89	799,95
6	822,35	833,06	843,76
7	871,87	882,39	897,91
8	772,97	785,70	798,42
9	640,31	651,20	662,08

Fonte : Análise estatística

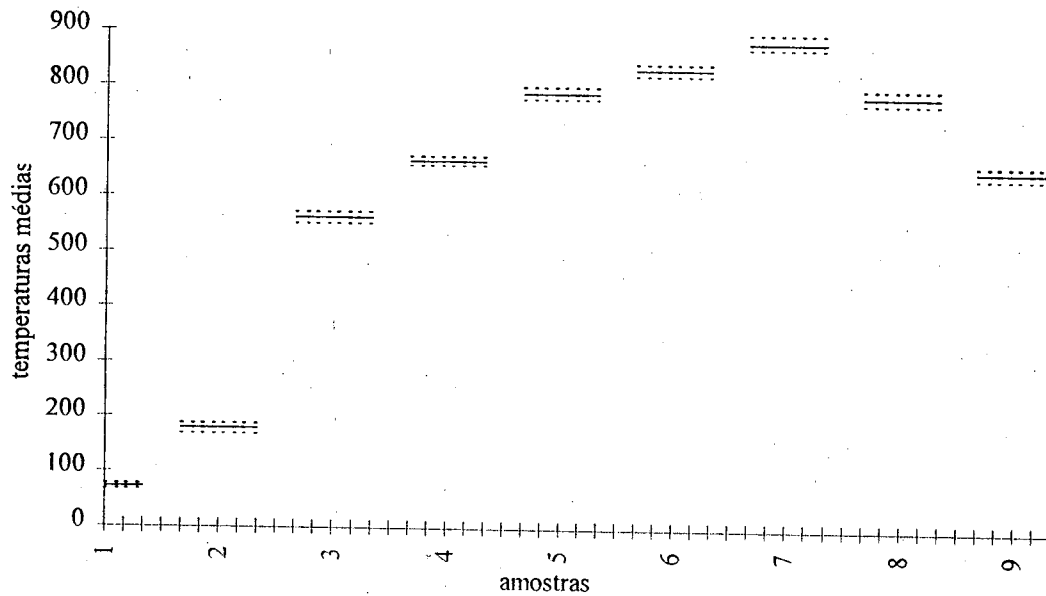
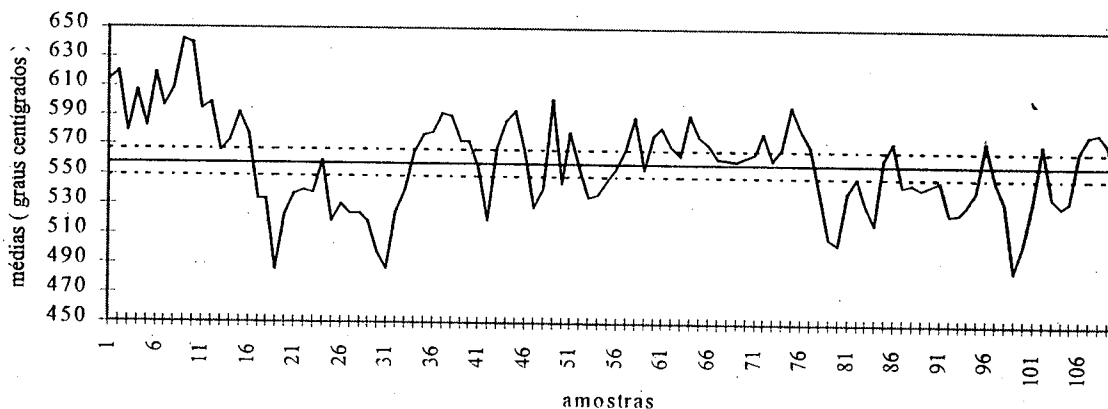


Gráfico 15 - Limites de controle revisados para o monitoramento das temperaturas médias em cada um dos 9 pontos do forno de queima.

O monitoramento da centralização do processo será conduzido, inicialmente, de maneira a encontrar sua estabilidade nas faixas definidas no gráfico acima, tendo em vista a grande quantidade de pontos encontrados fora destes limites.

Convém evidenciar, entretanto, que as temperaturas do ponto 3 devem ser objeto de um controle mais cuidadoso pois foram as que mostraram menos estabilidade, apresentando apenas 24 dos 111 pontos estudados dentro dos limites de controle definidos. As temperaturas médias, aparentemente, estavam descontroladas e pulavam de resultados acima do limite superior para resultados abaixo do limite inferior, e vice-versa ( gráfico 16 ).

Para o controle das amplitudes foram definidos os limites apresentados na tabela 26 e no gráfico 17. Os resultados referentes à variabilidade do processo se mostraram bem mais estáveis que os anteriores. Para a definição dos limites revisados, em média, apenas 4 resultados foram retirados de cada ponto que envolveu 111 medidas. Esforços devem ser feitos, entretanto, para diminuir essa variabilidade, pois quanto menor, melhor é considerado o processo.



LCI = 548,66

LC = 557,65

LCS = 566,64

Gráfico 16 - Carta de controle para monitoramento da temperatura média no ponto 3 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Tabela 26 - Limites de controle revisados a serem utilizados no monitoramento das amplitudes em cada um dos nove pontos do forno de queima

Ponto	Limite inferior	Linha central	Limite superior
1	0	9,58	20,20
2	0	16,02	33,80
3	0	14,81	31,26
4	0	15,58	32,87
5	0	18,57	39,19
6	0	17,70	37,35
7	0	15,51	32,73
8	0	19,03	40,15
9	0	15,20	32,08

Fonte : Análise estatística

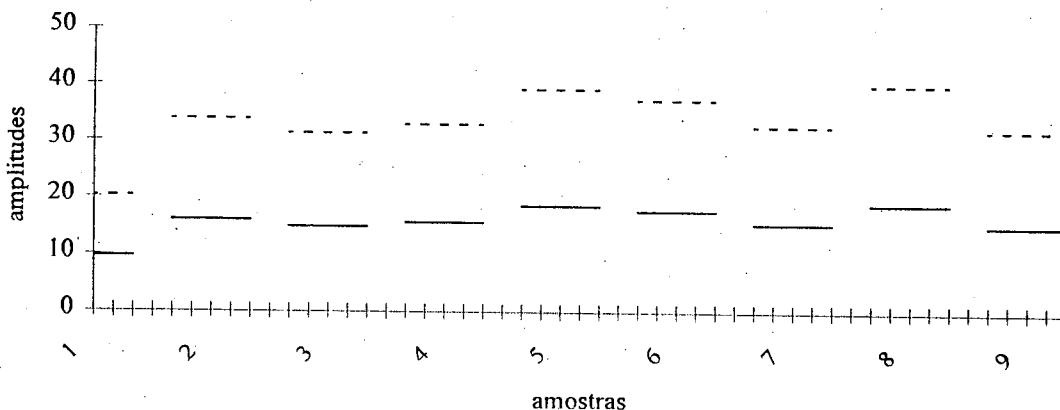


Gráfico 17 - Limites de controle revisados para o monitoramento das temperaturas médias em cada um dos 9 pontos do forno de queima.

Para monitorar a ocorrência de fissuras e fendas, identificadas pela simples observação visual e avaliadas sob a forma de atributos, foram analisadas 20 unidades, extraídas aleatoriamente de 1 a cada 5 carros-queima, do final da linha de produção, sendo selecionada a carta " p ", da fração defeituosa, para avaliar os resultados encontrados. Participaram da amostra analisada blocos cerâmicos de 6 furos quadrados, de 6 furos redondos e de 10 furos.

O levantamento de dados mostrou que não seria necessário monitorar a característica "fendas", tendo em vista que ela apareceu apenas em 1 produto entre todos avaliados. O fato do processo estar sendo observado talvez tenha conduzido a uma inspeção mais rigorosa no final da moldagem, fazendo com que o defeito fosse praticamente eliminado. A suspeita foi fortalecida depois que os resultados das avaliações iniciais foram revistos, sendo constatado que o defeito apareceu apenas nos dois primeiros subgrupos analisados. Os resultados referentes a fissuras são apresentados na tabela 27 e gráficos 18 e 19.

Tabela 27 - Limites de controle a serem utilizados no monitoramento da proporção de produtos com fissuras no final da linha de produção.

Limites	Número de observações	Limite inferior	Linha central	Limite superior
iniciais	24	0	0,070833	0,242930
revisados	23	0	0,060870	0,221257

Fonte : Análise estatística

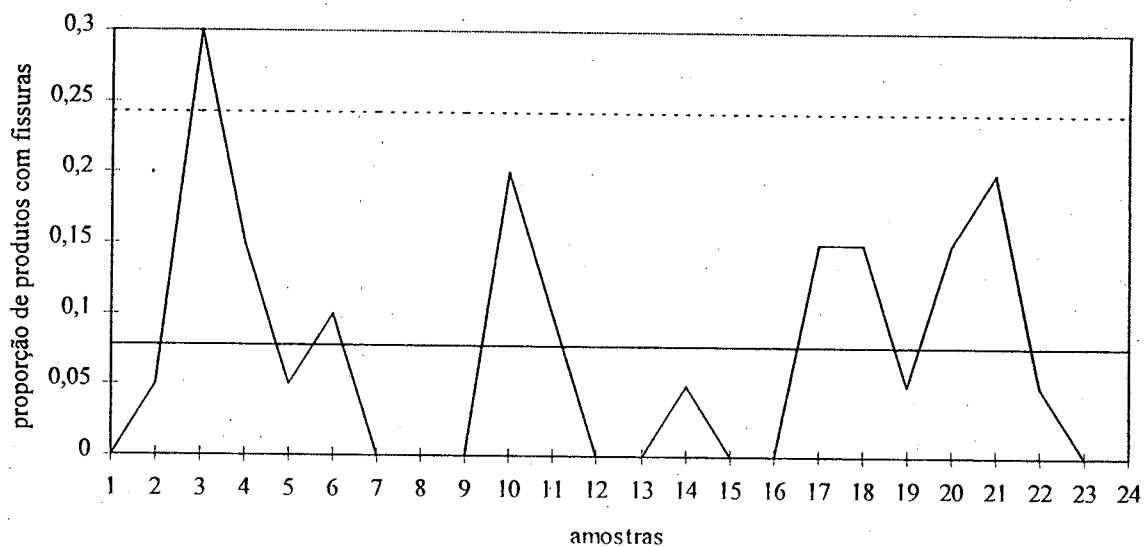


Gráfico 18 - Carta de controle para monitoramento da proporção de produtos com fissuras no final da linha de produção. Agosto de 1997.

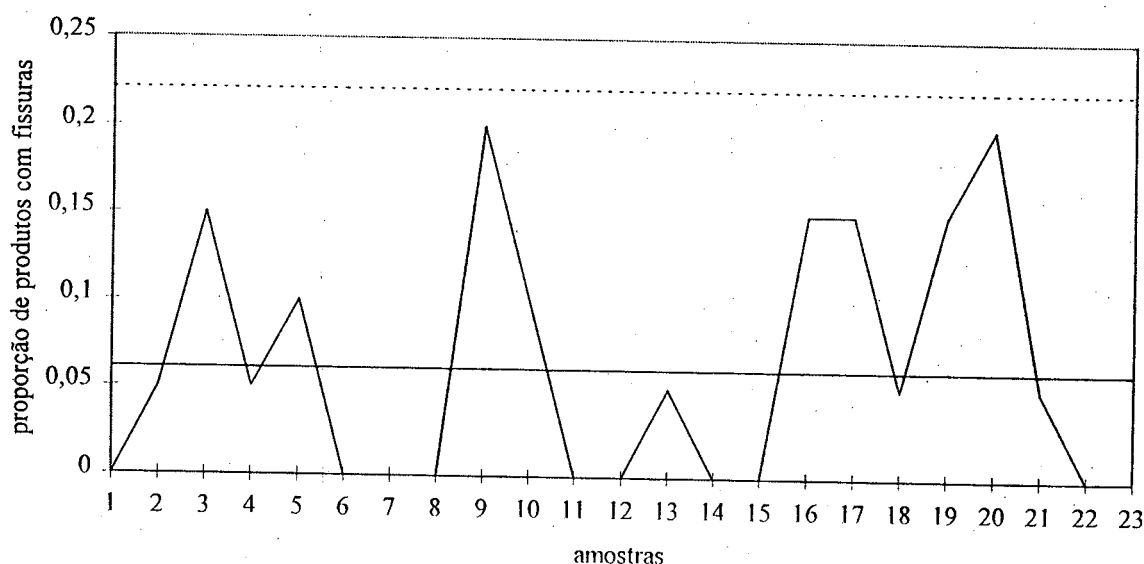


Gráfico 19 - Carta de controle, com limites revisados, para monitoramento da proporção de produtos com fissuras, no final da linha de produção. Agosto de 1997.

O processo pode ser considerado estável em torno de uma proporção média de 0,06087, tendo sido eliminado apenas uma amostra que apresentou uma quantidade maior de produtos com fissuras. A causa não foi, entretanto, identificada. Constatou-se apenas que a quantidade aconteceu em um bloco cerâmico com 10 furos. O valor encontrado, aparentemente elevado para um processo produtivo, não foi considerado muito ruim por engenheiros e arquitetos, tendo em vista uma característica especial deste produto: a utilização em grupo. Seria bom, entretanto, que esforços fossem feitos para diminuir a ocorrência deste tipo de defeito.

