

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

PLANO PROBABILISTICO DE AMOSTRAGEM  
PARA O CONTROLE DA QUALIDADE BACTERIOLÓGICA DA ÁGUA  
EM REDES DE ABASTECIMENTO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

WALDIR MEDRI



0.215.124-1

UFSC-BU

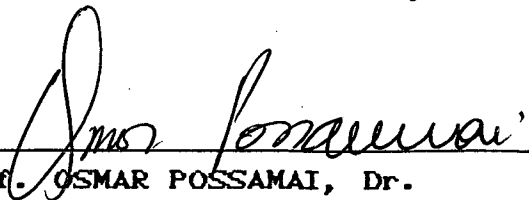
FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 1993  
SANTA CATARINA - BRASIL

PLANO PROBABILISTICO DE AMOSTRAGEM  
PARA O CONTROLE DA QUALIDADE BACTERIOLÓGICA DA ÁGUA  
EM REDES DE ABASTECIMENTO


WALDIR MEDRI

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE "MESTRE EM ENGENHARIA"

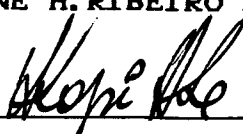
ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA EM SUA  
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

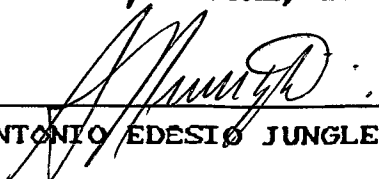
  
\_\_\_\_\_  
Prof. OSMAR POSSAMAI, Dr.  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. PLINIO STANGE, Dr.  
Orientador/Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> REJANE H. RIBEIRO DA COSTA, Dr.<sup>a</sup>

  
\_\_\_\_\_  
Prof. BRUNO H. KOPITKE, Dr.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. ANTONIO EDESIO JUNGLES, M. Eng.

DEDICO,

Aos meus pais.

Aos meus irmãos.

À minha esposa, Fátima.

Aos meus filhos, Walkíria e  
William.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Plínio Stange, pela orientação, dedicação, amizade e pelo incentivo na execução desta dissertação.

Aos professores: Rejane H. Ribeiro da Costa, Bruno H. Kopittke e Antônio Edésio Jungles pelas importantes observações complementares.

À Universidade Federal de Santa Catarina pela realização do curso de mestrado em Engenharia de Produção.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

À Universidade Estadual de Londrina pelo apoio e oportunidade concedida para a realização plena desta pesquisa.

Ao Departamento de Matemática Aplicada pela liberação para a realização deste curso.

Ao Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Ibiporã - Pr. (SAMAE), que permitiu a aplicação desta metodologia, liberando funcionários e as dependências laboratoriais.

A todos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e a todas as pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha família pela paciência e dedicação.

E a Deus, por ter me acompanhado e auxiliado para a execução deste trabalho.

## RESUMO

O controle da potabilidade da água se reveste de grande importância sanitária, tendo em vista a facilidade de veiculação de um grande número de doenças infecciosas através da água.

Um sistema de distribuição e abastecimento tem a responsabilidade da certificação da qualidade. Estas ações visam assegurar, ao consumidor, a conformidade de qualidade do produto aumentando a confiabilidade do processo de tratamento do mesmo para a distribuição.

Neste trabalho, são analisados vários modelos relevantes de plano de amostragem para o controle da qualidade da água potável e é apresentado um modelo alternativo, que se baseia na amostragem de pontos representativos, dados por critérios empíricos, para verificação da presença (ou não) de contaminação da água por coliformes totais.

O objetivo do trabalho é apresentar um plano mensal de amostragem de água, com base em critérios estatísticos e pontos estratégicos que sejam representativos do sistema público de abastecimento de água a ser avaliado, através do monitoramento dos resultados da inspeção que é acompanhado por meio de gráficos de contaminações cumulativas e de controle, obedecendo a Portaria do Ministério do Estado da Saúde 36/GM, de 19 de janeiro de 1990<sup>(5)</sup>.

## ABSTRACT

The control of water potability covered with great sanitary importance having in mind the facility of vehiculation of a great number of infectious diseases through water.

A distributive and supplying system has the responsibility for assuring water quality. These actions aim at giving the customer, the quality conformity of the product, raising the confidence in the treatment process for its distribution.

In this research several revelant models of sample plans for the water quality control are analysed, and an alternative model is presented, based in the sample of representative points, given by empiric criteria, for the verification of water contamination by total coliformes.

The objective of this research is to present a monthly plan of a water sampling, basead in statistic criteria and strategic points which are representative of the public system of water supplying to be evaluated, by monitoring the results of inspection, which is carried out by graphics of cumulative contaminations and control, according to the Portaria do Ministério do Estado da Saúde 36/GM, from January 19<sup>th</sup>, 1990.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objetivo do trabalho.....	1
1.3. Importância do trabalho.....	2
1.4. Limitações do trabalho.....	3
1.5. Estrutura do trabalho.....	3
2. REVISÃO E COMENTÁRIOS DA LITERATURA.....	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Trabalhos elaborados por técnicos brasileiros.....	5
2.2.1. Controle de potabilidade da água do sistema distribuidor de São Paulo.....	5
2.2.2. Controle de potabilidade da água distribuída na capital - 1970.....	7
2.2.3. Controle da qualidade de água - planos de amostragem.....	9
2.2.4. Um modelo de amostragem para o controle de potabilidade de um sistema de distribuição de água.....	11
2.2.5. Plano de amostragem de rede para controle da qualidade bacteriológica da água - planar 1001... ..	16
2.2.6. Plano de amostragem para controle da qualidade de água na rede de distribuição do Município de São Paulo.....	24
2.2.7. Descargas na rede para preservar a qualidade da água.....	28
2.2.8. Mapeamento das anomalias nas redes de distribuição.....	30
2.3. Trabalhos elaborados por técnicos estrangeiros.....	34
2.3.1. Técnicas de amostragem no sistema de distribuição.....	34
2.3.2. Bactérias heterotrófica nos sistemas de distribuição na água - Plano de amostragem para monitoramento.....	36

2.3.3. Qualidade da água nas redes de distribuição.....	38
2.3.4. Amostragem para controle da qualidade da água....	39
2.3.5. Guias para a qualidade da água potável.....	41
2.3.6. Medindo e modelando variações na qualidade da água do sistema de distribuição.....	45
2.4. Conclusões sobre o capítulo.....	46
<b>3. MATERIAIS E METODOS.....</b>	<b>47</b>
3.1. Introdução.....	47
3.2. Conceituação.....	48
3.3. Definições e classificações.....	50
3.4. Modelo da amostragem.....	52
3.5. Discussões sobre as normas e padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano que se refere a Portaria N.º 36/GM do Ministério da Estado da Saúde.....	56
3.5.1. Padrão de potabilidade.....	58
3.5.1.1. Físicas e organolépticas.....	58
3.5.1.2. Químicas.....	59
3.5.1.3. Bacteriológicas.....	60
3.5.1.3.1. Considerações sobre coletas.....	62
3.6. Confiabilidade (R) de uma amostra.....	63
3.7. Dimensionamento da amostragem referente a considerações econômicas.....	67
3.8. Gráficos de controle.....	68
3.8.1. Introdução.....	69
3.8.2. Tipos de gráficos de controle.....	70
3.8.2.1. Gráficos de controle por variáveis.....	70
3.8.2.1.1. Gráfico da média.....	71
3.8.2.1.1.1. Estimativa da média.....	72
3.8.2.1.1.2. Estimativa do desvio-padrão.....	73
3.8.2.1.2. Gráfico do desvio-padrão.....	75
3.8.2.1.2.1. Quando ( $\sigma$ ) é conhecido.....	76
3.8.2.1.2.2. Quando ( $\sigma$ ) é desconhecido.....	77
3.8.2.1.3. Gráfico da amplitude.....	78
3.8.2.1.3.1. Gráfico da amplitude quando ( $\sigma$ ) é conhecido.....	78



3.8.2.1.3.2. Gráfico da amplitude quando ( $\sigma$ ) é desconhecido.....	79
3.8.2.2. Gráficos de controle por atributos.....	82
3.8.2.2.1. Gráfico da fração de contaminação (P)....	82
3.8.2.2.1.1. Gráfico da fração de contaminação para tamanho de amostras variáveis...	83
3.8.2.2.1.2. Gráfico de contaminações cumulativas.....	84
3.8.2.2.2. Gráfico do número total de contaminação.....	86
3.9. Alguns conceitos adicionais.....	89
3.9.1. Considerações preliminares.....	89
3.9.2. Níveis de qualidade.....	89
3.9.2.1. Risco do consumidor de água, $\beta$ .....	90
3.9.2.1. Risco do produtor de água, $\alpha$ .....	90
3.9.3. Número de aceitação e número de rejeição.....	92
3.9.4. Probabilidade de aceitação e probabilidade de rejeição.....	92
3.9.5. Distribuição hipergeométrica.....	93
3.9.6. Distribuição binomial.....	93
3.9.7. Distribuição de Poisson.....	94
3.9.8. Curva característica de operação.....	95
3.9.9. Relação entre produtor e consumidor.....	103
3.9.10. Plano de amostragem simples de atributos.....	105
3.9.10.1. Planos que especificam os riscos do produtor e do consumidor.....	106
3.9.10.2. Construção de planos de amostragem simples com auxílio das tábuas de probabilidades.....	108
3.9.10.2.1. Utilização das tábuas da distribuição binomial.....	108
3.9.10.2.2. Utilização das tábuas da distribuição de Poisson.....	109
3.9.10.3. Utilização da tábua de Peach.....	110
3.9.11. Plano de amostragem dupla de atributos.....	114

3.9.11.1. Planos que especificam os riscos do produtor e do consumidor.....	114
3.9.11.2. Construção de planos de amostragem dupla com auxílio da tábua de Peach.....	115
3.9.12. Classificação das Normas para planos de inspeção de qualidade.....	117
3.9.12.1. Histórico.....	117
3.9.12.2. Modalidades de inspeção.....	118
3.9.12.2.1. Procedimentos para mudança de modalidade.....	118
3.9.12.2.2. Planos de amostragem.....	119
3.9.12.2.2.1. Níveis de inspeção.....	120
3.9.12.2.2.2. Planos de amostragem simples de atributos.....	120
4. APLICAÇÃO.....	128
4.1. Aplicação realizada nos meses de julho e agosto de 1993, na cidade de Ibioporã-Pr.....	128
4.2. Exemplos ilustrativos simulados.....	130
4.2.1. Exemplo 1.....	130
4.2.1.1. Gráfico de contaminações cumulativas por setores (n variável).....	134
4.2.1.2. Gráfico de contaminações cumulativas por amostragem (n constante).....	135
4.2.2. Exemplo 2.....	136
4.2.3. Exemplo 3.....	138
4.2.4. Exemplo 4.....	139
4.2.4.1. Gráfico da fração de contaminação (P) - (n constante).....	140
4.2.4.2. Gráfico do número total de contaminação (nP).....	141
4.2.4.3. Gráfico da fração de contaminação (P) - (n variável).....	142
4.2.4.4. Gráfico da fração de contaminação (P) com uso da tabela (5) - (n variável).....	144
4.2.5. Exemplo 5 : Confiabilidade dos setores de amostragem.....	145

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	146
5.1. Conclusões.....	146
5.2. Recomendações.....	148
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA.....	149
6.1. Referências bibliográficas.....	149
6.2. Bibliografia.....	151

## CAPITULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. Generalidades

A água se constitui, incontestavelmente, em uma necessidade fundamental para manutenção da vida. Porém, é de conhecimento de todos que a água destinada ao consumo humano pode constituir-se em um risco potencial para a saúde dos consumidores, quando nela estiverem presentes agentes nocivos.