Para monitorar as dimensões avaliadas sob a forma de variável, foram medidos 5 produtos, escolhidos aleatoriamente entre os 20 investigados em relação à ocorrência de fissuras. Foram consideradas três dimensões: largura e altura, definidas pela boquilha e comprimento, definido pelo espaçamento entre os arames. Como existiam vários resultados esperados para cada uma destas dimensões, que variam de acordo com o tipo de produto, optou-se pela construção das cartas " $\bar{Z}$ " e "W" para monitorar, respectivamente, os valores centrais e as amplitudes. Construiu-se uma carta  $\bar{Z}$  e uma carta W para cada uma das três dimensões. Na construção da carta  $\bar{Z}$  os valores médios amostrais foram substituídos por um

escore padronizado encontrado através da expressão  $z = \frac{\bar{X} - \bar{\bar{X}}}{\frac{R}{\bar{R}}}$ , sendo plotados em um gráfico que apresenta linha central no valor zero, correspondente a  $\bar{\bar{X}}$ , e limites de controle inferior e superior em  $-A_2$  e  $+A_2$ , respectivamente. Na construção da carta W são plotados pontos que correspondem à razão  $\frac{R}{\bar{R}}$  em um gráfico que possui linha central no valor um, encontrado quando  $R = \bar{R}$ , e limites de controle inferior e superior em  $D_3$  e  $D_4$ , respectivamente.

As cartas “ $\bar{Z}$ ” para monitoramento dos valores centrais ( gráficos 20, 21 e 22 ) evidenciaram a estabilidade do processo, utilizando para limite de controle inferior, linha central e limite de controle superior, respectivamente os valores -0,58, 0,00 e 0,58. As cartas W para monitoramento da variabilidade do processo também evidenciaram a estabilidade do processo ( gráficos 23, 24 e 25 ), utilizando, como limite de controle inferior, linha central e limite de controle superior os valores 0,00, 1,00 e 2,11, respectivamente.

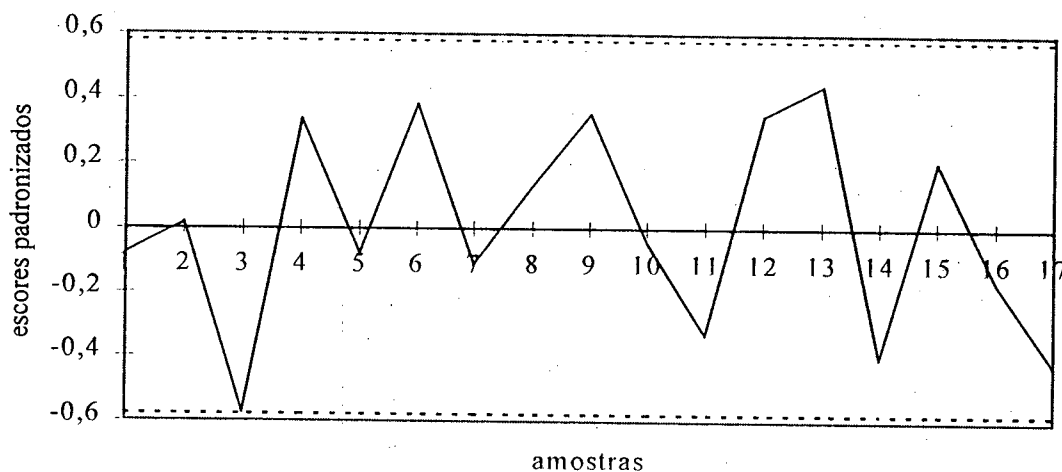


Gráfico 20 - Cartas de controle para monitoramento do comprimento médio do bloco cerâmico. Agosto de 1997.

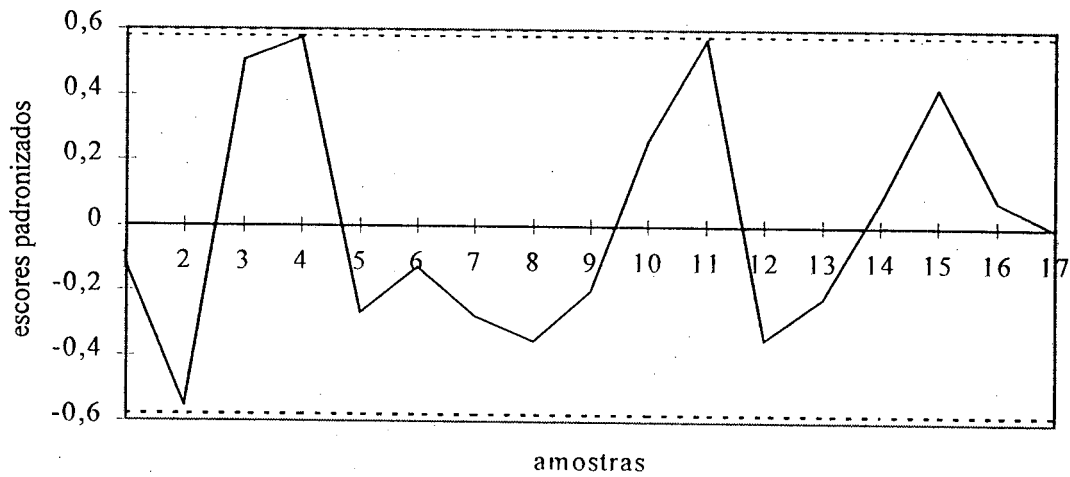


Gráfico 21 - Cartas de controle para monitoramento da largura média do bloco cerâmico. Agosto de 1997.

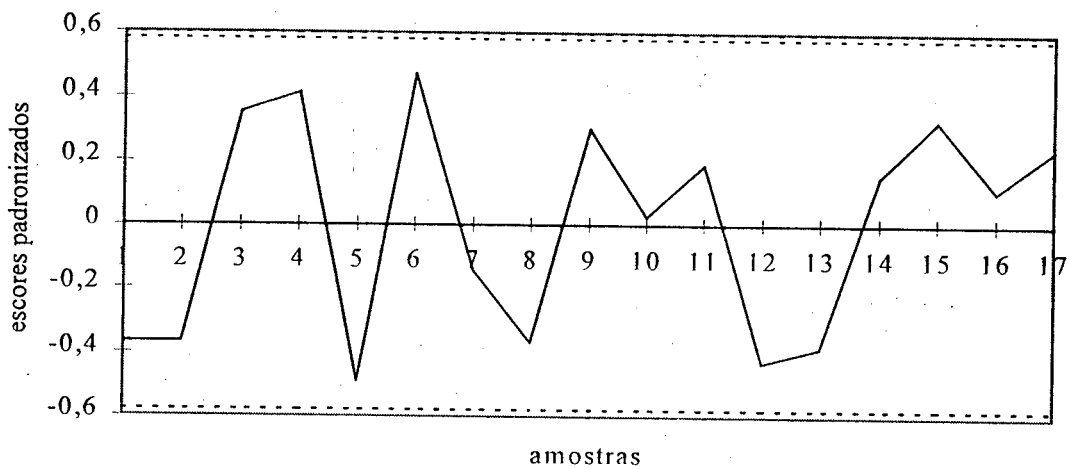


Gráfico 22 - Cartas de controle para monitoramento da altura média do bloco cerâmico. Agosto de 1997.

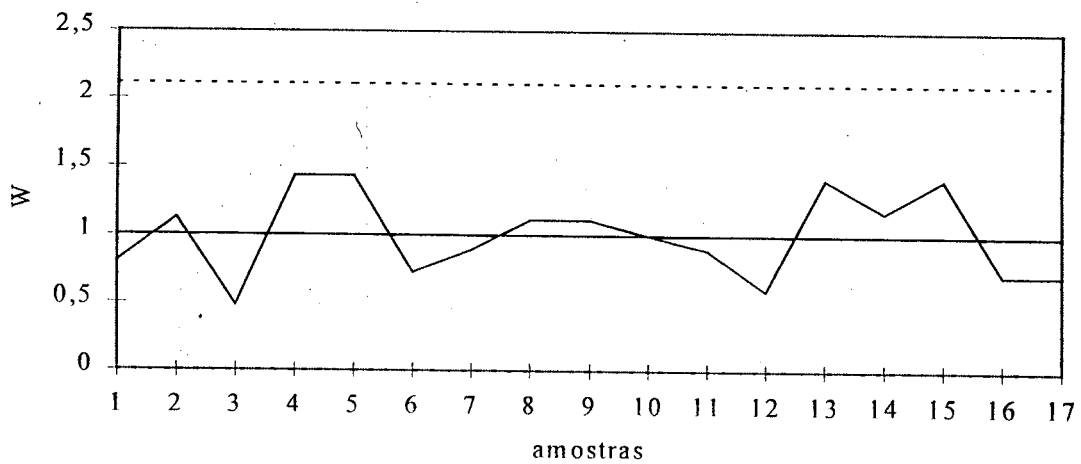


Gráfico 23 - Cartas de controle para monitoramento das amplitudes amostrais relativas ao comprimento dos blocos cerâmicos. Agosto de 1997.

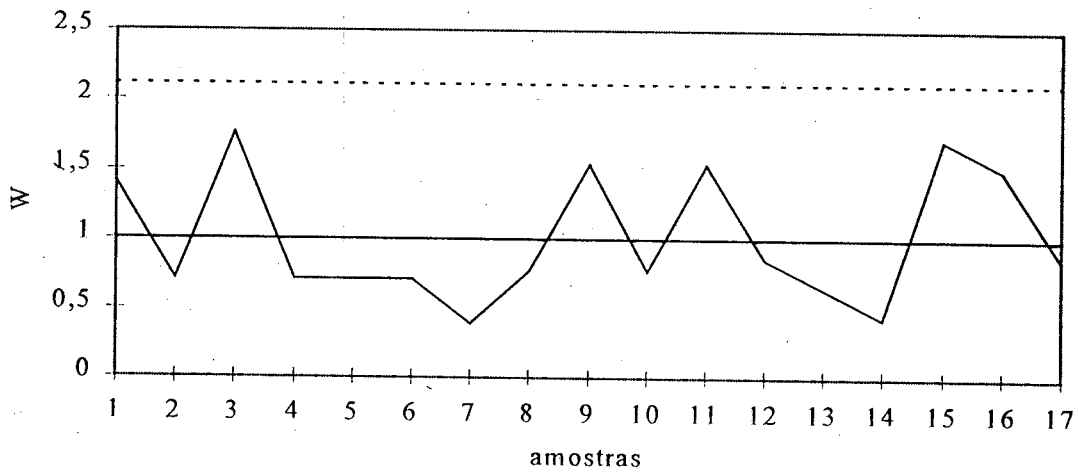


Gráfico 24 - Cartas de controle para monitoramento das amplitudes amostrais relativas a largura dos blocos cerâmicos. Agosto de 1997.

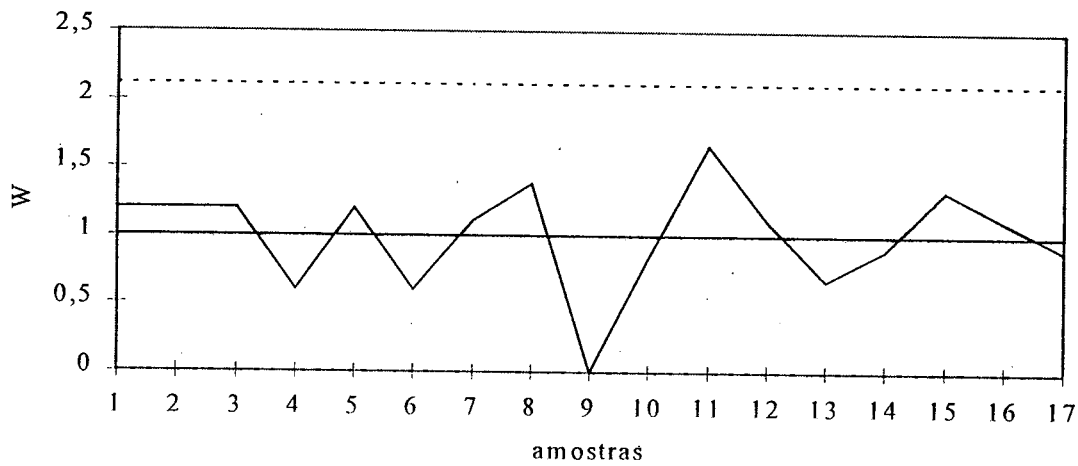


Gráfico 25 - Cartas de controle para monitoramento das amplitudes amostrais relativas a altura dos blocos cerâmicos. Agosto de 1997.

Como não apareceram pontos fora do controle, considerou-se o processo sob controle estatístico, sendo realizada, então, uma avaliação de sua capacidade. Como as características em questão apresentam limites bilaterais, optou-se por uma avaliação inicial pelo do índice Cp. Conforme resultados apresentados na tabela 28, o índice foi satisfatório, por ser superior a 1,00, condição necessária para a fração de defeituosos ser menor que 0,01, em 6 dos 9 valores calculados, indicando que as medidas dependentes das dimensões da boquilha apresentam variabilidade satisfatória. Os resultados insatisfatórios referem-se a medidas resultantes do espaçamento dos arames da mesa de corte.



O índice Cpk foi também utilizado para avaliar a centralização do processo, sendo os resultados encontrados altamente insatisfatórios, conforme o indicado na tabela 28. As informações mostram que chegaram a ser encontrados valores negativos, evidenciando a existência de médias maiores que o limite de especificação superior ou menores que o limite de especificação inferior. Salienta-se que é prática comum, na maioria das empresas, considerar como padrão de qualidade a meta  $Cpk > 1,33$ , embora algumas tenham como meta  $Cpk > 1,66$ .

Tabela 28 - Resultados dos índices de capacidade, Cp e Cpk, relativos a dimensões do produto.

Produto	$\bar{X}$	R	Cp	Cpk
6 furos quadrados	18,73	0,63	0,370	0,037
	10,06	0,14	1,664	-4,216
	14,88	0,17	1,371	-2,650
6 furos redondos	17,81	0,45	0,518	-1,536
	8,91	0,14	1,664	1,165
	12,95	0,18	1,294	3,236
10 furos	23,5	0,45	0,518	0,345
	11,44	0,23	1,013	0,810
	23,91	0,23	1,013	0,709

Fonte: Análise estatística

Os resultados encontrados confirmam a análise estatística realizada no início do trabalho com a prova estatística de Student.