A água pode estar perfeitamente clara, em sua aparência, livre de sabores e odores peculiares e, no entanto, estar longe de ser perfeita para o consumo humano, sob o ponto vista químico e bacteriológico. Ela pode conter substâncias dissolvidas ou estar contaminada, embora permita-se que seja utilizada para outros fins.

#### 1.2. Objetivo do trabalho

O objetivo do trabalho é construir e apresentar um plano mensal de amostragem para o controle da qualidade bacteriológica da água, em redes de abastecimento público, com base em critérios estatísticos o pontos estratégicos, afim de manter um controle preventivo sob vigilância permanente da potabilidade da água, desde a água que entra no sistema de distribuição até às ligações domiciliares.

Dado que, as empresas de distribuição de água tem a responsabilidade de manter sob vigilância permanente a potabilidade do produto, desde a saída da Estação de Tratamento de Água (ETA) até a entrada das ligações domiciliares. Como na rede de distribuição podem ocorrer inúmeros fatores que contribuem para sua contaminação, o controle deles é fundamental para a saúde pública. Certas ocorrências como intermitência no sistema de

abastecimento gerando pressões negativas na rede, variações de velocidade de escoamento, além de vazamentos e rompimentos, podem provocar deteriorações bruscas na qualidade da água, pela infiltração de agentes poluidores ou desprendimento de incrustações, com conseqüente alteração do seu padrão tanto bacteriológico como estético e organoléptico.

Neste sentido, é importante e necessário que o controle da potabilidade da água não se restrinja, apenas, às saídas das ETA's e aos reservatórios de distribuição, mas que forneça cobertura total para monitoramento dos pontos e dos setores da rede de distribuição que serão cadastrados para amostragem.

### 1.3. Importância do trabalho

Através do levantamento bibliográfico realizado constatou-se que nenhum plano de amostragem apresenta um modelo efetivamente conclusivo, que cubra todos os requisitos técnicos inerentes ao controle da qualidade bacteriológica da água em redes de abastecimento, visando atender os padrões de potabilidade, segundo a Portaria 36/GM do Ministério do Estado da Saúde, publicada em 19 de janeiro de 1990 e que entrou em vigor dois anos depois. Nesta são determinados numerosos parâmetros tradicionalmente conhecidos como indicadores da qualidade da água, em todas as etapas do processo de distribuição e abastecimento, iniciando nos mananciais, passando pela estação de tratamento, reservação e distribuição, até chegar às ligações domiciliares.

Este trabalho fundamenta-se na utilização dos modelos estatísticos tradicionais de controle de qualidade baseados nas distribuições Binomial, Poisson e Hipergeométrica, utilizados nas indústrias, para o controle de qualidade de processos produtivos e que também podem ser utilizados nos sistemas de abastecimento público de água.

A partir de levantamento bibliográfico das técnicas e de planos de amostragem já elaborados por terceiros, apresentam-se as bases teóricas dos modelos utilizados e implanta-se o modelo objeto. A seguir, através de uma aplicação prática e de exemplos

simulados, apresenta-se a viabilização das técnicas examinadas, para indicação da qualidade bacteriológica da água.

Neste modelo, enfatiza-se, principalmente, o controle bacteriológico da água. Para isto, efetuou-se o Cadastramento dos Pontos de Amostragem representativos de cada setor, dando prioridade aos pontos de maior probabilidade de contaminação, denominados Pontos Notáveis; esses, são seguidos dos pontos de maior responsabilidade social, os Pontos Críticos; e, por fim, estão os Pontos Genéricos. Todos os pontos são cadastrados com seus respectivos pesos, dados por critérios empíricos, em virtude do grande cabedal de conhecimento e experiência de muitos autores nesse ramo, citados nas referências bibliográficas.

Com o Cadastramento dos Pontos de Amostragem de cada setor com seus respectivos critérios, tem-se uma matriz composta de pontos e setores, os quais serão amostrados, mensalmente, através de um programa computacional desenvolvido para esse modelo que determina, aleatoriamente, os pontos de cada setor que serão coletados em cada vez, dependendo do número de habitantes da cidade.

#### **1.4. Limitações do trabalho**

No controle da qualidade da água, este trabalho limita-se em redes de abastecimento público, onde deve ser coletadas amostras aleatórias para serem analisadas em pontos representativos visando a potabilidade da água, principalmente, no que se refere a bacteriologia.

#### **1.5. Estrutura do trabalho**

Este trabalho apresenta-se estruturado em seis capítulos.

No primeiro capítulo, apresenta-se aspectos preliminares do trabalho como: objetivos, importância, limitações e estruturas.

No segundo capítulo, é feita uma revisão da literatura

pertinente a planos de amostragem e/ou controle de potabilidade da água em sistemas de distribuição.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento do modelo de amostragem e, em seguida, as técnicas para verificação da viabilização do modelo.

No quarto capítulo, encontra-se uma aplicação do modelo e um exemplo simulado, com os resultados obtidos.

No quinto capítulo, apresenta-se as conclusões e as recomendações finais deste trabalho.

No sexto capítulo, encontra-se as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho e a bibliografia como leitura auxiliar, mas de importância fundamental.

## CAPITULO 2

### 2. REVISÃO E COMENTARIOS DA LITERATURA

#### 2.1. Introdução

Neste capítulo, são descritas e comentadas algumas publicações relevantes, elaboradas por técnicos brasileiros para as condições nacionais, e algumas publicações elaboradas por técnicos estrangeiros, que tratam de assuntos ligados a planos de amostragem de redes para o controle da qualidade bacteriológica da água em sistemas de distribuição.

#### 2.2. Trabalhos elaborados por técnicos brasileiros

##### 2.2.1. Controle de potabilidade da água do sistema distribuidor de São Paulo

O CETESB (Centro Tecnológico de Saneamento Básico, na ocasião e, atualmente, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), publicou, (sem data) o trabalho denominado Controle de Potabilidade da Água do Sistema Distribuidor de São Paulo<sup>(11)</sup>, sem referência a autor.

Nesse trabalho foi desenvolvida uma sistemática de controle bacteriológico de água em sistemas de distribuição, tendo-se em vista o problema do cálculo dos estimadores que forneçam uma imagem fiel das condições da rede de distribuição.

O sistema de amostragem desenvolvido nesse trabalho é uma técnica de que o sanitarista poderá lançar mão para efetuar um controle com rigor matemático do sistema distribuidor, desde que os pontos escolhidos para a coleta sejam significativos. Esses pontos foram estabelecidos segundo experiência do setor de coleta de amostras e exames bacteriológicos da CETESB, em São Paulo, e estão diretamente relacionados com os locais onde existem maior



probabilidade de contaminação.

A sistemática desenvolvida não visa somente estabelecer uma norma de medidas, mas um processo associativo entre causas e efeitos correlacionando os focos de poluição com os fatores que os ocasionarem.

O processo deste plano consiste de uma amostragem estratificada, dado que a população em estudo poderia ser classificada segundo um critério que divide em três grupos os pontos de amostragem:

grupo I - pontos da rede em que existem maior probabilidade de contaminação, tais como: pontos de baixa pressão, pontos de manobras e pontos de fim de rede;

grupo II - pontos genéricos da rede, ou seja, os demais pontos da rede não enquadrados no item anterior, que são distribuídos uniformemente de tal maneira que cubra toda a região;

grupo III - pontos de entradas e saídas de reservatórios.

Nesse trabalho, afirma-se que dentre os modelos matemáticos de amostragem, o sistema de estratificação é o mais interessante, pois é possível subdividir uma população heterogênea em subpopulações, sem superposição, e de tal forma que a reunião destas subpopulações abranja todas as unidades da população. Além disso, dentro de cada subpopulação deverá haver homogeneidade dos dados e, neste caso, uma estimativa precisa de cada média de estrato pode ser obtida através de uma pequena amostra do respectivo estrato.

Os estratos serão constituídos dos seguintes pontos:

$H_1$  - estrato 1: pontos de baixa pressão;

$H_2$  - estrato 2: pontos de manobras;

$H_3$  - estrato 3: pontos de fim de rede;

$H_4$  - estrato 4; pontos genéricos de cobertura e de reservatório.

De uma maneira geral, a precisão aumenta com o número de estratos, ou seja, quanto maior for o número de estratos, maior será a homogeneidade dentro deles.

A sistemática desse trabalho consiste, basicamente, na

amostragem estratificada, com o intuito de homogeneizar os estratos e diminuir o número de coletas e análises bacteriológicas a serem feitas em pontos representativos.

### 2.2.2. Controle de potabilidade da água distribuída na capital - 1970

Em 1971, a revista DAE (Departamento de Água e Esgoto), publicou o artigo Controle de Potabilidade de Água Distribuída na Capital - 1970<sup>(10)</sup>, sem referência a autor.

Esse artigo comenta que a necessidade de manter um controle preventivo, permanente e de alta eficiência, sobre a qualidade da água distribuída na capital do Estado de São Paulo conduziu a CETESB a elaborar e operar um plano de amostragem que atendesse a esse objetivo. Por essa razão, em 1969, a CETESB desenvolveu e implantou uma sistemática para o controle bacteriológico da água distribuída na capital, que consiste, basicamente, de coletas e análises de amostras representativas de locais selecionados como:

- locais de baixa pressão dinâmica, compreendendo locais de fim de rede de distribuição e locais relativamente altos;
- entrada e saída de reservatórios de distribuição;
- pontos de cobertura, que procuram cobrir áreas desprovidas de pontos representativos;
- coletas de pontos para atender reclamações dos consumidores.

Nesse plano, os pontos de amostragem eram dinâmicos, passíveis de mudanças, havendo maior ou menor concentração de pontos na área, conforme maior ou menor for o número de amostras bacteriológicas positivas. O número de pontos de coleta era estabelecido a fim de cobrir toda a área abastecida. Eram coletadas cerca de 2000 amostras bacteriológicas, atendendo ao número mínimo adotado pela Tabela de "Drinking Water Standard" do Public Health Service dos Estados Unidos da América citado por Controle...<sup>(10)</sup>.

Para a locação dos pontos de coleta eram consideradas as opiniões dos engenheiros da SAEC (Superintendência de Água e Esgoto da Capital), os quais indicam alguns pontos considerados críticos ou bastante afetados pelas manobras na rede de distribuição. No início desse plano, evidentemente, foi dispensada maior atenção ao levantamento bacteriológico. Com as sucessivas melhorias obtidas na rede de distribuição, o controle foi complementado com a coleta de amostras, em certos pontos, para exames físicos e químicos.

Para efeito de cumprimento de programação de coletas, a cidade foi dividida em 9 regiões. Num intervalo máximo de uma semana eram coletadas todas as amostras cobrindo-se toda a cidade e, quando as condições não se mostravam totalmente satisfatórias, em determinada região, a frequência de coletas era aumentada nessa área.

No campo, no momento da coleta eram colocadas na ficha de coleta as seguintes características do ponto de amostragem: fim de rede, local alto, local baixo ou ponto genérico. Também eram colocadas na ficha as seguintes ocorrências: falta d'água, rompimento da rede nas proximidades, obras nas proximidades, chuva nas últimas 24 horas e temperatura média diária.

Na rede de distribuição, era realizado o exame bacteriológico preventivo e, em caso de positividade, fazia-se o exame confirmativo. No reservatório, eram feitos os exames físico-químico e bacteriológico. Para o primeiro, eram efetuados os testes: pH, cor, turbidez, ferro, alcalinidade e condutividade elétrica e, para o segundo, caso o exame bacteriológico dentro de 24 horas revelasse resultado positivo para uma dada amostra, era enviado um memorando de alerta ao setor responsável pela distribuição da água, para que se tomassem as devidas providências. Ao mesmo tempo, realizava-se uma nova coleta no mesmo local e em mais três locais adjacentes, de modo a identificar o problema de contaminação.