Para interpretar os resultados relativos à resistência à compressão, foram utilizadas as cartas Z e W, equivalentes às anteriores, mas para valores individuais, tendo em vista o fato de se tratar de ensaio destrutivo e possível de ser realizado apenas em laboratório. Para construção da carta Z, cada resultado foi transformado num escore padronizado pela expressão

$z = \frac{X - \bar{X}}{R}$ , enquanto que na construção da carta W, cada amplitude plotada foi encontrada

pela expressão  $W_{i+1} = Z_i - Z_{i+1}$ . A média e a amplitude esperadas foram estimadas a partir de dados históricos existentes na secretaria da empresa, sendo esta última estimada a partir do

desvio padrão ( $\bar{R} = s * \left(\frac{d_2}{c_4}\right)$ ).

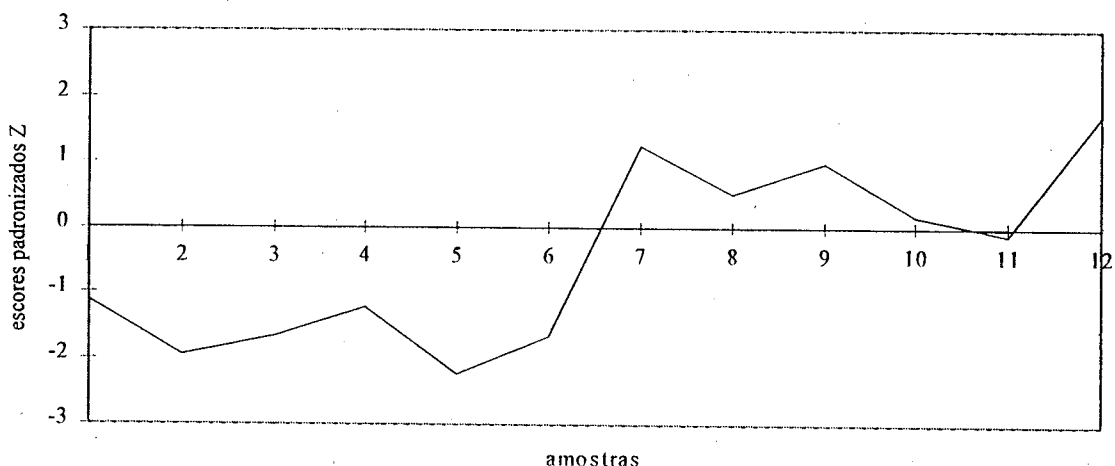


Gráfico 26 - Carta de monitoramento para valores individuais de resistência à compressão.

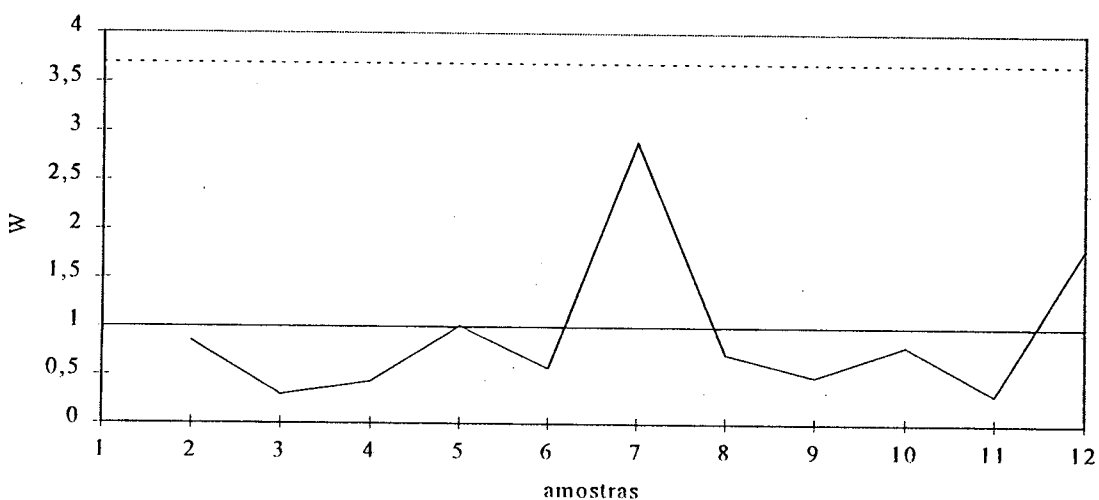


Gráfico 27 - Carta de controle para monitoramento da amplitude móvel de resistência à compressão.

Conforme o evidenciado graficamente, o processo encontra-se sob controle estatístico, tanto para valores individuais como para a variabilidade, pois não existem pontos fora dos limites estabelecidos. No gráfico 26 foi constatado, entretanto, que os 6 primeiros pontos foram plotados abaixo da linha central, sugerindo num primeiro momento, que a resistência esteja aumentando. Avaliando mais cuidadosamente, constatou-se que dos 6 pontos iniciais, 5 referiam-se a blocos cerâmicos de 10 furos, insinuando que, neste lote, a resistência à compressão diminuiu em relação às informações históricas. A avaliação a respeito da

capacidade do processo foi feita apenas com o índice  $C_p$ , encontrando-se índices inferiores a 1,0 para os três tipos de blocos amostrados, o que não é satisfatório.

## Capítulo 5

### Conclusões e Recomendações

#### 5.1 - Conclusões

É consenso geral que a distância entre a universidade e a indústria é grande. Muitas vezes pesquisadores trabalham tentando desenvolver e aprimorar novas tecnologias, enquanto as existentes não são efetivamente utilizadas. Este trabalho procurou diminuir tal distância, propiciando a aplicação de várias técnicas estatísticas em um processo produtivo de uma unidade da indústria oleira da cidade de Pelotas. Na empresa a qualidade se tornou um objetivo estratégico visando não só à melhoria de produtos e serviços, como também a sua permanência no negócio, tornando-se competitivo e gerando empregos.

A metodologia utilizada permitiu identificar, de maneira eficiente, as características de qualidade que deveriam ser monitoradas, assim como os parâmetros do processo que mais a influenciavam e que, portanto, também deveriam ser monitorados. Esta identificação foi feita a partir do conhecimento de algumas informações elementares como a quantidade produzida, a quantidade de refugos e a quantidade de retrabalho. A avaliação realizada para investigar a estabilidade do processo também se mostrou muito eficiente, tendo em vista que, através dela, foram identificadas várias causas especiais intervenientes no processo: queda de um produto da vagoneta no interior do forno de queima, fechamento de uma ventilação no final do forno

de queima, diferença na qualidade da matéria-prima por ser proveniente de outra jazida etc., que não haviam sido comunicadas ao sujeito que realizou a coleta de dados.

O produto, de maneira geral, foi considerado de boa qualidade, embora algumas características do tipo “ maior é melhor “ , pudessem ser melhoradas com alterações no processo produtivo, como é o caso da resistência à compressão que pode ser aumentada com a estabilização das temperaturas do forno de queima.

No próprio processo produtivo foram encontradas falhas mais relevantes. O processo pára muito, tanto se avaliado em função da quantidade de interrupções como do tempo de não-trabalho. Além disto, a quantidade de retrabalho após a moldagem é elevada. Isto sugere que, se estes problemas conseguirem ser contornados, a lucratividade da empresa pode ser melhorada.

A monitoração de processos por cartas de controle se mostrou eficiente em eliminar inspeção em pontos onde não ocorrem problemas, bem como em identificar pontos onde a monitoração é realmente necessária. Possibilitou também descobrir aqueles em que deveria intervir no processo de modo a minimizar a ocorrência de defeito ou retrabalho, confirmando seu caráter preventivo.

Algumas sugestões com relação a pequenos ajustes no processo produtivo foram implementadas, conseguindo-se bons resultados.

As técnicas selecionadas para serem utilizadas na análise estatística primaram pela simplicidade e facilidade de manuseio tendo em vista sua efetiva utilização, mesmo após o término deste trabalho. Depois deste estudo inicial, foi realizado um treinamento com um funcionário da empresa para, inicialmente, tratar da estabilização das temperaturas do forno de queima pelos gráficos de Shewhart. Posteriormente, após a estabilização, técnicas mais sofisticadas poderão ser empregadas, como cartas com médias móveis geométricas que associam pesos maiores às informações mais recentes e têm-se revelado eficientes para detectar mudanças em processos.

Foi constatado também que o simples fato de existir alguém coletando dados para avaliar o processo foi suficiente para alavancar um processo de motivação para atingir melhorias, não só no produto final como no processo. Um dos defeitos detectados inicialmente, a ocorrência de fendas, foi praticamente extinto pelo aumento do rigor da inspeção logo após a moldagem, onde o produto pode ser ainda retrabalhado.

Outro fato interessante, constatado por meio da avaliação dos sistemas de medição utilizados, foi a importância da descrição clara e detalhada dos procedimentos empregados na coleta de informações. Inicialmente apenas as características de qualidade avaliadas pela simples observação, interpretadas sob a forma de atributos e que não apresentavam critérios normalizados, foram minuciosamente definidas. Isto fez com que os resultados de sua avaliação fossem bem mais fidedignos do que os resultados relativos a algumas características geométricas, como é o caso das dimensões, que, aparentemente, poderiam ser medidas bem mais facilmente e não foram alvo de tanto detalhamento.

## 5.2 - Recomendações

O monitoramento da qualidade é um processo dinâmico e este trabalho foi apenas um ensaio inicial. Para que ele realmente se consolide, várias análises precisam ainda ser realizadas. A mais urgente talvez seja a avaliação dos custos de produção, para então analisar adequadamente os investimentos necessários para atingimento das metas de melhorias de qualidade. A empresa poderia, também, desenvolver algumas ações a nível administrativo, que melhorassem sua performance no mercado, como fornecer treinamento aos funcionários; utilizar tabela de preços progressivos com postura flexível para negociação; permitir uma maior participação dos funcionários na tomada de decisões nos diversos setores, entre outras.

Para conhecer ainda mais o processo, vários experimentos e estudos correlacionais podem ser realizados: determinação da contração linear e volumétrica na secagem e na queima; comparação dos efeitos da secagem natural e artificial nas características finais do produto; correlação das características finais do produto com a pressão de extrusão; determinação do tempo exato de substituição das peças das máquinas etc...

Considerando que o processo de purificação e moldagem apresentou muitos problemas, poderia ser realizada uma análise de investimento em máquinas mais novas e mais potentes.

Do mesmo modo, seriam proveitosos estudos ergonômicos dos vários postos de trabalho, objetivando diminuir o desconforto do trabalhador, o que seguramente melhoraria sua produtividade. Durante as observações realizadas, alguns fatos chamaram atenção, como o alto nível de ruído a que o trabalhador é exposto e os movimentos repetitivos realizados, muito embora não tenha sido feita nenhuma avaliação técnica a respeito.

A nível teórico, foi constatada a inexistência de estudos relacionados aos erros de estimação de parâmetros populacionais, sendo empregada sempre uma abordagem pontual, e aos erros associados aos processos de medição. Sugere-se o estudo da possibilidade de utilização de intervalos de confiança na estimativa dos parâmetros e, igualmente, a utilização de intervalos como resultados das medições, sendo as cartas plotadas com a utilização da aritmética intervalar.

## Capítulo 6

### Referências Bibliográficas

- . *Anuário Estatístico do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1990.
- . *Anuário Estatístico do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1991
- . *Anuário Estatístico do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1992.
- . *Anuário Estatístico do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1995.
- ANTUNEZ, E. L. *Características físicas dos tijolos maciços do município de Pelotas e influência da geometria na resistência à compressão de prismas*. Dissertação de mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990.
- ABIKO, A.K. Utilização de cerâmica vermelha na construção civil. *Tecnologia de Edificações*. São Paulo: Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT. p. 107 - 110, 1988.



- BESTERFIELD, D. H. *Control de calidad*. 4 ed. México: Prentice Hall Hispanoamericana s. a., 1995. 507p.
- BAUER, L.A.F. *Materiais de construção*. 2 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.
- CALEGARE, Á.J.A. *Técnicas de garantia da qualidade*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.
- CLEMENTS, J. A. Process capability calculations for non-normal distributions. *Quality Process*. p. 95 - 100. Setembro de 1989.
- DRAIN, D. Statistical process control implementation. In : DRAIN, D. *Statistical methods for industrial process*. Chapman and Hall, 1997. Cap. 6, p. 300 - 389.
- DOTY, L.A. *Statistical process control*. Industrial Press Inc.. 329 p.
- FEIGENBAUM, A.V. *Controle da qualidade total: métodos estatísticos aplicados à qualidade*. São Paulo: Makron Books, 1994. v.3, 379 p.
- FREUN, J. E. *Modern elementary statistics*. 7 ed. New Jersey: Prentice-Hall International, INC, 1988. 576 p.
- HELENE, P.R.L.; SOUZA, R. Controle de Qualidade na Indústria da Construção Civil. *Tecnologia das edificações*. São Paulo: Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT. p. 537 - 542, 1988.
- HOFFMANN, R. *Estatística para economistas*. 2 ed. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1991. 426 p.
- GRYNA, F.M. *Controle da qualidade: métodos estatísticos aplicados à qualidade*. In : JÜRAN, J. M. *Controle da qualidade*. São Paulo : Makron Books, 1992. v.6, 488 p.