Se a amostra recoletada continuasse positiva, o fato era comunicado verbalmente ao setor de operação e manutenção da rede de distribuição e enviado um memorando definitivo ao órgão distribuidor, para que este tomasse as providências necessárias

quanto a desinfecção e inspeção do local. A CETESB acompanhava estas providências e colhia amostras no local até que os resultados obtidos dos exames bacteriológicos em duas amostras consecutivas se tornassem negativos.

O sistema de distribuição era acompanhado em cada região através de gráficos da porcentagem de amostras contaminadas em função do tempo (mês).

Estes dados, nos gráficos, mostravam claramente que, de um modo geral, ao aumento gradativo do cloro residual correspondia uma redução na porcentagem de amostras contaminadas. Esta melhoria foi obtida pelas recomendações nos relatórios enviados pela CETESB à SAEC e COMASP (Companhia Metropolitana de Água de São Paulo), que passaram a reforçar as dosagens de cloro na saída das Estações de Tratamento de Água (ETAs) e recloração em certos reservatórios de distribuição, ao lado de outras medidas.

Com a visualização apresentada pelos gráficos, notava-se certo grau de associação entre duas variáveis, isto é, entre o número de amostras contaminadas e a concentração média de cloro residual. Assim, foi obtido o coeficiente de correlação linear igual a  $-0.60$  ( $r = -0.60$ ), que dá um significado quantitativo a esse grau associado. A correlação, sendo negativa, indica que as variáveis crescem no sentido contrário, ou seja, o número de amostras contaminadas decresce com o aumento de concentração média de cloro residual.

**Comentário:** Como se vê, este modelo é altamente empírico, simples, e eficaz, podendo perfeitamente ser utilizado para o controle da potabilidade da água distribuída. Porém, para melhor visualização do modelo, deveria ser explicado como se procederia a coleta das amostras dentro de cada região, bem como qual era o número de amostras a serem coletadas.

### **2.2.3. Controle da qualidade de água - planos de amostragem**

Iglesias, Diretor da Divisão de Programas e Avaliação da CETESB, publicou o trabalho intitulado Controle de Qualidade de Água - Planos de Amostragem<sup>(16)</sup>.

Nesse trabalho, salienta-se que o controle da contaminação da água é, sem dúvida, de primordial importância para o desenvolvimento econômico e social da comunidade e que qualquer atividade deve basear-se em dados concretos e consistentes, de modo que possam traduzir-se em verdadeiros benefícios e não se perderem em áreas de pequena importância.

Neste sentido, o autor propõe algumas idéias e técnicas de grande utilidade para a elaboração de Planos de Amostragem para o Controle da Qualidade de Águas.

A nosso ver, duas técnicas merecem ser destacadas neste trabalho, expostas a seguir.

a) A primeira é quanto à fixação dos objetivos, onde o autor comenta que devem-se fixar de maneira bastante clara os objetivos do plano, pois estes condicionarão toda a política de amostragem e tratamento dos dados. Como elementos de orientação, cita três exemplos de objetivos para o controle de qualidade da água distribuída a uma população:

objetivo 1: obtenção de dados para orientação de uma política de erradicação de focos de contaminação, por um Sistema de "Cloração de Emergência";

objetivo 2: visualização do comportamento do Sistema Distribuidor de Água em um certo período;

objetivo 3: orientação para os Sistemas de Tratamento e Abastecimento d'Água em aspectos físicos, químicos e bacteriológicos, desejáveis na água distribuída.

Para satisfazer os objetivos propostos, podem-se definir apenas os dados que são relevantes para tirar conclusões; por exemplo, as características que indicam condições de potabilidade, como cor, turbidez, ferro, colimetria, etc.

b) A segunda é quanto à subdivisão da população em estudo e, neste caso, o autor argumenta que quase sempre a população estudada pode ser subdividida em subconjuntos que são chamados de unidades amostrais, as quais se caracterizam-se por terem elementos comuns e perfeitamente identificáveis que os distinguem dos demais elementos da população.

Estes subconjuntos, que não devem apresentar superposição com outros da mesma população, servem de base para uma análise mais precisa do sistema em questão. Dessa forma, uma rede distribuidora pode ser subdividida da seguinte maneira:

- $S_1$  - pontos baixos;
- $S_2$  - pontos de fim de rede; e
- $S_3$  - pontos de cobertura.

Por essa razão, o autor afirma que o modelo de estratificação, ou seja, a técnica em subdividir uma população heterogênea em subpopulações (ou estratos), sem superposição, e dentro de cada subpopulação havendo homogeneidade, é de grande utilidade, dado que a variabilidade interna de cada subpopulação torna-se pequena e, em consequência, as estimativas da média e da variância são mais precisas.

Com os estratos já estruturados, pode-se admitir que, dentro de cada um deles, os pontos sejam homogêneos. Tomando-se, então, dentro de cada estrato uma amostra simples ao acaso e o processo passa a ser de amostragem casual estratificada. Com isso, obtém-se uma imagem melhor da população, por adição dos efeitos de cada subpopulação que a compõe.

#### 2.2.4. Um modelo de amostragem para o controle da potabilidade de um sistema de distribuição de água

Mattos, Consultor da CETESB, na ocasião, publicou o artigo cujo título é Um modelo de Amostragem para o Controle de Potabilidade de um Sistema de Distribuição de Água<sup>(19)</sup>.

No intuito de viabilizar seu modelo de amostragem, Mattos instituiu um conjunto de hipóteses fundamentais através das quais pretende substituir o universo de infinitos pontos da rede de distribuição de água, onde pode ser coletada uma amostra para ser analisada, por um universo finito de pontos significativos, para que se possa ter um conhecimento total do estado de potabilidade da água da rede. Esse conjunto de pontos significativos será chamado de Cadastro dos Pontos de Amostragem, sendo eles tais que:

a) se nenhum desses pontos estiver contaminado, então nenhum ponto da rede estará contaminado;

b) se pelo menos um desses pontos estiver contaminado, então pelo menos um ponto da rede estará contaminado.

Em qualquer linha da rede de distribuição, dois pontos consecutivos não devem estar separados por uma distância superior a um certo limite (cerca de três quarteirões).

Um sistema de controle de potabilidade ideal seria aquele em que existisse, em cada ponto cadastrado, um sensor eletrônico que analisasse continuamente a qualidade da água que passa por ele. Porém, tal sistema não se encontra implantado, seja por razões de custos ou seja devido ao estágio da tecnologia atual. Por isso, um trecho da rede de distribuição pode permanecer contaminado no mínimo por 48 horas, em virtude do tempo para coleta e obtenção dos resultados. Por outro lado, um trecho da rede de distribuição pode permanecer contaminado durante um certo tempo máximo ( $T_{max}$ ), que será tanto maior quanto menor for a amostragem, o que pode ser devido à falta de recursos financeiros.

O universo estatístico é constituído pelo Cadastro dos Pontos de Amostragem. Seja (N) o total desses pontos. Assim, uma amostra diária ( ou semanal ou horária , etc.) será composta de quatro estratos:

- pontos críticos ( $n_c$ ) - são os pontos de maior responsabilidade social, como: zonas de alto potencial epidemiológicos (escolas, hospitais, etc);
- pontos notáveis ( $n_n$ ) - são os pontos onde a probabilidade de contaminação é maior que nos demais, como pontos de pressão variável e pontos com teor de cloro residual livre menor que 0.2 mg/l;
- pontos genéricos ( $n_g$ ) - são os demais pontos (não notáveis e não críticos);
- pontos suspeitos ( $n_s$ ) - são os pontos adicionais da rede, ou seja, como não é permitido o aumento indefinido de pontos a serem coletados por dia, é necessário prever uma reserva de pontos para tais

eventualidades.

Os pontos críticos e os notáveis da rede de distribuição serão amostrados com uma frequência maior que os pontos genéricos.

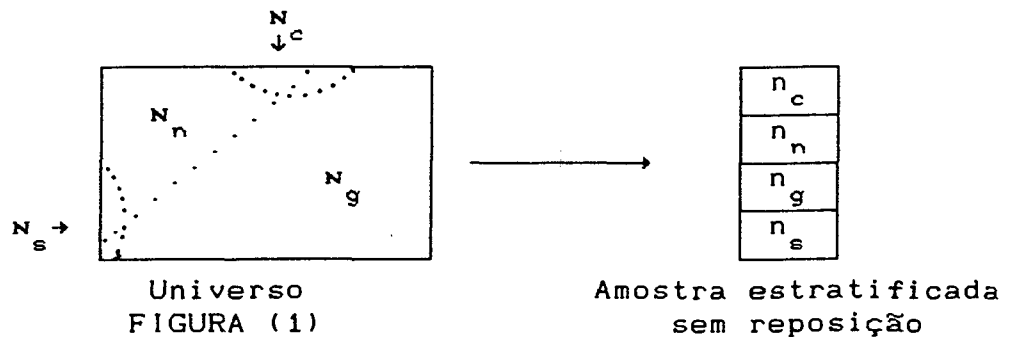
O limite diário ( $L$ ) de pontos amostrados, obtido a partir de considerações econômicas, será:

$$L = n_c + n_n + n_g + n_s \quad (1)$$

O universo é constituído de ( $N$ ) pontos de amostragem e estes, por sua vez, são divididos em duas partes mutuamente exclusivas. Assim, sendo ( $N_n$ ) o total dos pontos notáveis do universo estatístico e ( $N_g$ ) o total dos genéricos, tem-se

$$N = N_n + N_g \quad (2)$$

O esquema de composição da amostra diária é ilustrado na figura (1), onde ( $N_c$ ) é o total dos pontos críticos e ( $N_s$ ) o total dos suspeitos.



A confiabilidade ( $R$ ) desse modelo é definida como "a probabilidade de se ter, em uma amostra, todos os pontos que estiverem contaminados naquele momento, dentre os cadastrados".

Considera-se ( $c_n$ ) o total de pontos contaminados notáveis e ( $c_g$ ) o total de pontos contaminados genéricos, lembrando que o universo estatístico foi dividido em pontos notáveis e genéricos, mutuamente exclusivos. Nesse sentido, podem-se escrever as seguintes expressões para o cálculo das probabilidades de um ponto ser notável ( $p_n$ ), dado que se verificou ser contaminado (cont), e de um ponto ser genérico ( $p_g$ ), dado que



se verificou ser contaminado (cont). Assim, tem-se, respectivamente:

$$p(p_n / \text{cont}) = \frac{c_n}{c_n + c_g} \quad (3)$$

$$p(p_g / \text{cont}) = \frac{c_g}{c_n + c_g} \quad (4)$$

Notar que  $c = c_n + c_g =$  total de pontos contaminados.

Pode-se escrever que  $p(c_n)$  e  $p(c_g)$ , respectivamente, as probabilidades de serem amostrados todos os ( $c_n$ ) pontos notáveis contaminados e todos os ( $c_g$ ) pontos genéricos contaminados com amostras de tamanho ( $n_n$ ) e ( $n_g$ ), respectivamente, sejam dadas por:

$$p(c_n) = \left( \frac{n_n}{N_n} \right)^{c_n} \quad (5)$$

$$p(c_g) = \left( \frac{n_g}{N_g} \right)^{c_g} \quad (6)$$

A expressão geral para o cálculo da confiabilidade do modelo utiliza os teoremas da soma e do produto das probabilidades e as propriedades do "modelo de amostragem aleatória sem reposição".

Dessa forma, o fato de ocorrer um ponto contaminado notável numa amostragem não afeta a probabilidade de ocorrer um ponto contaminado genérico, dado que os eventos são independentes.

Nesse sentido, a probabilidade (R) de se ter, em uma amostra, todos os pontos contaminados será dada por:

$$R = \left( \frac{c_n}{c_n + c_g} \right) \cdot \left( \frac{n_n}{N_n} \right)^{c_n} + \left( \frac{c_g}{c_n + c_g} \right) \cdot \left( \frac{n_g}{N_g} \right)^{c_g} \quad (7)$$

Note-se que se  $n_n = n_g = 0$ , isto é, se não existirem amostras, a confiabilidade será nula. Por outro lado, se a amostra

contiver todos os (N) pontos do universo, isto é, se  $n_n = N_n$  e  $n_g = N_g$ , então a confiabilidade será de 100%.

À medida que as amostras vão sendo obtidas, sem reposição, a confiabilidade dessas amostras irá aumentando, até atingir 100%, ao fim de um período  $T_{max}$ . Assim, a expressão (7) pode ser interpretada como sendo a confiabilidade mínima do modelo.

Como já foi dito, um ponto qualquer da rede de distribuição não deve permanecer contaminado por um período maior do que  $T_{max}$ , tempo esse que será tanto maior quanto menor for a disponibilidade de recursos financeiros para o processo de amostragem. Visto que a amostragem é aleatória sem reposição, todos os pontos devem ser amostrados durante esse período.

Chamando-se de:

$T_c$  = período de amostragem dos pontos críticos;

$T_n$  = período de amostragem dos pontos notáveis;

$T_g$  = período de amostragem dos pontos genéricos;

tem-se:

$$T_c = \frac{N_c}{n_c}; \quad T_n = \frac{N_n}{n_n}; \quad T_g = \frac{N_g}{n_g} \quad (8)$$

Neste caso, cada ponto crítico, notável ou genérico, será amostrado, uma vez a cada  $T_c$  dias, uma vez a cada  $T_n$  dias e uma vez a cada  $T_g$  dias, respectivamente. As frequências de amostragem são dadas pelos inversos dos períodos.

O tamanho global (L) da amostra, como já foi mencionado, decorre de considerações econômicas. A cada ponto, para coleta, exame bacteriológico e inspeção sanitária, estão associados os seguintes custos:

$P_c$  = custo para coletar uma amostra de água em um ponto;

$P_b$  = custo de exame bacteriológico em uma amostra;

$P_s$  = custo de inspeção sanitária em um local.

O tamanho global (L), da amostra resultante, será obtido a partir de:

$$C = L (P_c + P_b) + (c_n + c_g) . P_s \quad (9)$$

Substituindo-se (1) em (9), tem-se:

$$C = (n_c + n_n + n_g + n_s) \cdot (P_c + P_b) + (c_n + c_g) \cdot P_s \quad (10)$$

onde C é a verba disponível para o intervalo de tempo considerado.

**Comentário:** Mattos utilizou o método de Monte-Carlo, que se baseia essencialmente na simulação de variáveis aleatórias, para determinar a época da amostragem e os pontos a serem amostrados, dentre os cadastrados.

Para selecionar a amostra na amostragem aleatória, parte-se de uma relação completa dos pontos que formam o universo; os pontos são numerados e a seleção é realizada por sorteio ao acaso dos números correspondentes aos pontos que formarão a amostra, sendo que todos os pontos do universo têm a mesma probabilidade de serem selecionados.

#### 2.2.5. Plano de amostragem de rede para controle da qualidade bacteriológica da água - planar 1001

Mancuso, Blum, Sanches, Técnicos da Divisão de Controle da Qualidade, do Departamento de Controle Sanitário da SABESP (Saneamento Básico do Estado de São Paulo), publicaram o artigo denominado Plano de Amostragem da Rede para Controle de Qualidade Bacteriológica da Água - Planar 1001<sup>(18)</sup>.

O objetivo desse plano é manter sob vigilância permanente a qualidade bacteriológica da água, identificando as áreas críticas da rede de distribuição de água para as medidas corretivas necessárias.

Esse trabalho consiste tanto de experiência adquirida na tarefa diária de aferição de potabilidade em vários sistemas de abastecimento em todo o Estado de São Paulo, como também de trabalhos teóricos elaborados anteriormente, entre os quais o "Modelo de Amostragem para Controle de Potabilidade de um Sistema de Distribuição de Água" do eng.º Mattos<sup>(19)</sup>.

As características da água na rede de distribuição podem sofrer alterações tanto ao longo da rede de distribuição como ao

longo do tempo, isto é, de um instante para outro. Um controle ideal para a qualidade bacteriológica da água deveria incluir todos os infinitos pontos que compõem a rede. Como isto é impossível devido às condições operacionais e/ou econômicas de que se dispõe, há necessidade de se definir um número finito de pontos representativos e uma frequência de amostragem para esses pontos.

O Universo de Amostragem é constituído de um número finito (n) de pontos, cada um representando um trecho da rede. Uma vez definido esse trecho, qualquer ponto situado nele representa, em termos de qualidade bacteriológica, todo o trecho. Assim, quanto maior for esse número, mais confiável será a amostragem.

A frequência de amostragem será definida para cada ponto ou trecho, em função da probabilidade de contaminação a ele associada, que pode ser devida a:

- Áreas onde o cloro residual é baixo,
- Áreas onde há má circulação da água,
- Áreas onde o abastecimento sofre interrupções frequentes,
- Áreas onde falta rede de esgotos,
- localização de ponta de rede, etc.

Quando um trecho da rede apresenta problemas desse tipo, a amostragem será feita com maior frequência. A esse critério se somará o critério de responsabilidade social como: pontos situados junto a:

- saídas de reservatórios,
- escolas,
- hospitais,
- asilos,
- creches, etc.,

os quais deverão ter maior frequência de amostragem.

Os autores do "Planar 1001"<sup>(18)</sup> definiram setor de amostragem (SA) como sendo um trecho da rede para o qual a qualidade bacteriológica da água é considerada constante. A amostragem será feita em um de seus pontos (endereços) de coleta de amostras.

O universo de amostragem fica constituído de um número (N) de SA's, sendo que cada SA é representado, para efeito da

qualidade bacteriológica da água, por um de seus pontos de coleta. Quando um SA contiver em seu interior pontos com maior probabilidade de contaminação ou de maior responsabilidade social, a amostragem deste SA será feita preferencialmente junto a esses endereços.

A composição de uma amostra é realizada de tal maneira que os SA de maior probabilidade de contaminação compareçam, proporcionalmente, mais vezes que os demais.

Adotou-se um critério empírico para atribuir probabilidades a cada um dos SA's. O critério inicia com um valor mínimo de ( $p = 0.1$ ). A esse valor somam-se os acréscimos indicados a cada resposta da questão formulada como segue:

- valor mínimo de  $p = 0.1$
- o SA apresentou na última amostragem residual de cloro maior ou igual a 0.2?  
SIM - acréscimo de 0.0  
NÃO - acréscimo de 0.3
- há rede de esgotos em todo o SA?  
SIM - acréscimo de 0.0  
NÃO - acréscimo de 0.2
- o abastecimento no SA é contínuo ou as interrupções são raras?  
SIM - acréscimo de 0.0  
NÃO - acréscimo de 0.2
- existe escola, hospital, asilo, creche, etc. no SA?  
SIM - acréscimo de 0.1  
NÃO - acréscimo de 0.0
- existe ponta de rede no SA?  
SIM - acréscimo de 0.1  
NÃO - acréscimo de 0.0.

O valor de ( $p$ ) é obtido somando-se ao valor mínimo (0.1) os acréscimos indicados.

Existem "casos especiais": quando no interior de um SA estiver localizado um reservatório de distribuição, a amostragem deve ter frequência alta. Por esta razão, atribui-se a este SA um ( $p$ ) mínimo de 0.7.

O sorteio de uma amostra é realizado de acordo com o seguinte modelo:

- a) a cada SA é associado um dentre os seguintes números:  
0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.5 - 0.6 - 0.7 - 0.8 - 0.9 - 1.0;
- b) toma-se um SA, ao qual será associado um valor (p), e faz-se um sorteio entre os seus 10 valores possíveis e denomina-se-o de (x). Compara-se esse número (x) com o (p) associado ao SA e toma-se uma das decisões seguintes:
  - se  $x \leq p$ , o SA será amostrado;
  - se  $x > p$ , o SA não será amostrado.

Esse procedimento é repetido para cada um dos SA's cadastrados, tendo-se então, os SA's que constituirão a amostra.

O sorteio dos (x) é aleatório. Portanto, cada um dos dez valores de (x) terá a mesma probabilidade de ser sorteado. Dessa forma:

$$\begin{aligned}
 p(x = 0.1) &= p(x = 0.2) = \dots = p(x = 1.0) = 0.1 \text{ e} \\
 p(x \leq 0.1) &= 0.1 \\
 p(x \leq 0.2) &= 0.2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 p(x \leq 1.0) &= 1.0.
 \end{aligned}$$

Portanto, (p) representa a probabilidade de o SA ser sorteado.

Chamando-se de:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \text{número de SA's com } p = 0.1 \\
 N_2 &= \text{número de SA's com } p = 0.2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 N_{10} &= \text{número de SA's com } p = 1.0
 \end{aligned}$$

onde  $N = N_1 + N_2 + \dots + N_{10}$ , e considerando-se, agora, os produtos  $N_1 \cdot p_1$ ,  $N_2 \cdot p_2$ , ...,  $N_{10} \cdot p_{10}$ , onde  $p_1 = 0.1$ ,  $p_2 = 0.2$ , ...,  $p_{10} = 1.0$ , obtêm-se, respectivamente, os números esperados:

$$\begin{aligned}
 n_1 &= p_1 \cdot N_1 = 0.1 \cdot N_1 \\
 n_2 &= p_2 \cdot N_2 = 0.2 \cdot N_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 n_{10} &= p_{10} \cdot N_{10} = 1.0 \cdot N_{10}
 \end{aligned}$$

onde  $n = n_1 + n_2 + \dots + n_{10}$  é o tamanho mais provável de uma amostra.

À medida que as informações sobre os SA's forem sendo obtidas, os valores de  $(p)$  correspondentes a cada SA e os números  $N_1, N_2, \dots, N_{10}$  vão se modificando e, em consequência, os valores  $n_1, n_2, \dots, n_{10}$  também mudam.

A frequência com que cada SA será amostrado depende do seu valor de  $(p)$ . Quanto maior for esse valor, maior será a frequência de amostragem. Como a escolha é feita por sorteio, pode-se falar em frequência média e períodos médios, sendo:

$T_1$  = período médio entre duas amostragens de um SA  
com  $p = 0.1$ ;

$T_2$  = período médio entre duas amostragens de um SA  
com  $p = 0.2$ ;

.....

$T_{10}$  = período médio entre duas amostragens de um SA  
com  $p = 1.0$ .

Considerando-se que fosse coletada uma amostra de  $(n)$  SA's por dia, ter-se-ia:

$$T_1 = \frac{N_1}{n_1} = \frac{N_1}{0.1 \cdot N_1} = \frac{1}{0.1} = 10 \text{ dias};$$

$$T_2 = \frac{N_2}{n_2} = \frac{N_2}{0.2 \cdot N_2} = \frac{1}{0.2} = 5 \text{ dias};$$

.....

$$T_{10} = \frac{N_{10}}{n_{10}} = \frac{N_{10}}{1.0 \cdot N_{10}} = \frac{1}{1.0} = 1 \text{ dia}.$$

Assim, um SA com  $(p = 0.1)$ ,  $(p = 0.2)$ , ...,  $(p = 1.0)$  seria amostrado, respectivamente, em média, com uma frequência de:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{10}, \text{ uma vez a cada 10 dias,}$$

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{5}, \text{ uma vez a cada 5 dias,}$$

.....

$$f_{10} = \frac{1}{T_{10}} = \frac{1}{1}, \text{ uma vez por dia.}$$

Se as amostragens da rede de distribuição não forem diárias, faz-se necessário multiplicar esses números por um fator igual ao intervalo entre duas amostragens. Chamando-se de (I) o intervalo (em dias) entre duas amostragens, tem-se:

$$T_1 = \frac{N_1}{n_1} \times I \quad \text{e} \quad f_1 = \frac{1}{10 \cdot I}$$

$$T_2 = \frac{N_2}{n_2} \times I \quad \text{e} \quad f_2 = \frac{1}{5 \cdot I}$$

.....

$$T_{10} = \frac{N_{10}}{n_{10}} \times I \quad \text{e} \quad f_{10} = \frac{1}{I}$$

É admissível supor que esse modelo de amostragem apresente uma confiabilidade superior à de um outro que considere uma amostra escolhida se nenhum critério de privilégio.