- KLEIN, Ilse Lília. *Estudo comparativo de tijolos para alvenaria estrutural*. Trabalho de conclusão do curso - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Pelotas, 1992.
- KAZMIERCZAK, C.S.; GREVEN, H.A. Desempenho de alvenarias de materiais cerâmicos : análise de fatores condicionantes. *Coletânea de artigos*. Curso de Patologias de Construções. Porto Alegre, 1991.
- LANNES, B.D. *Controle de qualidade em produtos cerâmicos*. Trabalho de conclusão do curso - Escola de Engenharia e Arquitetura, Universidade Católica de Pelotas, 1996.
- LEME, R.A.S. *Curso de estatística: elementos*. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1974. 292 p.
- LOURENÇO FILHO, R.C.B. *Controle Estatístico de Qualidade*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1964. 223 p.
- MASSAUÍ, E.S. *Pólo cerâmico da zona sul*. Pelotas: Educat, 1992. 110 p.
- MACHLINE, M.A. *O controle de qualidade na indústria paulista*. Rio de Janeiro: Serviço de Publicações da Fundação Getúlio Vargas, 1962.
- MANDEL, B.J. *The regression control chart*. Journal of quality technology. v. 1, n.1, janeiro de 1969.
- MARQUES, O . V. Qualidade na construção civil. *Interação - Informativo do Núcleo Central do Instituto Euvaldo Lodi*. Mato Grosso, outubro de 1992. p.2.
- MINDLIN, J.E. Qualidade na pequena e média empresa. *Folha de São Paulo*. São Paulo, 27 de março de 1994. 3º. fascículo, p.2.
- MIRSHAWKA, V. *Estatística*. São Paulo: Distribuição da Livraria Nobel s.a ., 1987. v. 1, 334 p.

- MITIDIERI FILHO, C.V.; IOSHIMOTO, E. Controle de qualidade de telhas e blocos cerâmicos. *Tecnologia das construções*. São Paulo: Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, p. 117 - 122, 1988.
- MONTENEGRO, M.H.F.; SOUZA, R. A certificação de conformidade na construção civil. *Tecnologia das construções*. São Paulo: Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, p. 533 - 536, 1988.
- NBR 6460 - *Tijolo maciço cerâmico para alvenaria : verificação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983.
- NBR 6461 - *Bloco cerâmico para alvenaria: verificação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983.
- NBR 7170 - *Tijolo maciço cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1993.
- NBR 7171 - *Bloco cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1993.
- NBR 8947 - *Telha cerâmica - Determinação da massa e da absorção de água*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1985.
- NOVAES, L.E.; ARDUIN, R.L. *Pólo Cerâmico - Relatório de Pesquisa*. Pelotas, 1992. 30 p.
- OLIVEIRA, M. *Alguns procedimentos de ensaios normalizados relativos a tijolos e blocos*. Trabalho do curso de mestrado - Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1987.
- PALÁDINI, E.P. *Controle de qualidade: uma abordagem abrangente*. São Paulo: Atlas, 1990. 240 p.

- PALADINI, E.P. *Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços*. São Paulo : Atlas, 1995.286 p.
- PIANCA, J. B. Pedras artificiais. In : PIANCA, J. B. *Manual do construtor*. 11 ed. Porto Alegre : editora Globo, 1977. v. 1, Parte 1, p. 67 - 88.
- PETRUCCI, E.G.R. Materiais cerâmicos. In : PETRUCCI, E. G. R. *Materiais de construção*. 2 ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1975. cap. 1, p. 1-51.
- ROBLES JUNIOR, A. *Custos da qualidade: uma estratégia para a Competição Global*. São Paulo: Atlas, 1994.135 p.
- RIBEIRO, J.L.R. *Controle estatístico de qualidade*. Apostila da disciplina de Controle estatístico da qualidade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
- SAMOHYL, R.W. *Controle estatístico de processos : notas de aula*. Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- SANTOS, M. A .M. *Análise de custo-benefício do setor carbonífero de Santa Catarina no período de 1987 a 1988*. Dissertação de mestrado - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 1992..
- SILVA, M.R. Materiais cerâmicos. In : *Materiais de construção*. 2 ed. rev. São Paulo: Pini, 1991. Cap. 11, p. 161-169.
- SOTUYO, C.S. *Automatização do controle estatístico da qualidade dimensional nos processos de fabricação mecânica*. Dissertação de mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1987.
- VERÇOZA, E.J. Materiais de cerâmica. In : VERÇOZA, E.J. *Materiais de construção*. Porto Alegre: Sagra s.a .- editora e distribuidora, 1975. v. 1, cap. 5, p. 76 - 96.

VOROYEV, V. A. Ceramic material and products. In : VOROYEV, V. *Building materials*.  
Moscow: Higher School Publishing House, 1962. cap. 3, p. 51 - 76.

## **Apêndice 1**

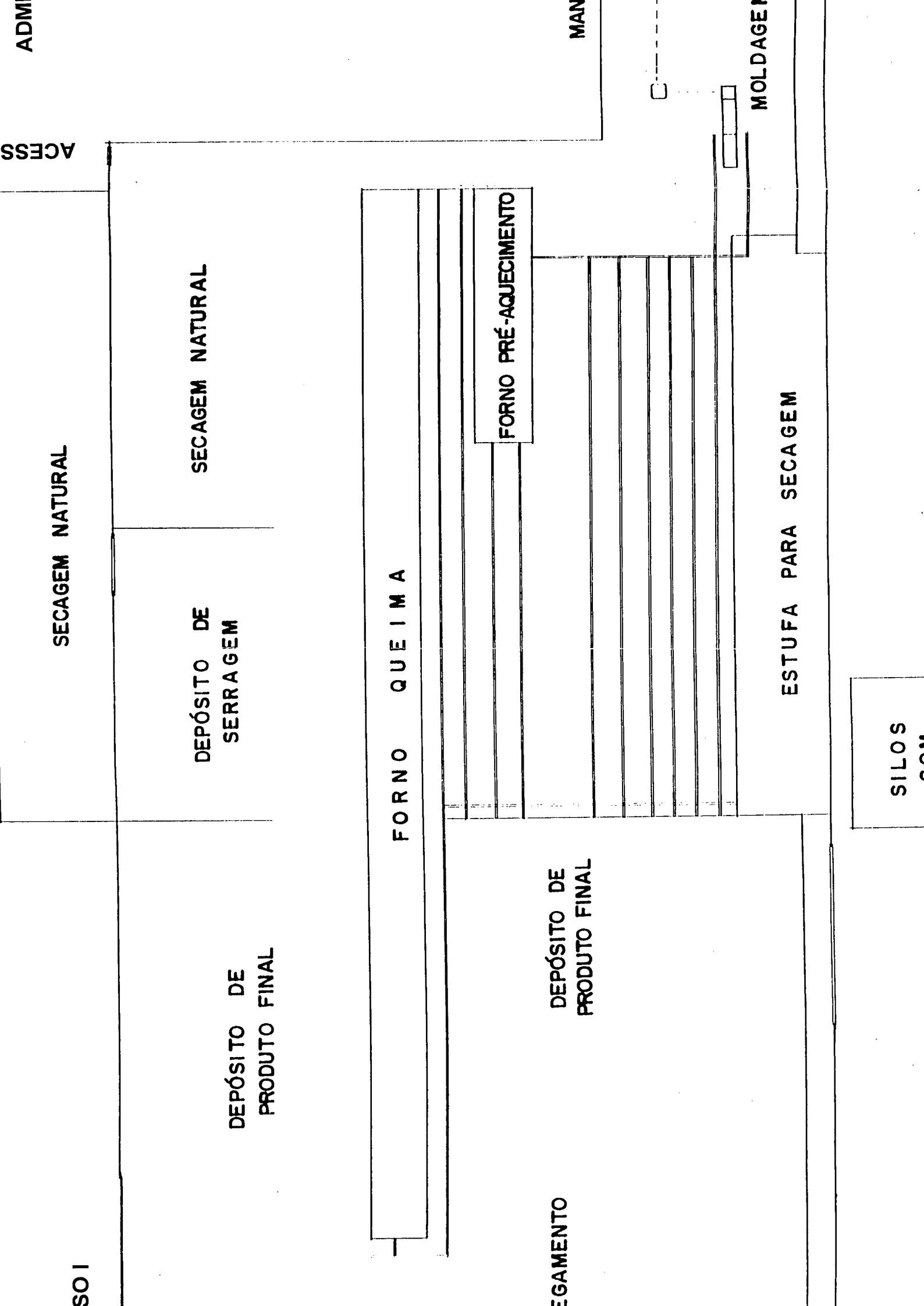
### ***Lay out***

#### **1.1 - Introdução**

As informações apresentadas a seguir, organizadas sob a forma de croquis, referem-se à linha de produção da empresa analisada. Elas foram utilizadas para avaliar, ainda que superficialmente, o fluxo do processo produtivo.

#### **1.2 - Croquis**

Primeiramente é apresentado o *lay out* do local onde se situa a linha de produção para, posteriormente, evidenciar o setor de purificação da matéria prima e moldagem do produto.



ADM

ACCESS

SECAGEM NATURAL

SECAGEM NATURAL

DEPÓSITO DE SERRAGEM

DEPÓSITO DE PRODUTO FINAL

FORNO QUEIMA

FORNO PRÉ-AQUECIMENTO

DEPÓSITO DE PRODUTO FINAL

SEGAMENTO

ESTUFA PARA SECAGEM

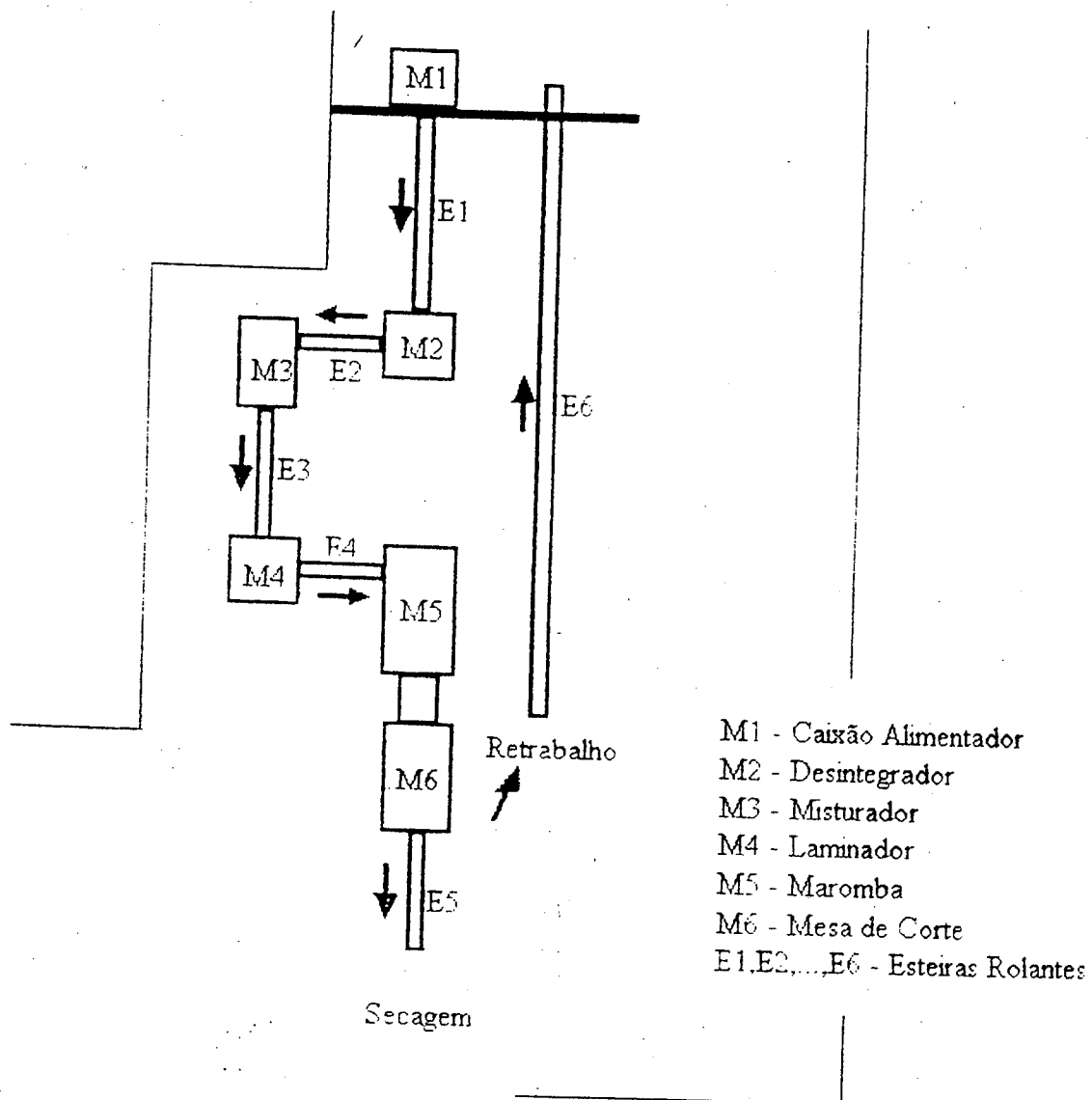
MOLDAGEM

SILOS COM

MAN

SO I

Figura 30 – Lay out do setor de moldagem





## **Apêndice 2**

### **Forno tipo túnel**

#### **2.1 - Introdução**

Para a queima de seu produto a empresa utiliza um forno tipo túnel, considerado como o mais adequado para conseguir uma boa queima de material cerâmico. Este equipamento, adquirido recentemente pela olaria, entrou em funcionamento em outubro de 1996, necessitando ainda de alguns ajustes técnicos em relação ao seu funcionamento, conforme o detectado pelo referido estudo.

#### **2.2 - Características técnicas**

O forno, descrito por planta baixa e corte transversal apresentados a seguir, possui as características abaixo citadas. Estas se referem à queima de blocos de vedação nas dimensões 10 x 15 x 20 cm, com peso úmido de 3,00 kg e peso queimado de aproximadamente 2,20 kg.