A confiabilidade neste modelo é a mesma definida por Mattos<sup>(19)</sup>, ou seja, é a probabilidade de uma amostra conter as contaminações existentes na rede de distribuição no intervalo de tempo em que é feita a coleta dessa amostra.

Chamando-se de:

$d_1$  = número de contaminações detectadas em SA's com (p = 0.1), de (A) amostras coletadas de (n) SA's cada uma;

$d_2$  = número de contaminações detectadas em SA's com (p = 0.2), de (A) amostras coletadas de (n) SA's cada uma;

.....

$d_{10}$  = número de contaminações detectadas em SA's com



(p = 1.0), de (A) amostras coletadas de (n) SA's cada uma,

onde  $d = d_1 + d_2 + \dots + d_{10}$ , é o número total de contaminações detectadas em (A) amostras de (n) SA's cada uma.

Dessa forma, os números médios de contaminações, por amostra, distribuídos conforme os valores de (p), ficam:

$\frac{d_1}{A}$  = número médio de contaminações detectadas, por amostra, em SA's com p = 0.1;

$\frac{d_2}{A}$  = número médio de contaminações detectadas, por amostra, em SA's com p = 0.2;

.....  
 $\frac{d_{10}}{A}$  = número médio de contaminações detectadas, por amostra, em SA's com p = 1.0.

Quando o número médio de contaminações detectadas, por amostra, em SA's com (p = 0.1) for ( $d_1 / A$ ), é de se esperar que neste setor haja (1 / 0.1) vezes mais SA's contaminados. Em consequência, pode-se definir um número ( $c_1$ ) correspondente ao número médio de SA's com (p = 0.1) e contaminados. Da mesma forma, ( $c_2$ ) corresponde ao número médio de SA's com (p = 0.2) e contaminados e assim por diante, até ( $c_{10}$ ), onde ( $c_{10}$ ) representa o número médio de SA's com (p = 1.0) e contaminados, ou seja:

$$c_1 = \frac{1}{0.1} \times \frac{d_1}{A}$$

$$c_2 = \frac{1}{0.2} \times \frac{d_2}{A}$$

.....

$$c_{10} = \frac{1}{1.0} \times \frac{d_{10}}{A}$$

onde  $c = c_1 + c_2 + \dots + c_{10}$  é o número total esperado de contaminações.

Supondo-se que durante o intervalo de coleta de uma amostra existam na rede de distribuição:

$$c_1 = \text{SA's contaminados com } p = 0.1;$$

$$c_2 = \text{SA's contaminados com } p = 0.2;$$

.....

$$c_{10} = \text{SA's contaminados com } p = 1.0,$$

a probabilidade de uma contaminação ser uma das ( $c_1$ ) será dada por ( $c_1 / c$ ); a probabilidade de uma contaminação ser uma das ( $c_2$ ) será dada por ( $c_2 / c$ ) e assim por diante, até a probabilidade de ser uma das ( $c_{10}$ ) será dada por ( $c_{10} / c$ ).

Por outro lado, as probabilidades a serem amostrados: (um) dos ( $c_1$ ) SA's contaminados, (um) dos ( $c_2$ ) SA's contaminados e assim por diante, até (um) dos ( $c_{10}$ ) SA's contaminados, serão dadas, respectivamente, por:

$$\frac{n_1}{N_1} = 0.1; \quad \frac{n_2}{N_2} = 0.2; \quad \dots; \quad \frac{n_{10}}{N_{10}} = 1.0$$

As probabilidades de serem amostrados (dois) dos ( $c_1$ ) SA's contaminados, (dois) dos ( $c_2$ ) SA's contaminados e assim sucessivamente, até (dois) dos ( $c_{10}$ ) SA's contaminados, serão dados, respectivamente, por:

$$\left(\frac{n_1}{N_1}\right)^2 = (0.1)^2; \quad \left(\frac{n_2}{N_2}\right)^2 = (0.2)^2; \quad \dots; \quad \left(\frac{n_{10}}{N_{10}}\right)^2 = (1.0)^2$$

Generalizando, as probabilidades de serem amostrados (todos) os ( $c_1$ ) SA's contaminados, (todos) os ( $c_2$ ) SA's contaminados e assim sucessivamente, até (todos) os ( $c_{10}$ ) SA's contaminados, serão dados, respectivamente, por:

$$\left(\frac{n_1}{N_1}\right)^{c_1} = (0.1)^{c_1}; \quad \left(\frac{n_2}{N_2}\right)^{c_2} = (0.2)^{c_2}; \quad \dots; \quad \left(\frac{n_{10}}{N_{10}}\right)^{c_{10}} = (1.0)^{c_{10}}.$$

Finalmente, tem-se que a probabilidade de uma amostra conter as ( $c$ ) contaminações existentes na rede de distribuição, será dada por:

$$R = \frac{c_1}{c} (0.1)^{c_1} + \frac{c_2}{c} (0.2)^{c_2} + \dots + \frac{c_{10}}{c} (1.0)^{c_{10}} \quad (11)$$

ou

$$R = \frac{1}{c} [c_1 (0.1)^{c_1} + c_2 (0.2)^{c_2} + \dots + c_{10} (1.0)^{c_{10}}]. \quad (12)$$

**Comentário:** a nosso ver, algumas considerações construtivas para o aperfeiçoamento do modelo devem ser feitas. Por exemplo, um SA que tivesse a ele associado  $p = 1.0$  seria sempre amostrado, ao passo que, outro SA com  $p = 0.1$ , correria o risco de "nunca ser amostrado". Assim, seria recomendável um processo de reavaliação que garantisse a oportunidade de tanto aumentar quanto diminuir a cada SA ser amostrado.

#### 2.2.6. Plano de amostragem para controle da qualidade de água na rede de distribuição do Município de São Paulo

Silva JR, Matos, Técnicos da Divisão da Região Metropolitana de São Paulo da SABESP, publicaram o trabalho Plano de Amostragem para o Controle da Qualidade da Água na Rede de Distribuição de São Paulo<sup>(7)</sup>.

Nesse trabalho, os autores comentam que, em anos anteriores, o controle de qualidade da água distribuída à população de São Paulo era feito referente a reclamações oriundas de diversas fontes de informação que envolviam variáveis como: água suja, ausência de cloro e contaminação bacteriológica. As reclamações eram atendidas imediatamente, isto é, as equipes de controle se deslocavam até o local da reclamação, onde se procediam as inspeções sanitárias tomando-se as medidas corretivas como: descargas da rede para eliminação dos problemas de água suja, estabilização dos níveis de cloro e coleta de amostras para verificação da potabilidade bacteriológica.

Em anos subsequentes, outras variáveis relacionadas à qualidade da água, como epidemiológica e doenças hidrotransmissíveis, foram agregadas ao controle, gerando inspeções locais e coleta de água para exame de potabilidade bacteriológica.

A CETESB, em convênio com a SABESP, desenvolveu o chamado "Programa de Vigilância da Qualidade de Água para Consumo Humano"<sup>(23)</sup>, notificando também a esse Departamento as anomalias relacionadas à qualidade da água distribuída.

Devido ao número de reclamações e à diversidade das informações a serem controladas, o Departamento de Controle Sanitário criou um plano estatístico que viabilizasse a melhor interpretação das variáveis controladas e o melhor desempenho quanto às ações corretivas.

A rede de distribuição de água do Município de São Paulo foi dividida em 58 setores, os quais constituem áreas de influência de um ou mais reservatórios que, por sua vez, são alimentados por um ou mais efluentes de Estações de Tratamento de Água que compõem os Sistemas Produtores da SABESP.

O plano de amostragem desenvolvido por esse departamento recebeu o nome de "Controle dos 100 pontos", pois se fundamentava na amostragem aleatória de 100 pontos dentro de cada setor e as variáveis controladas eram, basicamente, o cloro residual e a turbidez.

Após algum tempo em uso, verificaram-se falhas de ordem operacional com relação à frequência de amostragem de cada setor. Havia casos de um setor somente ser amostrado após 6 meses, em virtude da área do setor, das dificuldades de coleta em determinadas áreas e do número de pontos a serem coletados. Neste sentido, pensou-se num controle mais eficaz, priorizando-se a frequência de amostragem. Assim, foi dimensionado o tamanho da amostra de cada setor referente aos parâmetros de controle, como: cloro residual e turbidez.

Uma população é avaliada através da amostra. Portanto, os parâmetros populacionais, como média ( $\mu$ ) e o desvio-padrão ( $\sigma$ ), são avaliados pelas estatísticas amostrais correspondentes.

Ao estimar a média ( $\mu$ ) de uma população através de sua estimativa pontual ( $\bar{x}$ ), observa-se uma pequena diferença, em virtude de cometer-se um erro de estimação. A fim de evitar tal eventualidade, é usual construir um intervalo de estimação, ou intervalo de confiança, da forma:

$$\mu = \bar{x} \pm \text{erro de amostragem}$$

O erro num intervalo de estimação diz respeito ao desvio (diferença) entre a média amostral ( $\bar{x}$ ) e a verdadeira média populacional ( $\mu$ ). Como o intervalo de confiança tem centro na média amostral, o erro próximo provável é igual à metade da amplitude do intervalo. Logo, o intervalo  $\bar{x} \pm Z.\sigma/n^{1/2}$ , pode ser escrito como:

$\bar{x} \pm$  erro, o erro ( $e$ ) sendo este dado por

$$e = Z \cdot \frac{\sigma}{n^{1/2}} \quad (13)$$

onde:

$\bar{x}$  = média amostral

Z = confiança desejada

n = tamanho da amostra

$\sigma$  = desvio-padrão populacional.

Quando o desvio-padrão populacional não for conhecido (o que geralmente ocorre), usa-se o desvio-padrão amostral ( $s$ ) como estimativa e, neste caso, a distribuição a ser usada é Student ( $t$ ), com  $(n-1)$  graus de liberdade. Assim;

$$e = t \cdot \frac{s}{n^{1/2}} \quad (14)$$

Com as fórmulas (13) e (14) pode-se determinar o tamanho da amostra:

a) quando se conhece o desvio-padrão populacional

$$n = \left[ Z \cdot \frac{\sigma}{e} \right]^2 \quad (15)$$

b) quando não se conhece o desvio-padrão populacional

$$n = \left[ t \cdot \frac{s}{e} \right]^2 \quad (16)$$

No caso em que se deseja assegurar com certa precisão na estimativa da média, faz-se necessário usar o coeficiente de variação (CV). Neste caso, a fórmula (16) fica:

$$n = \left[ t \cdot \frac{CV}{e} \right]^2, \quad \text{onde} \quad CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad (17)$$

Foi então estabelecido um plano piloto para o dimensionamento do tamanho da amostra de cada um dos 58 setores de abastecimento, levando-se em conta primeiramente o parâmetro do cloro residual.

Consideraram-se dados históricos, de aproximadamente 4 anos (de 1982 a 1985), de todas as amostragens realizadas em cada setor de abastecimento.

Fixou-se em 95% a confiança desejada e o erro relativo inferior a 30% no valor da média.

Os tamanhos das amostras obtidas foram considerados elevados e isto deve, principalmente, aos seguintes fatores:

- alguns setores foram pouco amostrados no período considerado;
- a frequência de amostragem era muito baixa: cada setor em média era amostrado a cada 5 meses e, portanto, nestes intervalos as variações, em termos de desvio-padrão, eram altas;
- considerando o próprio setor de abastecimento, observou-se elevada variação dos níveis de cloro, provavelmente pela não representatividade dos pontos amostrados.

Surgiu então a necessidade de se aferir o plano de amostragem e passou-se a controlar a distribuição dos pontos dentro de cada setor. Em amostragens subsequentes, verificou-se que, fixado o mesmo erro relativo (30%), os tamanhos das amostras diminuíram consideravelmente.

Atualmente, o plano de amostragem para a rede de distribuição do Município de São Paulo engloba os 58 setores de abastecimento e é fundamentado no controle dos parâmetros cloro residual e turbidez. Os pontos a serem amostrados são escolhidos ao acaso pelas equipes de campo, tomando-se cuidado para que a distribuição dos mesmos, dentro do setor, venha a representá-lo da melhor forma possível.

O tamanho da amostra (n) de cada setor é determinado tanto para os resultados do cloro residual como para a turbidez e, no final, adota-se o de maior valor.

Por condições econômicas inerentes à operacionalização

do plano, o tamanho máximo de amostra por setor a ser considerado é igual a 100 e, no caso de setores em se obtêm tamanhos de amostras pequenos, adota-se 20. Assim, no período de um mês, todos os setores serão amostrados com frequência variada.

Comentário: Apesar de esse trabalho comentar o plano de amostragem para o controle da qualidade da água, ainda devem ser feitas algumas considerações para o melhoramento do modelo. Por exemplo, o modelo deveria diferenciar os pontos de maior probabilidade de contaminação, dos pontos de maior responsabilidade social e dos pontos genéricos, dando prioridade, na amostragem, para os primeiros seguidos dos segundos, para melhor representatividade.

#### 2.2.7. Descargas na rede para preservar a qualidade da água

Berzin, Fernandes, Santos, publicaram o trabalho intitulado Descargas na Rede para Preservar a Qualidade da Água<sup>(2)</sup>.

Nesse trabalho, os autores mencionam que a qualidade da água de abastecimento é feita por acionamento de descargas na rede. Isto porque as águas distribuídas à população, após as fases de tratamento e reservação, possuem uma série de características que podem alterar suas qualidades, principalmente os parâmetros como turbidez, cor, ferro e cloro residual, em virtude da deteriorização das condições internas das tubulações e do tempo de permanência das mesmas na rede de distribuição.

Dentro da rede de distribuição há acúmulos de depósitos precipitados que formam tubérculos e incrustações nas paredes internas. Já as variações da velocidade d'água, devidas a oscilações dos picos de abastecimento, provocam o desprendimento de partículas desses materiais, ocasionando na maioria dos casos aumentos significativos de cor, turbidez e ferro, com o conseqüente alto consumo do residual de cloro, favorecendo contaminações. Além de a água ficar com um aspecto asqueroso pela cor, em alguns casos poderão ser encontradas águas com odor

desagradável.

Se uma água for distribuída com pH abaixo de seu valor de saturação, ela será corrosiva e a corrosão agirá sobre as canalizações, caixas de ferro, concreto e outros materiais. Além de diminuir a vida útil das instalações mencionadas, isto poderá provocar a dissolução de depósitos anteriormente formados, provocando aumento de cor, de turbidez, do teor de ferro dissolvido, da alcalinidade e da dureza<sup>(25)</sup>.

O problema se agrava ainda mais quando as redes de abastecimento possuem muitas "pontas de redes". Neste caso, a água não circula suficientemente, adquirindo baixa velocidade, favorecendo os acúmulos de tubérculos, que degradam a qualidade da água.

Nesse sentido, as descargas nas redes de abastecimento de água têm por finalidade remoção de materiais incrustados e/ou depositados. Dessa forma, devem-se utilizar as descargas como manutenção preventiva das redes de abastecimento, e não somente para limpezas instantâneas. Com isso, mantém-se a potabilidade da água dentro das normas e padrões fixados pela Portaria n.º 56 Bsb, de 13/3/77. (Atualmente, a Portaria em vigor é a 36/GM, de 19 de janeiro de 1990)<sup>(5)</sup>. As descargas também evitam reclamações da população quanto à qualidade da água vendida.

O horário mais conveniente para tais descargas é preferencialmente o noturno, quando a rede opera com pressão maior, facilitando a limpeza e diminuindo o tempo de acionamento devido ao maior arraste de sujeiras, além do fato de o consumo ser baixo, não prejudicando o abastecimento.

As descargas devem ser acionadas individualmente e controladas rigorosamente até a água adquirir aspecto visual limpo e cloro residual dentro da faixa ideal.

Não se recomenda a abertura em série, a fim de evitar desperdícios e abaixar em demasia a pressão da rede, ocasionando baixo rendimento da limpeza e prejudicar o abastecimento no geral. Mas em alguns casos, as descargas em série poderão ser usadas. Nestes casos, o operador abrirá de 5 a 10 descargas quase que



instantâneas, a fim de aumentar o número de operações por noite.

Também é de suma importância que se colem amostras antes e após o acionamento das descargas, para análises dos parâmetros como cor, turbidez e cloro residual livre, e que em períodos mais longos, sejam incluídos ferro e colimetria.

**Comentário:** Embora esse trabalho não trate, exclusivamente, de técnicas de plano de amostragem, ele é de grande importância porque visa o controle da qualidade bacteriológica da água no sistema de distribuição, visto que as descargas removem os materiais incrustantes e/ou depositados, eliminando os problemas da água suja e estabilizando o cloro residual livre, mantendo, assim, a potabilidade da água dentro das normas e padrões fixadas pela Portaria n.º 36/GM do Ministério do Estado da Saúde, de 19.01.90<sup>(5)</sup>.

#### 2.2.8. Mapeamento das anomalias nas redes de distribuição

Silva JR., Matos, Ballack, do Controle de Qualidade da SABESP, publicaram o trabalho denominado Mapeamento das Anomalias nas Redes de Distribuição<sup>(e)</sup>.

Neste trabalho são comentadas algumas características das redes de distribuição e suas complexidades inerentes ao processo de controle de qualidade da água que circula em seu interior. São também avaliados os fenômenos de transformação da qualidade da água ao longo da rede e ao longo do tempo, sendo identificadas as principais classes de anomalias típicas do sistema distribuidor.

É através da rede de distribuição que o consumidor tem contato com a água fornecida e, conseqüentemente, obtém os benefícios de saúde, higiene e conforto em virtude da quantidade e qualidade satisfatórias para o consumo humano. Mas, por outro lado, são inúmeras as possibilidades de interferência dos mais variados fatores do meio de operação das redes. Assim, as redes estão sujeitas a ocorrências capazes de comprometer a qualidade de suas águas, mesmo que essa tenha saído dos seus sistemas

produtores com todos os parâmetros qualitativos dentro das faixas de valores especificadas. Daí a importância e a necessidade de um controle constante e eficaz sobre o sistema distribuidor.

O sistema distribuidor é um sistema dinâmico, onde o produto final do processo de transformação não aguarda em prateleiras os resultados de aprovação ou desaprovação junto aos padrões de qualidade exigido. No caso da rede de distribuição, quando se coleta uma amostra de água para análise, essa água já se deslocou em relação ao ponto de controle, ou seja, quando se avalia a qualidade da água, esta já está sendo consumida.

Quando se trata de processos dinâmicos restritos a pequenas áreas pode-se, através de frequências adequadas, garantir a qualidade da água, enquanto que para grandes áreas do sistema isto torna-se bastante difícil, em virtude, principalmente, da heterogeneidade da rede, tanto em relação ao controle de detecção de anomalias quanto em relação à ação corretiva necessária.

A questão de heterogeneidade e da área do sistema pode ser melhor resolvida através de uma subdivisão em subsistemas com áreas menores e com uma certa homogeneidade em relação a algumas características. A subdivisão da rede em setores de abastecimento pode ser adequadamente utilizada para esse fim.

Dado que a finalidade é detectar as áreas críticas, considerou-se, na concepção do mapeamento, a adequação de se trabalhar com subunidades especiais ainda menores que os setores de abastecimento, o que permite um maior detalhamento das áreas críticas e uma atuação ainda mais localizada.

O passo seguinte foi o estabelecimento das variáveis a serem mapeadas, como contaminação bacteriológica, ausência de cloro, água com gosto e/ou odor, água suja, turbidez elevada, doenças hidrottransmissíveis, arrebentamentos e vazamentos na rede.

Todos os meses são lançados os totais de cada variável anômala nas plantas que constituem cada setor de abastecimento e a cada mês são emitidos relatórios contendo:

- resumo do número de ocorrências no mês e no período anterior de cada variável nas plantas e setores considerados;
- relação das piores plantas e setores segundo cada

- variável nas plantas e setores considerados;
- relação das piores plantas e setores considerando-se o conjunto de variáveis no mês e no período.

Para a determinação das piores plantas e setores em relação a cada variável, é necessária apenas a comparação entre os números de ocorrências da anomalia em cada planta e setor, enquanto que para os piores locais em relação ao conjunto de variáveis havia um problema: como comparar anomalias que se apresentam em diferentes ordens de grandeza e importância em relação à qualidade da água? Neste caso, poderia haver um mascaramento na caracterização das piores plantas, com a predominância de problemas mais comuns, como vazamentos, em prejuízo de variáveis com maior importância sanitária, como as contaminações. Para contornar essa distorção, optou-se por calcular frequência relativa conforme seu significado sanitário, tais como:

- contaminação bacteriológica	0.27
- ausência de cloro	0.17
- água com gosto e/ou odor	0.17
- água suja	0.17
- turbidez elevada	0.17
- doenças hidrottransmissíveis	0.03
- arreventamentos	0.01
- vazamentos	0.01

É importante ressaltar que a definição desses pontos se baseia em critérios empíricos, estabelecidos a partir de experiência obtida no controle de qualidade de água, ao longo dos anos, estando sujeito a aperfeiçoamentos posteriores. Há também flexibilidade do sistema para alterações dos pesos, podendo-se trabalhar apenas com frequências relativas.

A partir das frequências relativas e dos pesos atribuídos, são calculados os índices de cada planta e de cada setor em relação às variáveis tomadas isoladamente ou em conjunto.

Exemplo ilustrativo: suponha-se que em determinado mês o número total de ocorrências de contaminação bacteriológica fosse

50 e, em uma determinada planta 'P' ocorressem 5 contaminações. O índice (I) da planta 'P' em relação a essa variável, nesse mês, seria calculado da seguinte forma:

$$I = \frac{\text{ocorrências na planta}}{\text{total de ocorrências}} \times \text{peso da variável} \times 100$$

$$I = \frac{5}{50} \times 0.27 \times 100 = 2.7$$

De maneira análoga, são calculados os índices da planta 'P' em relação às outras variáveis mapeadas. De modo similar, são calculados os índices das outras plantas em relação às variáveis mapeadas.

O índice da planta 'P' em relação ao conjunto de variáveis corresponde à soma dos índices de cada variável. O mesmo procedimento se aplica para as demais plantas.

Feitos os cálculos, faz-se a comparação entre os índices de cada variável e o índice do conjunto destas, sendo as piores plantas as que tiverem os maiores valores. Dessa forma, obtêm-se a cada mês, as relações das piores plantas segundo cada uma das variáveis mapeadas e do conjunto das mesmas.

Para a obtenção dos índices dos setores, segue-se a mesma sequência, substituindo-se o número de ocorrências na planta pelo número de ocorrências no setor. Porém, no caso dos setores também existem problemas relativos à ordem de grandeza. Isto porque existem setores muito grandes, com várias plantas, enquanto que outros são bem pequenos, com poucas plantas. Para evitar a influência desse fator, os índices de cada setor, tanto a nível das variáveis isoladas como para o conjunto, são divididos pelo número de plantas que compõem o setor em questão.

A verificação das piores plantas e dos piores setores considerando-se os períodos acumulados, se dá de maneira similar, levando-se em conta o número de ocorrências em cada planta e setor e o total de ocorrências registrados não apenas no mês, mas no intervalo de tempo considerado.