## A - Características técnicas do forno

Tipo de teto	abóbada
Comprimento total do forno	99,90 m
Largura total do forno	5,40 m
Altura total do forno	3,30 m
Largura útil da galeria de queima	1,80 m
Altura útil da galeria de queima ( pé da abóbada )	1,64 m
Altura útil da galeria de queima	1,94 m
Número de fornalhas	14
Distância entre os eixos das fornalhas	1,40 m
Área da grelha da fornalha	0,72 m <sup>2</sup>
Capacidade horária de queima de cada fornalha	115,2 kg/h
Capacidade horária de queima das fornalhas	1.843,2 kg/h
Capacidade total de geração de calor	4.608.000 kcal/h
Temperatura máxima de queima	1.000 °
Consumo térmico nominal	350 kcal/kg

## B - Características técnicas da vagoneta

Comprimento	1,40 m
Largura	1,74 m
Altura ( base para carga )	0,60 m

## C - Características da carga da vagoneta

Peso queimado	2,20 kg
Quantidade de pacotes	1
Dimensões de pacotes	1,00 x 1,60 m
Quantidade de peças por pacote	760 pçs.
Quantidade de peças por vagoneta	760 pçs.

## D - Características produtivas do forno

Vagonetas contidas no forno	71
Ciclo médio de queima	30 hs.
Vagonetas queimadas por dia	24
Consumo teórico de combustível	0,27 m <sup>3</sup> / ton.

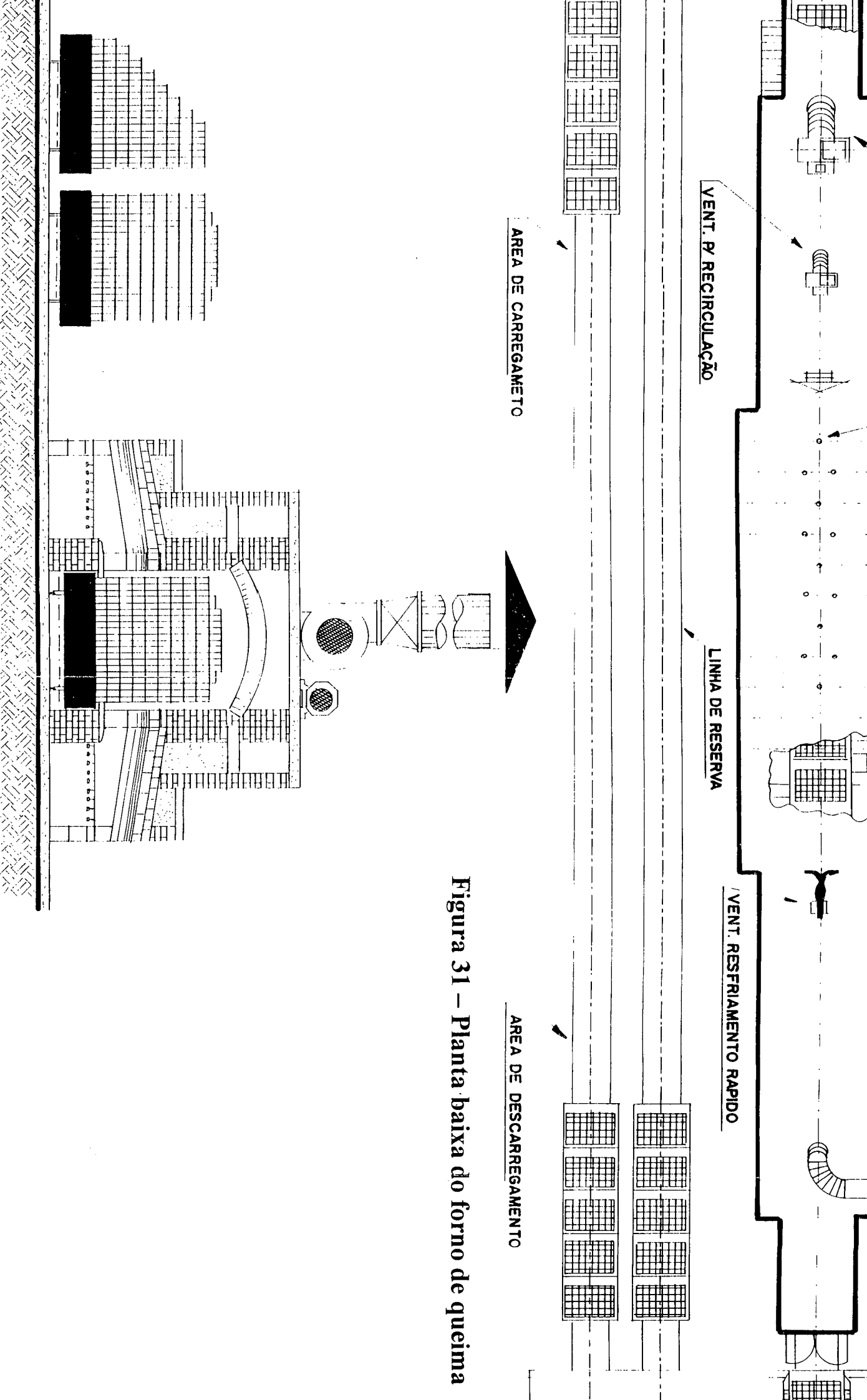


Figura 31 – Planta baixa do forno de queima

Figura 32 – Corte transversal do forno de queima

## **Apêndice 3**

### **Temperaturas do forno de queima**

#### **3.1 - Introdução**

Os dados apresentados a seguir, sintetizados em tabelas e gráficos, referem-se às temperaturas de funcionamento do forno de queima, no período de março a junho de 1997. De planilhas, onde são registradas as temperaturas de 9 pontos de hora em hora, foram extraídas duas amostras diárias de 5 medições consecutivas, uma no período noturno e outra no período diurno.

Para a avaliação, as temperaturas de cada subgrupo foram transformadas em médias, representativas de seu valor central, e amplitudes, representativas de sua variabilidade.

#### **3.2 - Resultados**

Inicialmente são apresentadas informações a respeito dos valores médios e, posteriormente, das amplitudes.

Tabela 29 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias, do ponto 1 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	77,22	70,37	66,86	64,95
linha central	84,49	76,32	73,10	70,51
limite superior	91,76	82,28	79,34	76,08

Fonte : Análise estatística

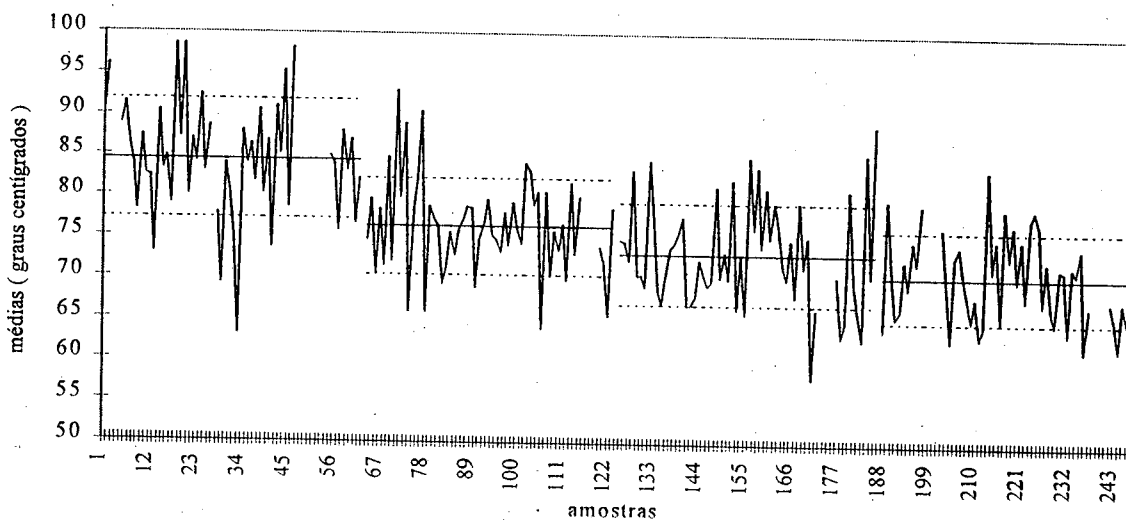


Gráfico 28 - Temperaturas médias. Ponto 1. Março/junho de 1997.

Tabela 30 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 1 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	12,53	10,27	10,76	9,60
limite superior	26,44	21,70	22,70	20,25

Fonte : Análise estatística

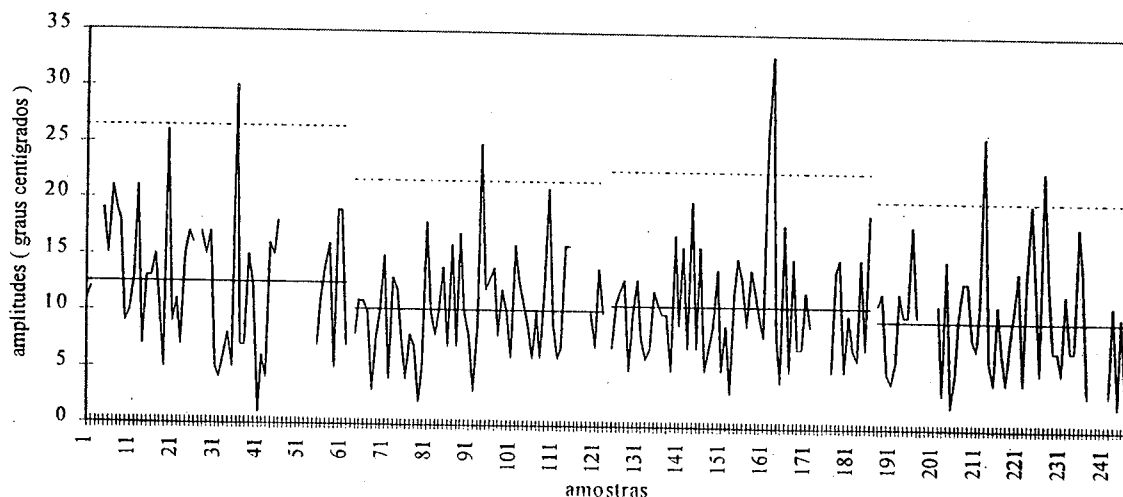


Gráfico 29 - Amplitudes. Ponto 1. Março/junho de 1997.

Tabela 31 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 2 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	190,78	172,76	168,70	168,07
linha central	202,37	184,29	178,59	177,42
limite superior	213,96	195,82	188,48	186,76

Fonte : Análise estatística

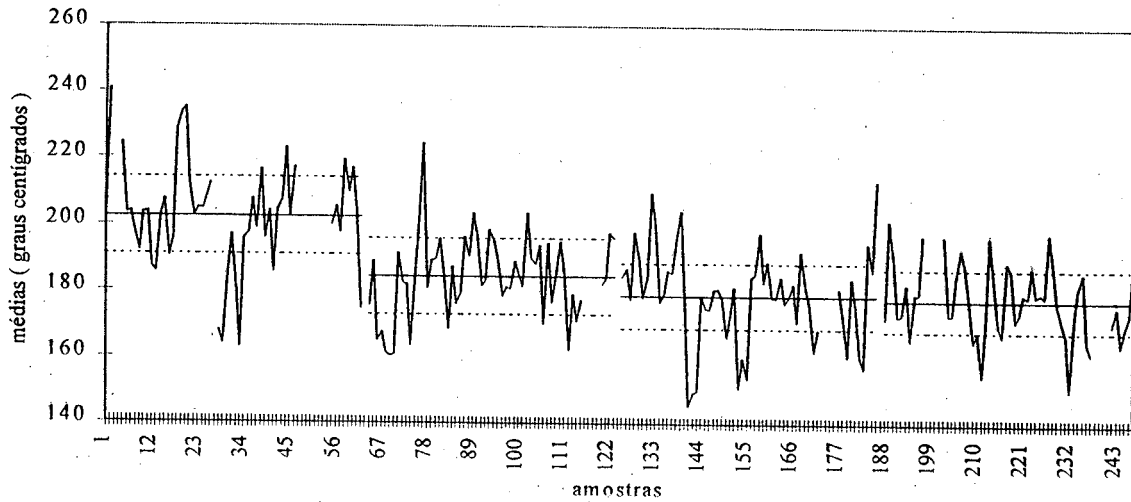


Gráfico 30 - Temperaturas médias. Ponto 2. Março/junho de 1997.

Tabela 32 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das amplitudes das temperaturas, do ponto 2 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	19,98	19,88	17,05	16,12
limite superior	42,16	41,94	35,98	34,00

Fonte : Análise estatística

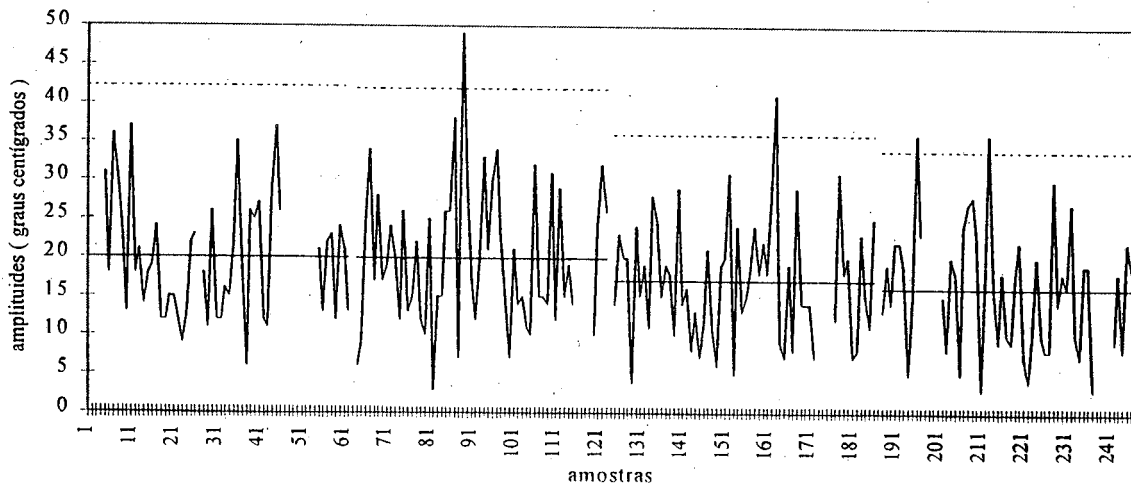


Gráfico 31 - Amplitudes. Ponto 2. Março/junho de 1997.

Tabela 33 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias, do ponto 3 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	593,92	576,31	552,96	543,87
linha central	604,13	586,36	562,68	552,04
limite superior	614,34	596,42	572,40	560,22

Fonte : Análise estatística

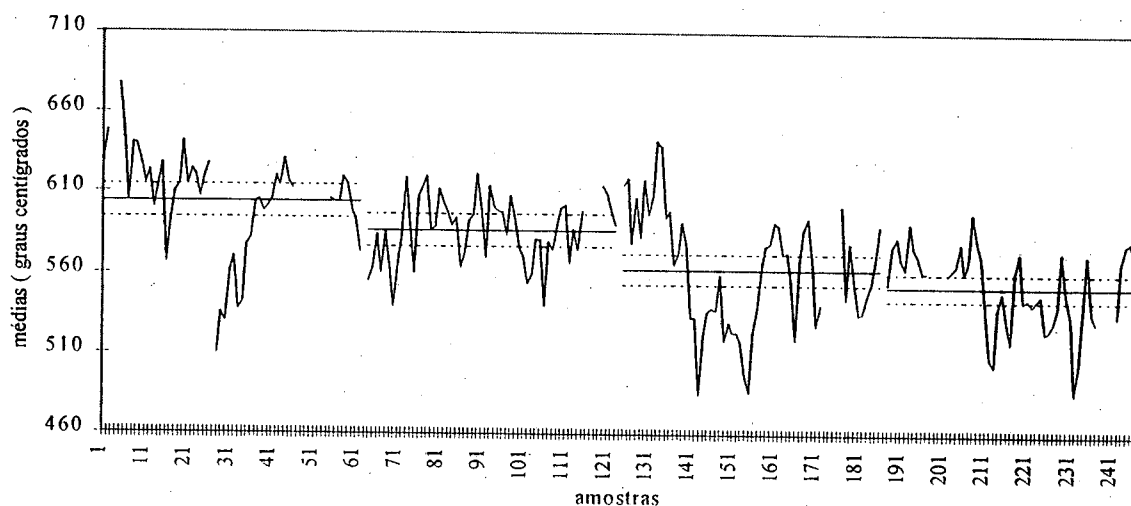


Gráfico 32 - Temperaturas médias. Ponto 2. Março/junho de 1997.

Tabela 34 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 3 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	17,61	17,34	16,76	14,10
limite superior	37,15	36,59	35,36	29,75

Fonte : Análise estatística

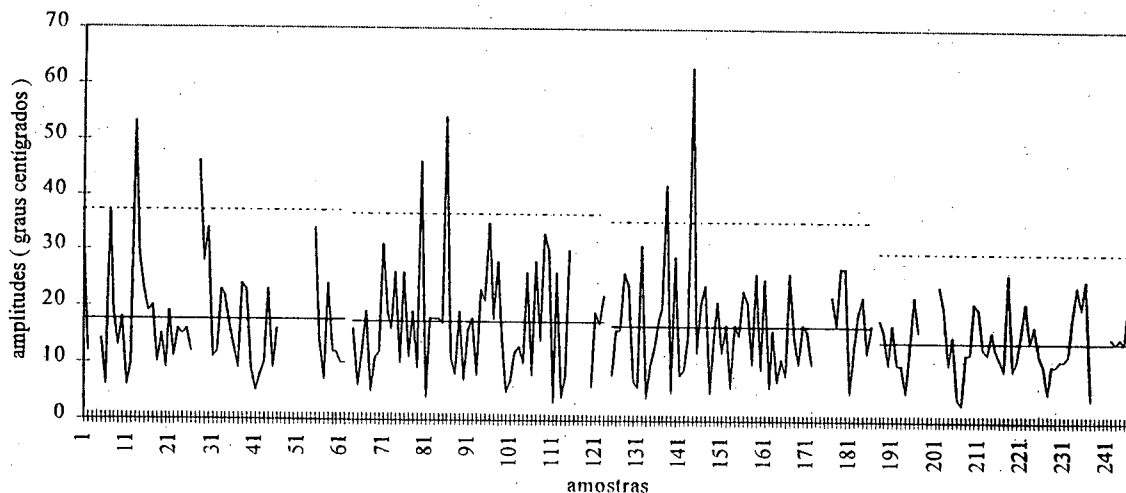


Gráfico 33 - Amplitudes. Ponto 3. Março/junho de 1997.



Tabela 35 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 4 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	688,39	662,28	655,07	657,01
linha central	702,60	673,94	664,42	666,53
limite superior	716,81	685,90	673,77	676,06

Fonte : Análise estatística

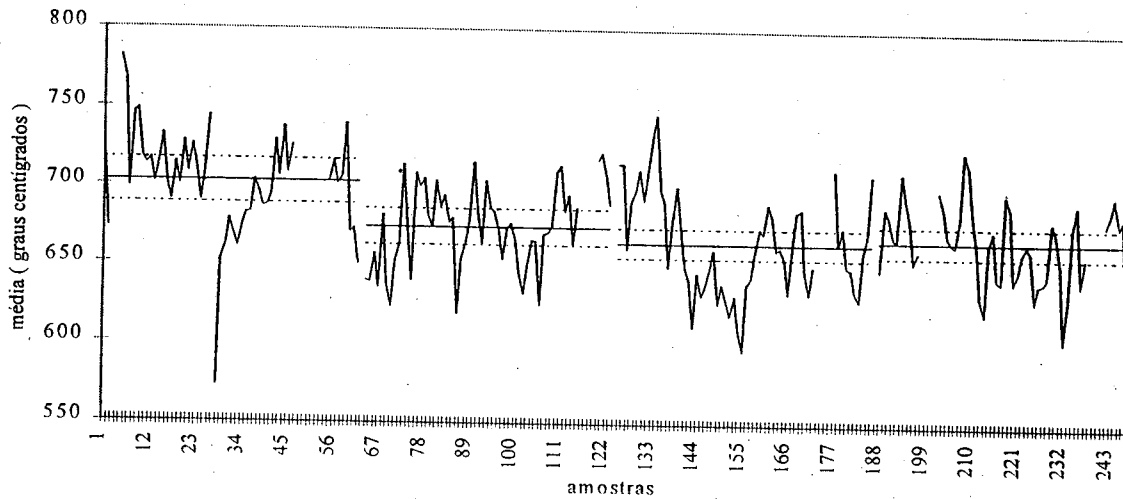


Gráfico 34 - Temperaturas médias. Ponto 4. Março/junho de 1997.

Tabela 36 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 4 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	24,50	20,11	16,12	16,42
limite superior	51,70	42,43	34,01	34,65

Fonte : Análise estatística

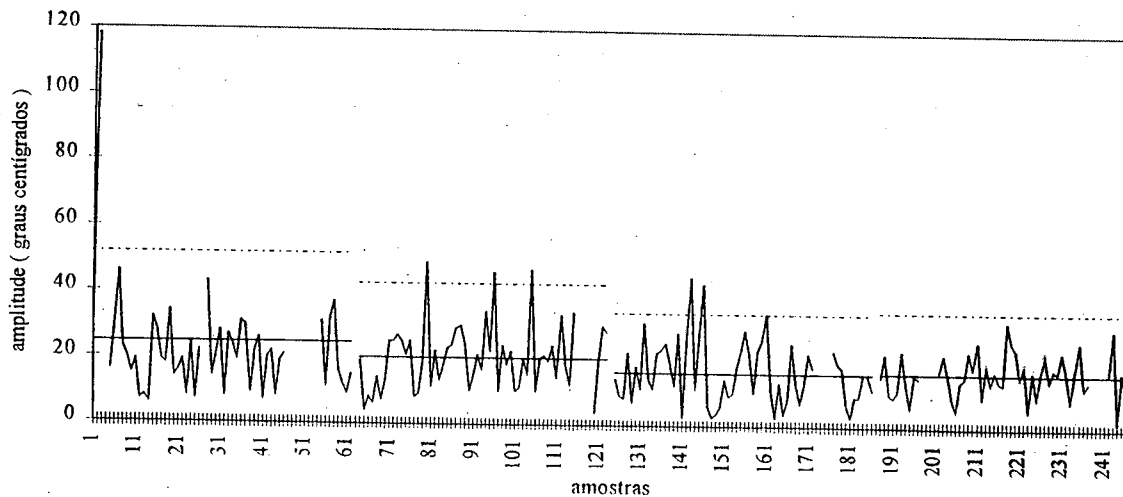


Gráfico 35 - Amplitudes. Ponto 4. Março/junho de 1997.

Tabela 37 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 5 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	823,41	801,88	776,54	779,28
linha central	836,69	814,36	787,66	790,27
limite superior	849,97	826,84	798,78	801,26

Fonte : Análise estatística

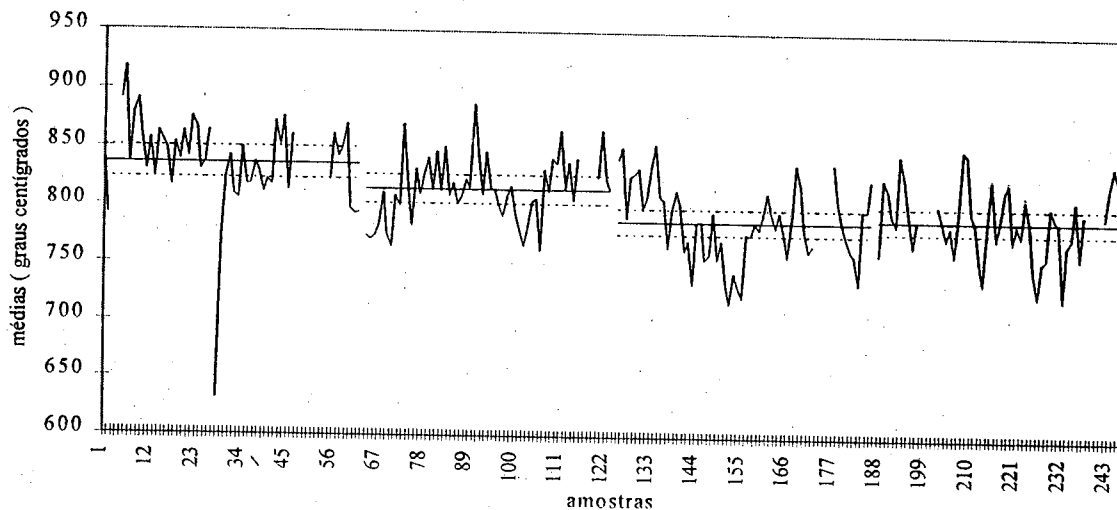


Gráfico 36 - Temperaturas médias. Ponto 2. Março/junho de 1997.

Tabela 38 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 5 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	22,90	21,52	19,17	18,94
limite superior	48,32	45,40	40,45	39,97

Fonte : Análise estatística

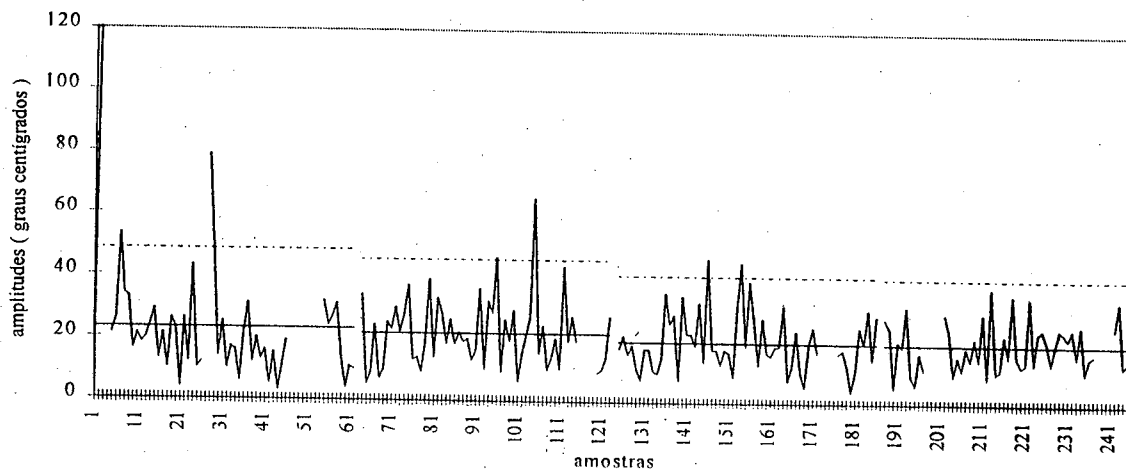


Gráfico 37 - Amplitudes. Ponto 5. Março/junho de 1997.