## 2.3. Trabalhos elaborados por técnicos estrangeiros

### 2.3.1. Técnicas de amostragem no sistema de distribuição

Castorina, publicou o trabalho denominado *Sampling Techniques in the Distribution System* <sup>(a)</sup>.

Nesse trabalho, o autor comenta as técnicas de coleta e as amostras representativas, para obtenção da qualidade da água e diz que o veículo mais importante é a pessoa que coleta as amostras.

A pessoa responsável pela coleta das amostras deve estar bem treinada na técnica de amostragem e quanto à qualidade básica da água. Além disto, deve ser honesta, e ter como objetivo fazer um bom trabalho.

O autor diz que é bom começar o processo de seleção pela divisão do sistema de distribuição de áreas maiores em pequenas ramificações e, então, selecionar os locais. Assim, a linha principal que deixa o reservatório pode ser dividida em áreas distintas. Todas as linhas ramificadas dentro daquelas áreas podem ser interligadas em uma grande zona, mas podem muito bem ser divididas em zonas específicas, muito pequenas, por meio de registros ou reguladores de pressão.

Em grandes sistemas, não é possível amostrar cada zona individualmente, mas um esforço deve ser feito para amostrar a maioria dessas áreas, para obter-se um quadro representativo do sistema de distribuição. As áreas servidas pelos reservatórios de distribuição devem ser tratadas independentemente do resto do sistema, porque existem muitas maneiras em que essa água pode ser contaminada.

A própria seleção de locais para as amostragens fundamenta-se no conhecimento do sistema de distribuição. A decisão final relativa à amostra depende do objetivo de coleção de informação exata sobre o sistema de distribuição, e nunca deve ser influenciada pelo tipo de resultados que se gostaria de obter.

Quando se coleta uma amostra, deve-se ter cuidado com:

garrafas mal preparadas, tipos errados de garrafas, pontos de coletas sujos e torneiras estragadas, pois estes itens podem aumentar as impurezas que não estão presentes, normalmente.

A seleção das torneiras pode ser o maior obstáculo no programa, pois achar um lugar confiável de amostragem é muito difícil. Os melhores lugares são aqueles em que a água é usada o dia inteiro, por exemplo, nas escolas, nos bombeiros e em outros lugares públicos. Como o vandalismo e o descuido, em geral, aumentam em lugares públicos, estes locais estão tornando-se pouco acessíveis para coleta de amostras: 50% deles, em média, estão fechados durante o dia todo por razões de segurança. Podem-se usar as casas para amostragem, mas com certas precauções. A pia da cozinha é o lugar menos aconselhável, visto que ela é objeto de maior contaminação. Uma torneira limpa e brilhante não é necessariamente a melhor para a coleta em uma casa, porque mesmo limpa está próxima a objetos que poderão contaminá-la pois, o pano que era usado para dar brilho à torneira da pia era, provavelmente, o único usado para limpar também a pia e pode muito bem contaminar a boca da torneira.

O Safe Drinking Water Act indica o número de amostras a serem coletadas no que se referente ao número de habitantes, mas cabe lembrar que esses números são considerados como as exigências mínimas e, em muitos casos, eles são pequenos em relação ao necessário para um bom controle da qualidade. Para uma população menor que 1000 habitantes, deve-se coletar um amostra por mês, mas, na opinião do autor, as amostras coletadas em menos de uma vez a cada duas semanas não protegem os consumidores. Para grandes sistemas, o número de amostras requeridas para um bom controle pode variar de 10% a 100% a mais que o número sugerido. O verdadeiro número de amostras analisadas deve ser o número que produzirá a informação exigida para manter eficiente controle da qualidade da água no sistema de distribuição.

O Safe Drinkind Water Act tem mudado alguns dos procedimentos, mas um efeito ótimo na amostragem tem vindo das técnicas mais sofisticadas agora sendo usadas ou sendo propostas. Não é possível, no escopo desse trabalho, incluir todas as mudanças que têm ocorrido, mas ele indica os procedimentos e as

mudanças mais importantes que têm ocorrido.

As amostras bacteriológicas não têm mudado muito, mas o autor reconhece que o tempo entre a coleta e a análise é crítico. O bom seria que as amostras bacteriológicas fossem analisadas imediatamente após a coleta, ou num prazo máximo de 30 horas (senão, os resultados seriam quase insignificantes), sendo as amostras imediatamente armazenadas em geladeira afim de permanecerem tão originais quanto possível.

A melhor maneira de garantir todas as informações no laboratório é colocar grandes rótulos nas garrafas das amostras, nos quais o coletador pode registrar tudo o que for importante. Por exemplo, o dia e a hora de coleta podem dizer ao analista sobre o que está ocorrendo no sistema de distribuição numa certa hora do dia ou num certo dia da semana; essa informação pode proporcionar ao coletador, em presença de dados posteriores, rever o sistema e tomar decisões importantes sobre o controle da qualidade da água. O coletador deve registrar todas as informações que achar importantes, mesmo que nem todas sejam usadas posteriormente.

**Comentário:** Embora o trabalho verse sobre técnicas de amostragem no sistema de distribuição, a teoria nele apresentada também se aplica a planos de amostragem que visam o controle da qualidade da água pois, além de tratar das técnicas de amostragem relevantes, trata também da divisão do sistema de distribuição de áreas maiores em menores, e da seleção dos locais, dentro delas, para a obtenção de amostras representativas da potabilidade da água.

### **2.3.2. Bactéria heterotrófica nos sistemas de distribuição na água Plano de amostragem para monitoramento**

Block, El-Shaarawi, Maul, sendo o primeiro e terceiro, do Centro de Ciências do Meio-Ambiente da Universidade do Metz da França e o segundo, do Instituto Nacional de Pesquisa de Água do Canadá, publicaram o artigo denominado Heterotrophic Bacteria in

Water Distribution Systems - Sampling Design for Monitoring<sup>(3)</sup>.

Nesse artigo, o sistema de distribuição de água é considerado sendo composto de várias zonas para seu monitoramento, onde as variações de bactérias em cada zona são modeladas pela distribuição binomial negativa com parâmetros  $p$  e  $k$ . A probabilidade de aceitação (PA) da água na rede está sob controle (isto é, que não excede 100 bactéria/ml) é dada por:

$$PA = \sum_{r=0}^{100n} \frac{(nk + r - 1)!}{(nk - r)! r!} \cdot \frac{p^r}{(1 + p)^{nk+r}} \quad (18)$$

onde  $n$  é o número de amostras e  $r$ , é a quantia de bactérias.

A finalidade do monitoramento é verificar se a densidade média bacteriológica da água excede ou não um padrão específico. Os autores citam que a European Economic Community (EEC) regulamenta, para lugares da água potável, que a média aritmética para o total de bactéria heterotrófica, a 20°C, não deve exceder 100 organismos/ml e que este valor limite (100 organismos/ml) tem sido adotado para cálculos necessários para avaliar o risco de amostragem.

O maior objetivo da saúde pública em microbiologia é resguardar a água potável como segura e confiável bacteriologicamente, sendo que as bactérias coliformes têm sido úteis para medir ocorrência e intensidade de contaminação fecal, em virtude de serem consideradas um indicador bacteriano confiável de contaminação da água. Assim, a ausência total de coliformes em uma água potável é uma evidência de segurança no que diz respeito ao seu nível bacteriológico.

É dado um critério, também, para determinar o número de lugares ótimos de amostragem, alocados em cada zona, para determinar qualquer risco de amostragem. Nesse sentido, um programa de amostragem para o monitoramento da qualidade da água potável deve satisfazer as três exigências seguintes:

- a) quantas amostras devem ser coletadas;
- b) onde se devem coletar as amostras; e
- c) quando as amostras devem ser coletadas.



Dessa forma, duas decisões errôneas são possíveis: a primeira, é declarar que a qualidade da água no sistema viola o regulamento, quando isto não é verdade (risco de produtor), e a segunda, é declarar concordância com o regulamento quando, de fato, isto não é verdade (risco do consumidor). Portanto, o objetivo básico para o monitoramento microbiológico da água deve consistir da verificação do risco do consumidor no nível específico. Porém, a probabilidade de as diretrizes da qualidade bacteriana da água serem violadas, durante os programas de monitoramento, depende da verdadeira densidade média bacteriana, do número de amostras coletadas e da variabilidade da distribuição de bactérias.

Os autores afirmam, ainda, que o parâmetro mais importante no assentamento do programa de amostragem para monitorar a qualidade da água potável é a dispersão dos parâmetros de bactérias e não o tamanho da sua população, e que este pode ser correlacionado com o grau de heterogeneidade do sistema de água.

Os padrões da heterogeneidade de bactérias, nesse estudo, são usados para:

- a) determinar a locação e o número de lugares que precisam ser amostrados;
- b) otimizar a locação desses lugares das diferentes zonas de densidade bacteriana.

### 2.3.3. Qualidade da água nas redes de distribuição

Hulsmann, Hettinga, Ekkers, do Instituto KIWA Ltd., de Pesquisa e Teste de Redes de Água da Holanda, publicaram o artigo intitulado *Water Quality in Distribution Networks*<sup>(12)</sup>.

Nesse artigo, os autores relatam a necessidade de uma abordagem sistemática para descobrir a causa dos problemas da qualidade da água, bem como a importância de conhecer as circunstâncias hidráulicas existentes na rede de distribuição, porque a qualidade da água, dentro do sistema de distribuição, muda de um momento para outro em virtude do tempo de contato e do material usado, principalmente, quando a água é transportada num

meio (cano) de ferro fundido. Assim, muitas companhias de água têm que enfrentar reclamações dos consumidores sobre a qualidade da água potável do sistema de distribuição.

O KIWA, além de usar uma grande variedade de métodos para determinar a qualidade da água nos sistemas de distribuição, cuja escolha, em qualquer parte, depende da natureza das reclamações, usa também, aparelhos que monitoram a qualidade da água continuamente e podem ser conectados em qualquer encanamento. Parte do fluxo (60 l/h) é desviada, através de células, que medem oxigênio, temperatura, turbidez, pH, potencial redox, condutividade e pressão. Os resultados são registrados em fitas de papel, a intervalos de 10 minutos, para possibilitar a interpretação pelo computador.

Para medidas prolongadas, de até duas semanas, o aparelho é colocado em cabine à prova de vândalos e, para medição de um dia, é colocado no porta-mala de um carro médio.

Para medir outros parâmetros, que não precisam ser monitorado continuamente (por exemplo, manganês, ferro e número de bactérias), as amostras de água podem ser feitas manualmente ou por amostradores automáticos.

**Comentário:** Apesar de esse artigo não tratar de plano de amostragem para o controle bacteriológico da água, ele é de suma importância, porque comenta a necessidade de uma abordagem sistemática para descobrir a qualidade da água, dado que ela sofre mudanças substanciais dentro da rede de distribuição, o que aumenta, tanto a demanda de seu residual do cloro quanto a sua probabilidade de contaminação.

#### 2.3.4. Amostragem para controle da qualidade da água

Hulsmann, do Instituto de Pesquisa e Teste de Redes de Água da Holanda, publicou o artigo denominado Sampling for Water Quality Control<sup>(15)</sup>.

Nesse artigo, ele comenta que dos 61 parâmetros para checar a qualidade da água (14), a maioria não muda ou muda muito

pouco durante o transporte da água das estações de produção até os consumidores. Nestes casos, as análises desses parâmetros devem ser feitas na saída das estações de produção. Em contrapartida, os parâmetros como ferro, manganês e turbidez variam significativamente com as circunstâncias hidráulicas do sistema, e devem, preferivelmente, ser testados em amostras de água corrente, tiradas de torneiras que são usadas regularmente, na fronteira da propriedade do consumidor, onde termina a responsabilidade da companhia de água. Para esses parâmetros, é necessário fazer uma grande amostra, devendo haver uma atenção especial às áreas de alto risco, como encanamento de ferro já velho, becos sem saída, lugares de baixa velocidade da água e tempo longo de contato.