Tabela 39 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 6 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	856,15	844,18	816,61	820,19
linha central	866,74	854,26	826,85	831,93
limite superior	877,33	864,34	837,09	843,68

Fonte : Análise estatística

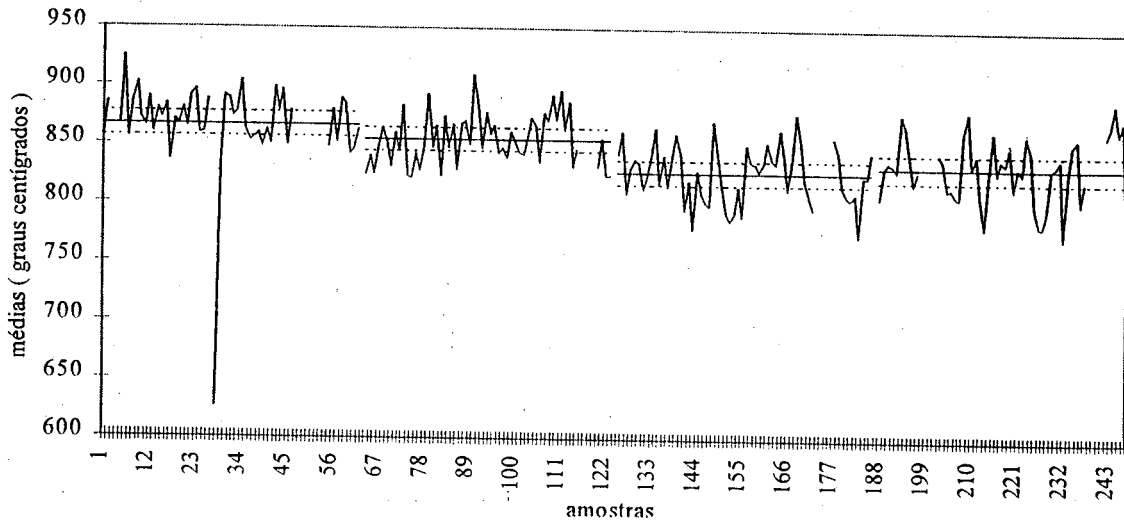


Gráfico 38 - Temperaturas médias. Ponto 6. Março/junho de 1997.

Tabela 40 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 6 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	18,25	17,38	17,66	20,25
limite superior	38,52	36,66	37,25	42,73

Fonte : Análise estatística

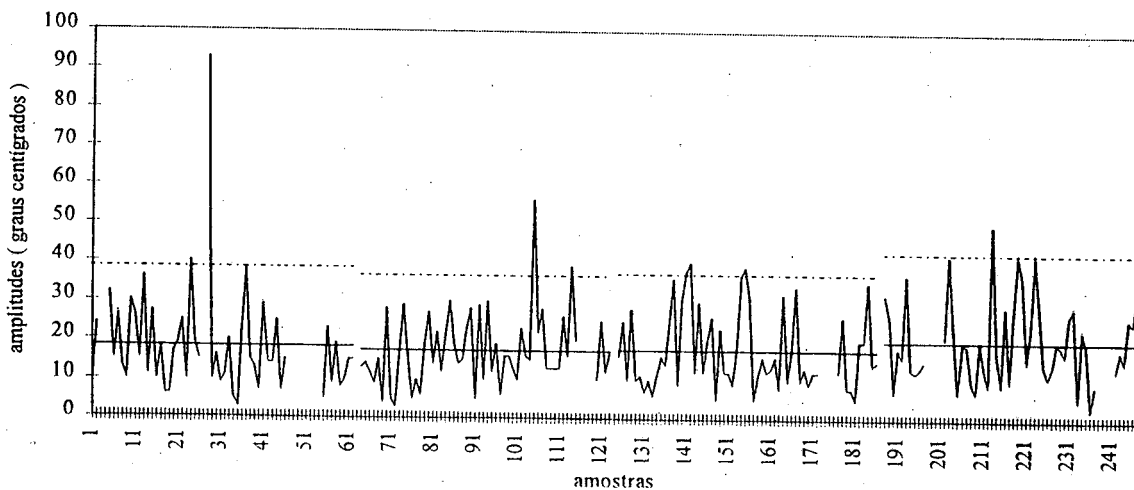


Gráfico 39 - Amplitudes. Ponto 6. Março/junho de 1997.

Tabela 41 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 7 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	861,23	866,64	876,33	868,64
linha central	874,80	880,56	887,14	878,71
limite superior	888,38	894,88	897,95	888,78

Fonte : Análise estatística

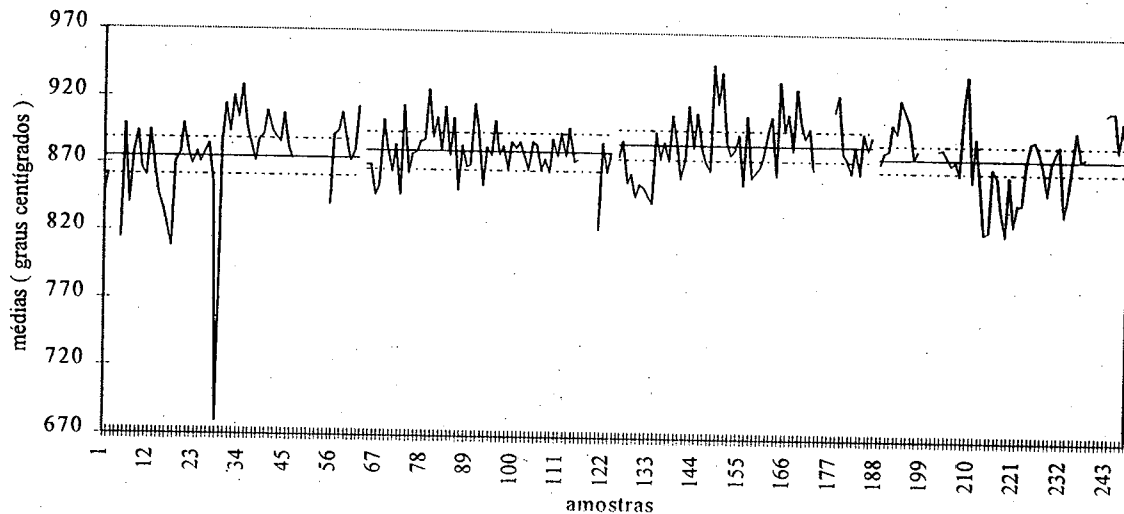


Gráfico 40 - Temperaturas médias. Ponto 7. Março/junho de 1997.

Tabela 42 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 7 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	23,40	24,00	18,64	17,37
limite superior	49,38	50,64	39,33	36,64

Fonte : Análise estatística

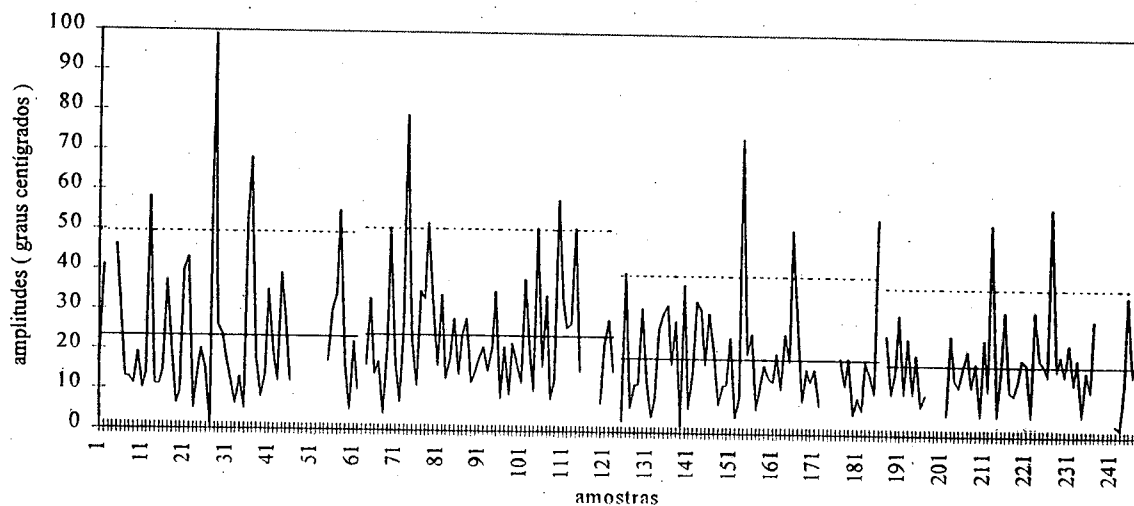


Gráfico 41 - Amplitudes. Ponto 7. Março/junho de 1997.

Tabela 43 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 8 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	704,28	754,77	780,57	770,10
linha central	721,02	767,11	792,42	782,67
limite superior	737,76	779,46	804,27	795,24

Fonte : Análise estatística

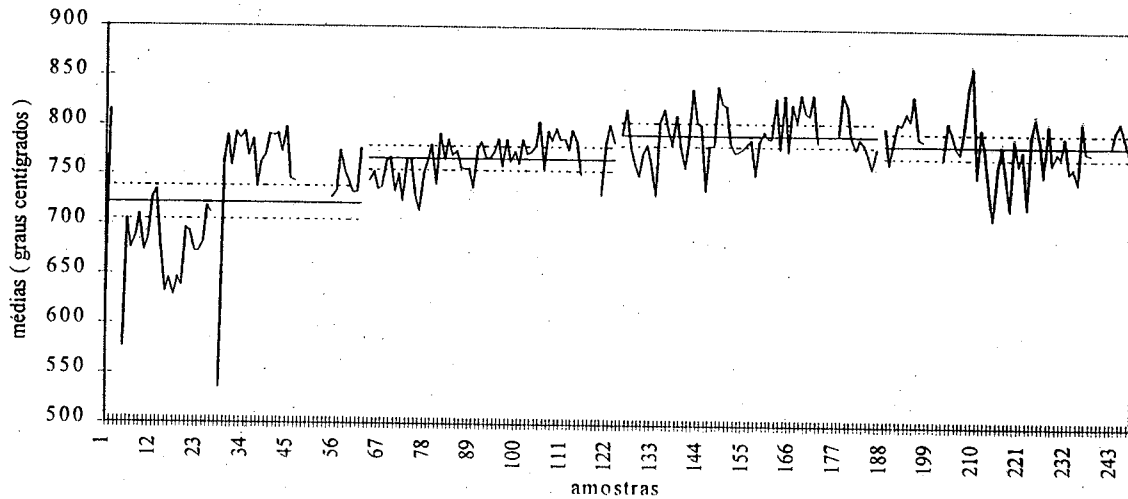


Gráfico 42 - Temperaturas médias. Ponto 8. Março/junho de 1997.

Tabela 44 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 8 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	28,87	21,29	20,43	21,67
limite superior	60,91	44,91	43,11	45,73

Fonte : Análise estatística

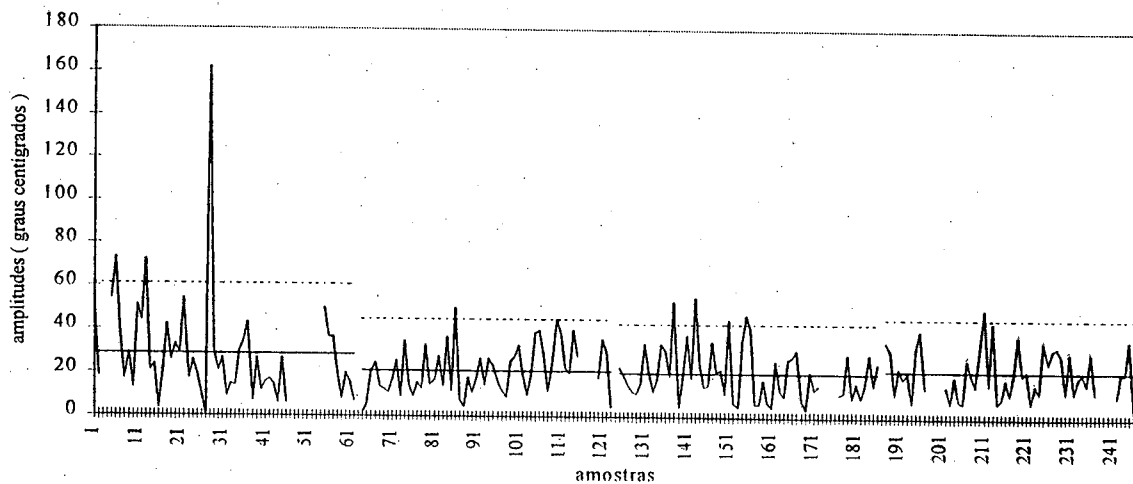


Gráfico 43 - Amplitudes. Ponto 8. Março/junho de 1997.

Tabela 45 - Limites de controle preliminares para o monitoramento das temperaturas médias do ponto 9 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	552,87	646,19	654,40	622,44
linha central	564,35	657,50	663,21	634,29
limite superior	575,84	668,81	672,02	646,34

Fonte : Análise estatística

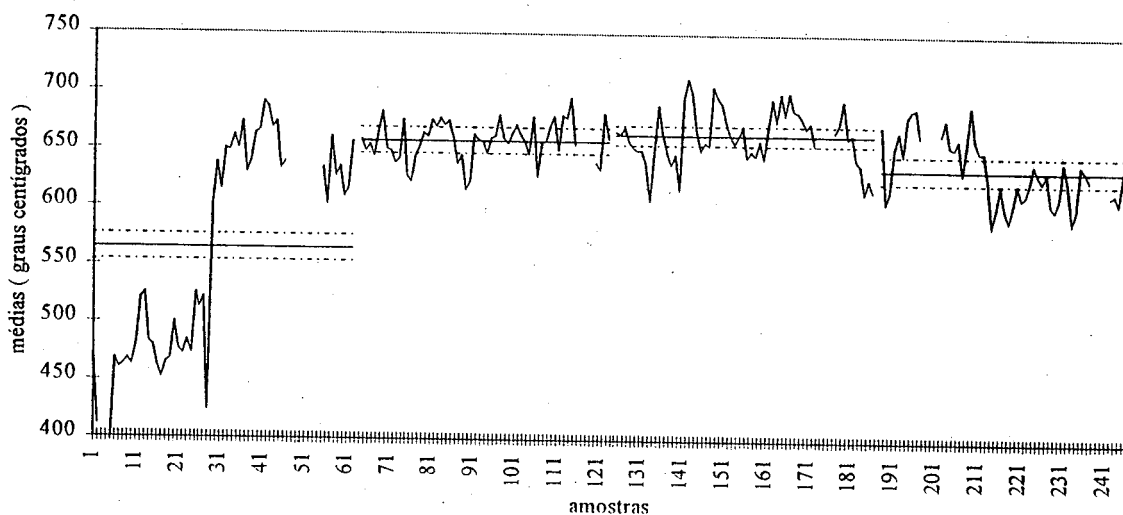


Gráfico 44 - Temperaturas médias. Ponto 9. Março/junho de 1997.

Tabela 46 - Limites de controle preliminares para o monitoramento da amplitude das temperaturas do ponto 9 do forno de queima. Março/junho de 1997.

Limites	março	abril	maio	junho
limite inferior	0,00	0,00	0,00	0,00
linha central	19,80	19,50	15,20	20,60
limite superior	41,78	41,15	32,06	43,47

Fonte : Análise estatística

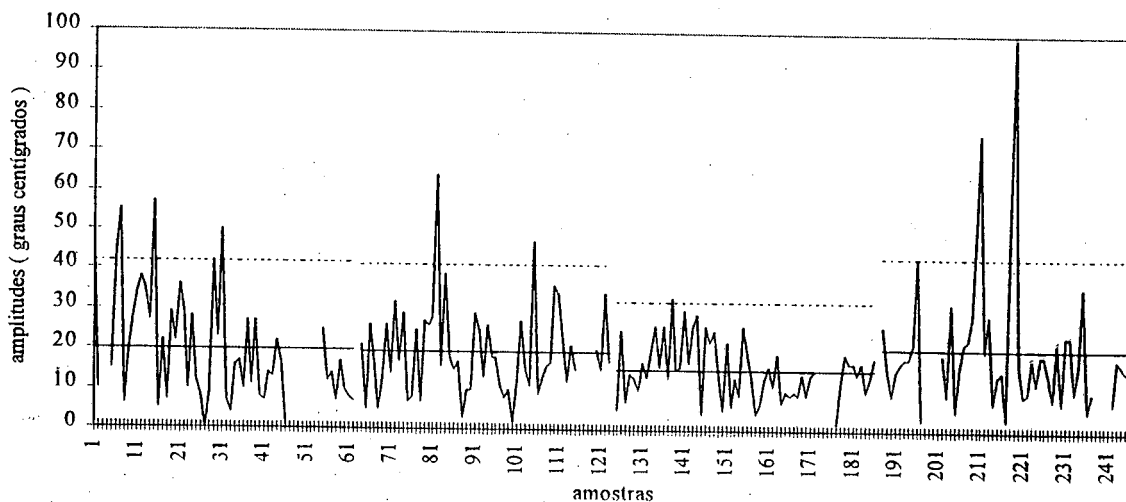


Gráfico 45 - Amplitudes. Ponto 9. Março/junho de 1997.

## Apêndice 4

### Comentário sobre a NBR 7171

A norma brasileira NBR 7171 fixa características de qualidade que devem ser exigidos no recebimento de blocos cerâmicos a serem utilizados na execução de obras de alvenaria em termos de características visuais, geométricas e físicas. Também estabelece procedimentos a seguir na sua avaliação no que se refere à quantidade de elementos inspecionados.

Para as características visuais, determina inspeção de 100%, enquanto que, para as demais, permite a execução da verificação por amostragem dupla, estabelecendo critérios de aceitação e rejeição. Nesse caso devem ser inspecionados, inicialmente, 13 elementos representativos de lotes que podem conter de 1.000 a 30.000 produtos. Se forem encontradas até duas unidades defeituosas, o lote pode ser aceito sem restrições. Com pelo menos 5 unidades defeituosas, o lote automaticamente é rejeitado. Havendo 3 ou 4 unidades defeituosas, devem ser investigados mais 13 elementos. Se a quantidade encontrada de produtos defeituosos, somada às já classificadas 3 ou 4 defeituosas, for, no máximo 6, o lote é aceito e se for maior que 6, o lote é rejeitado.

Ao estabelecer estes procedimentos, parece que a norma comete dois equívocos. O primeiro deles se refere à realização de uma inspeção 100% para as características visuais, em um lote de até 30.000 produtos. Se a inspeção for bem executada, além de ser demorado, dará margem à ocorrência de erro devido à monotonicidade da tarefa. Estudos têm comprovado

que toda investigação por amostragem é mais vantajosa, pois, além de ser mais rápida e mais econômica, apresenta uma margem de erro conhecida e possível de ser controlada.

O segundo equívoco é relativo à determinação de um procedimento único referente à técnica de amostragem e quantidade de produtos a serem investigados, sem associação a qualquer margem de erro e especificação da incidência da característica analisada no lote.

Para que uma avaliação por amostragem seja eficiente, é necessário ser a amostra representativa de população, tendo suas mesmas características. Uma forma de garantir esta representatividade é a seleção aleatória, fazendo com que todos os elementos tenham a mesma chance de serem selecionados para compor a amostra. A esta amostra, entretanto, deve ser associado um grau de representatividade pois um estudo deste tipo jamais apresentará 100% de confiança.

Em toda decisão probabilística e, conseqüentemente, em todo estudo realizado em amostra, existe a possibilidade de ocorrência de dois tipos de erro, normalmente designados por erro do tipo I e erro do tipo II, cujas probabilidades máximas de ocorrência costumam ser representadas, respectivamente, por  $\alpha$  e  $\beta$ . O erro do tipo I ocorre quando algo verdadeiro é rejeitado, enquanto o erro do tipo II ocorre quando algo falso é aceito. Embora eles sempre possam acontecer, ao tomar uma decisão, as probabilidades de erro devem ser sempre conhecidas.

Quando ocorre um erro do tipo I, o produtor é prejudicado pois um lote que atende as especificações é rejeitado. Em função disto,  $\alpha$  é denominado de risco do produtor. Quando ocorre um erro do tipo II, o consumidor é prejudicado pois um lote que não atende às especificações é aceito, sendo  $\beta$  associado ao risco do consumidor.

Um modelo estatístico bastante utilizado para dimensionamento de amostras extraídas para avaliação de lotes é a CCO, ou seja, curva característica de operação. Esta curva é o lugar geométrico dos pontos que associa a proporção de defeituosos num lote com a sua probabilidade de aceitação, sendo esta probabilidade determinada a partir de uma distribuição



discreta de probabilidade : binomial, hipergeométrica ou Poisson. Seu traçado está associado ao tamanho da(s) amostra(s) utilizada(s) e às quantidades de aceitação ( a ) e rejeição ( r ).

De acordo com os parâmetros estabelecidos pela norma brasileira NBR 7171 ( tabela 47 ), foi encontrada a CCO apresentada no gráfico 48, considerando-se a melhor situação que corresponde a um lote de 1000 produtos. Para tal foi empregada a distribuição de probabilidade hipergeométrica que tem como modelo teórico a expressão :

$$P(x = k) = \frac{C_r^k * C_{N-r}^{n-k}}{C_N^n}$$

onde: N = tamanho do lote

n = tamanho da amostra

r = quantidade de unidades defeituosas no lote

k = quantidade de unidades defeituosas na amostra.

A probabilidade de aceitação do lote na primeira amostragem é encontrada pela expressão:

$$P(\text{aceitação}_1) = P(x \leq 2) = P(x = 0) + P(x = 1) + P(x = 2).$$

A probabilidade de aceitação do lote na segunda amostragem é encontrada pela expressão:

$$P(\text{aceitação}) = P(x = 3) * [P(x = 0) + P(x = 1) + P(x = 2) + P(x = 3)] + \\ P(x = 4) * [P(x = 0) + P(x = 1) + P(x = 2)]$$

Alguns dos resultados da situação analisada são apresentados na tabela 48.

Tabela 47 - Critérios de amostragem apresentados pela norma brasileira

	Primeira amostra	Segunda amostra
tamanho	13	13
número de aceitação	2	6
número de rejeição	5	7

Fonte : Norma brasileira

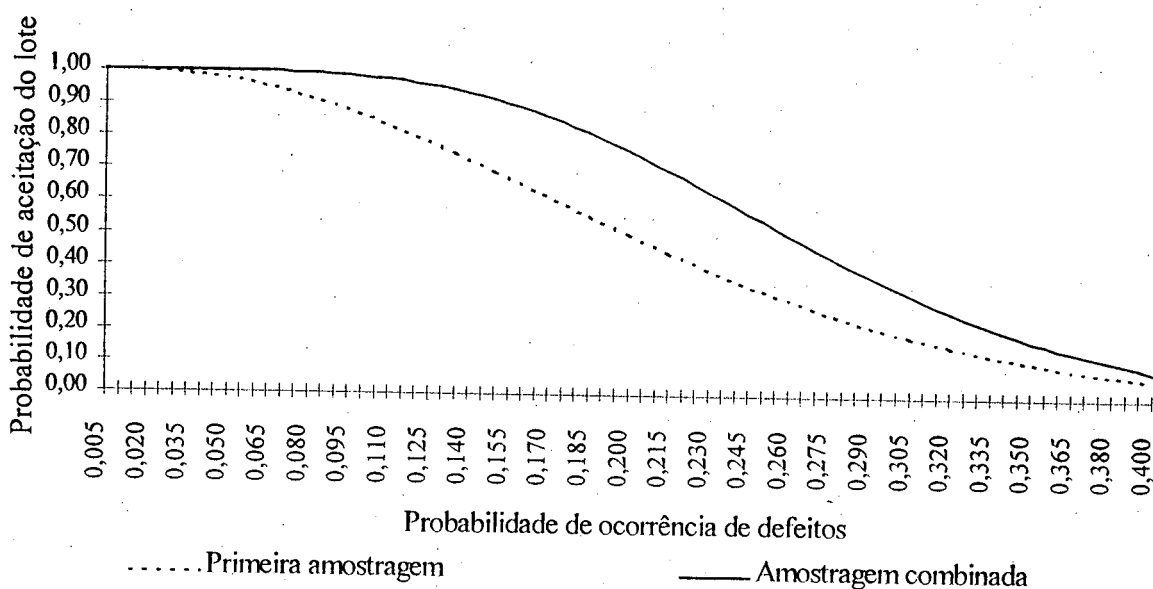


Gráfico 46 - Curva característica de operação de acordo com critérios estabelecidos pela norma brasileira NBR 7171.

Esta curva mostra que, se o lote apresentar 5 % de unidades defeituosas, ele terá 98 % de chance de ser aceito na primeira amostragem e 99,9 % de chance de ser aceito na segunda. Se esta quantidade subir para 10 %, as probabilidades se alteram para 87 % e 99 %, na primeira e segunda amostragem, respectivamente. Mostra ainda que, se a proporção de unidades defeituosas for de 13,5 %, existe 95 % de que o lote seja aprovado na segunda amostragem. Isto significa que a probabilidade de rejeição do lote é muito pequena mesmo para proporções relativamente altas de defeitos.

De acordo com a norma, na primeira amostra, a quantidade máxima de defeituosos permitida para aceitação incondicional do lote é 2, que corresponde a uma proporção de defeituosos de 0,1538 ( $= 2 / 13$ ). Se esta quantidade chegar a 5 ou mais unidades, que corresponde a uma fração de defeituosos de 0,3846 ( $= 5 / 13$ ), o lote não é aceito. Se a fração de defeituosos na população for igual a estes valores, o que, na prática, é bastante usual, haverá um risco para o produtor de 33% e um risco para o consumidor de 7%. Isto significa que até 33 lotes a cada 100 podem ser rejeitados, mesmo que cumpram a norma e que até 7 lotes a cada 100 podem ser aceitos, mesmo estando em desacordo com a norma.

Tabela 48 - Probabilidades de aceitação do lote de 1000 unidades na primeira e segunda amostragem, associadas à probabilidade de ocorrência de defeitos.

P ( ocorrência de defeitos)	P ( aceitação) na primeira amostragem	P ( aceitação ) na segunda amostragem
0,005	0,9999831	0,9999999
0,01	0,9998041	0,9999995
0,015	0,9992848	0,9999978
0,02	0,9982748	0,9999933
0,03	0,9943052	0,9999633
0,04	0,9871579	0,9998603
0,05	0,9763961	0,9995829
0,06	0,9618243	0,9989589
0,07	0,9434376	0,9977346
0,08	0,9213780	0,9955751
0,09	0,8958977	0,9920766
0,1	0,8673278	0,9867891
0,2	0,5009103	0,7627396
0,3	0,2007230	0,3396670
0,4	0,0567391	0,0855989

Fonte : Análise Estatística

Se a análise for realizada nas duas amostras, a quantidade máxima de defeituosos para aceitação e a quantidade mínima de defeituosos para rejeição são, respectivamente, 0,2308 ( $= 6 / 26$ ) e 0,2692 ( $= 7 / 26$ ). Se igualados à fração média de defeituosos, os riscos para produtor e consumidor são, respectivamente, 33% para o produtor e 46% para o consumidor, fato que, sob o ponto de vista estatístico, não é adequado.

Segundo PALADINI ( 1990), a prática sugere que os planos de amostragem sejam construídos com 5% de risco para o produtor e 10% para o consumidor. Estes valores seriam

atingidos com uma fração média de defeituosos de 6,5 % para garantir o risco do produtor e 35% para garantir o risco do consumidor na primeira amostragem. Na segunda amostragem estes riscos seriam garantidos para frações médias de defeituosos de 13,5% e 39% relativos, respectivamente, a riscos do produtor e do consumidor.

Sugere-se, então, que o tamanho da amostra utilizada seja aumentado. Esta avaliação foi realizada considerando-se um único tipo de defeito. Se forem considerados todos os tipos de defeito, novos cálculos devem ser feitos com a utilização do teorema de Bayes.