O número de amostras necessárias, para medir mudanças na qualidade da água no sistema de distribuição, depende da dispersão dos resultados, a qual permite estimar o número de amostras necessárias de vários parâmetros, para determinar a média anual quanto aos níveis de confiança exigidos. Pesquisas mostram que a dispersão nos resultados, nas amostras de locais diferentes, é maior que em amostras sucessivas, vindas do mesmo local.

As leis holandesas aconselham uma frequência de amostragem de quatro vezes ao ano para o número de amostras de um quadro representativo da água potável aos consumidores, sob várias circunstâncias.

As companhias de água conhecem exatamente quão extensiva e frequentemente elas são obrigadas a amostrar para checar as substâncias tóxicas. O número de amostras está relacionado com a qualidade da água distribuída e com o número de consumidores servidos.

O autor ainda comenta que água tratada, de uma torneira de um quarto (que é usada raramente), ou a primeira água tirada de uma torneira depois de um feriado ou de um longo fim de semana prolongado, frequentemente, não é desejável para a saúde humana. A água, tirada para o consumo humano, deve ser usada regularmente. Em alguns casos, é preferível aconselhar os consumidores a soltar a água por algum tempo, para eliminar os conteúdos dos canos, antes que a água suja seja usada para consumo humano.

**Comentário:** Embora o artigo trate de amostragem para o controle da qualidade da água quanto a substâncias tóxicas, a teoria apresentada nele é de grande relevância pois, com as variações de alguns parâmetros nas redes de distribuição, haverá alto consumo do residual do cloro e, conseqüentemente, as redes de distribuição poderão contaminar-se, em prejuízo da saúde dos consumidores.

### 2.3.5. Guias para a qualidade da água potável

A Organização Panamericana da Saúde, publicou o livro *Guías para la Calidad del Agua Potable*<sup>(13)</sup>.

Nesse livro comenta-se que um valor guia representa o nível ou a quantidade de concentração de um componente, o qual garante que a água será agradável para os sentidos e não causará riscos significativos à saúde dos consumidores. Quando ultrapassar esse valor guia, deve-se investigar as causas, para então tomar as medidas corretivas necessárias.

Em abastecimento público, há um grande número de parâmetros utilizados para medir e avaliar a qualidade da água. Cada autoridade (nacional ou regional) de saúde terá sua própria seleção de parâmetros e fixará suas próprias normas; tais guias requerem que os parâmetros selecionados cubram os aspectos mais essenciais da qualidade da água potável.

A água potável não deve conter microorganismos considerados patogênicos, ou seja, deve estar livre de bactérias indicadoras de contaminação fecal. Para assegurar que um abastecimento de água potável satisfaça esse guia, é necessária uma vigilância regular que examine amostras para detectar indicadores de contaminação fecal. O principal indicador bacteriano que se recomenda é o grupo de organismos coliformes.

Assim, a vigilância em relação ao controle de qualidade de água potável implica na observação cuidadosa e permanente de seguridade e aceitabilidade dos sistemas de abastecimentos do ponto de vista da saúde pública. Vigilância requer um programa contínuo e sistemático de inspeções e estudos detalhados em

diferentes pontos do sistema de distribuição de água.

O objetivo principal de um programa de vigilância e controle é garantir um abastecimento seguro e adequado da água potável, prevendo:

- a) determinação das tendências na qualidade da água potável ao longo do tempo;
- b) fornecimento, às autoridades de saúde pública, de informações que possam ser utilizadas para proteção da saúde da população;
- c) identificação das fontes de contaminação;
- d) avaliação do rendimento das estações de tratamento de água;
- e) avaliação dos sistemas de abastecimentos de água com vistas a melhoramentos.

Em virtude da limitação de recursos, particularmente nos países em desenvolvimento, pode-se implantar um programa de vigilância básico, melhorando-o em etapas, para alcançar finalmente um nível realmente avançado.

Um dos elementos básicos no controle da qualidade da água potável é o exame bacteriológico da mesma. Este se efetua mediante a análise de amostras de água coletadas nos sistemas de abastecimentos, as quais devem satisfazer os seguintes requisitos:

- a) a amostragem deve estar convenientemente planejada, sendo o ideal que tenha uma frequência suficiente para permitir que se detecte qualquer variação sazonal na qualidade da água;
- b) as amostras devem ser coletadas, guardadas e enviadas em frascos esterilizados apropriados;
- c) o volume de água coletada deve ser suficientemente grande para permitir uma análise precisa;
- d) os pontos de amostragem dos sistemas de abastecimento da água devem ser selecionados de maneira que as amostras obtidas sejam as mais representativas possíveis;
- e) a amostragem deve ser feita de modo a impedir que se produza contaminação da amostra que se está coletando;

- f) a amostra deve ser despachada o mais rápido possível, após sua coleta, para prevenir qualquer variação na sua composição;
- g) as especificações das amostras devem ser anotadas nas etiquetas colocadas nos frascos das mesmas, para evitar erros.

A finalidade da amostragem é determinar um programa de controle de qualidade da água que chega até as ligações dos consumidores. Neste caso, podem-se selecionar pontos de amostragem de cada localidade e aplicar certos critérios gerais como:

- a) os pontos de amostragem devem ser selecionados de maneira que as amostras sejam representativas das diferentes fontes de água que ingressam no sistema;
- b) os pontos devem ser os que produzem amostras representativas das condições nos lugares mais desfavoráveis do sistema, isto é, onde é mais provável ocorrer contaminação;
- c) os pontos de amostragem devem estar distribuídos uniformemente ao longo do sistema;
- d) deve haver pelo menos um ponto de amostragem imediatamente após a saída da estação de tratamento.

Existem vários parâmetros indicadores de importância prática que podem constituir um guia útil para avaliar a qualidade da água. Porém, para pequenas comunidades recomenda-se, além do exame bacteriológico, os de turbidez, cor, odor e sabor.

A turbidez, em sistemas de distribuição de água, pode resultar de remoções incompletas de partículas durante o tratamento, tanto do próprio material do cano como de reparo da linha no sistema. Por conseguinte, pode apresentar perigo à saúde pública em virtude de:

- a) servir como portador de substâncias nutritivas que podem resultar em atividade biológica e, na consequência, a degradação da qualidade da água;
- b) exercer demanda significativa de desinfetante que pode resultar na perda do desinfetante residual no sistema de distribuição; e
- c) fornecer uma matriz para transportar microorganismos

através do sistema ou introduzir organismos no sistema.

Assim, em certo tempo, a turbidez corresponderá à diminuição da desinfecção eficaz, aumentando o total de placas e o número de coliformes<sup>(20)</sup>.

Além disto, os níveis elevados de turbidez podem proteger os microorganismos contra efeitos de desinfecção, estimular o crescimento das bactérias e exercer uma demanda significativa de cloro. Portanto, em todos os processos em que se utilizam a desinfecção, a turbidez sempre deve ser baixa, de preferência inferior a 1 UNT (unidade nefelométrica de turbidez), para conseguir uma desinfecção eficaz.

A desinfecção efetiva é mais fácil se a água apresentar a turbidez apreciável, em virtude de as matérias orgânicas demandarem o cloro residual, podendo reduzi-lo a zero e possibilitar a contaminação da água.

A cloração pode converter água proveniente de fontes com contaminação fecal em água livre de vírus, sempre que a concentração do cloro residual for de pelo menos 0.5 mg/l durante um período de contato mínimo de 30 minutos a um pH menor que 8.0 e com turbidez no máximo igual a 1.0 UNT.

É conveniente manter o nível de cloro residual livre entre 0.2 mg/l e 0.5 mg/l no sistema de distribuição para reduzir o risco de uma reativação microbiana.

Se forem detectadas densidades totais de coliformes superiores a 3 organismos por 100 ml de amostras sucessivas e de 1 ou mais coliformes fecais por 100 ml, deve-se aumentar, imediatamente, a quantidade de desinfetante aplicada para obter um nível de cloro residual entre 0.2 mg/l e 0.5 mg/l em todos os pontos do sistema de distribuição.

A medição do grupo coliforme é relevante para sistemas de abastecimentos de água com tratamento e cloração. Neste caso, a ausência do grupo coliforme indicará, normalmente, que a água tem sido suficientemente tratada.

### 2.3.6. Medindo e modelando variações na qualidade da água do sistema de distribuição

Clark, Coyle, publicaram o trabalho *Measuring and Modeling Variations in Distribution System Water Quality*<sup>(9)</sup>.

Nesse trabalho, os autores descrevem um campo de estudo que examina os efeitos da mistura hidráulica nas variações da qualidade da água no sistema de distribuição.

Sistemas de distribuição, frequentemente, captam água de múltiplas fontes e isto pode influenciar na qualidade da água, em grandes variações, com o local e com o tempo.

Até recentemente, a maioria dos interesses na qualidade da água potável tinha sido na saída da estação de tratamento. Porém, a água pode sofrer mudanças substanciais em sua qualidade, durante a passagem do sistema de distribuição até os consumidores.

Muitas investigações têm tentado documentar a deterioração da qualidade da água através de substâncias químicas e microbiológicas, logo que ela foi tratada e entra no sistema de distribuição. Pouco sucesso tem sido demonstrado na quantificação desses defeitos e poucos modelos têm sido desenvolvidos adequadamente para descrever essas mudanças.

Em 1976, um estudo documentou que as mudanças bacteriológicas podem causar problemas "estéticos" envolvendo gosto e odor, água descolorada, crescimento de lodo e problemas econômicos como corrosão de canos e biodegradação de materiais. Numerosas bactérias tendem a multiplicar-se durante a distribuição e são influenciadas por vários fatores que incluem qualidade das bactérias, temperatura da água, tempo de residência da água, presença ou ausência de residual desinfetante na água, material de construção da rede e disponibilidade de nutrientes para crescimento.

O North Penn Authority (NPWA) estabeleceu uma rotina no programa de amostragem para o sistema de distribuição, para concordar com as exigências federais e fornecer informação detalhada da qualidade da água para operacionalização e propósitos do controle da qualidade do NPWA. As amostras eram feitas rotineiramente em poços em operação em 31 cidades designadas.



Juntamente, em outras cidades, eram coletadas amostras de acordo com as reclamações dos consumidores. Era analisado um total de 36 parâmetros, embora nem todos eles fossem analisados em cada amostra.

#### 2.4. Conclusões sobre o capítulo

Após a pesquisa e a discussão de vários artigos publicados, de autores brasileiros e estrangeiros, para verificação de o que já existe no tocante a técnicas de plano de amostragem para o controle da potabilidade da água, nota-se a importância de cada um deles em seus referidos assuntos.

A maioria das técnicas de plano de amostragem apresentadas pelos autores dos artigos é empírica, mas eficiente, em virtude do grande conhecimento e da grande experiência dos mesmos nesse ramo; mas, todas com uma única finalidade: a de serem representativas.

A teoria proposta neste trabalho não difere muito das publicadas, porém, a técnica do plano de amostragem, ou seja, o modelo apresentado no próximo capítulo difere, significativamente, dos já existentes.

## CAPITULO 3

### 3. MATERIAIS E METODOS

#### 3.1. Introdução

Como se sabe, a saúde de uma população está intrinsicamente ligada à qualidade da água que ela consome. Por isso, os seres humanos exigem cada vez mais água em qualidade e quantidade adequadas, o que implica em desenvolvimento de novas e melhores tecnologias de tratamento e distribuição da água e no aperfeiçoamento do controle da eficácia destas atividades, o que se traduz num bom critério de amostragem dessa água.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é apresentar um plano mensal de amostragem de água com base em critérios estatísticos e pontos estratégicos, que sejam representativos do Sistema Público de Abastecimento de Água a ser avaliado, a fim de manter um controle preventivo sob vigilância permanente e alta eficácia, a respeito da qualidade bacteriológica da água distribuída, identificando e caracterizando os pontos ou setores potencialmente problemáticos da rede de distribuição de água. A partir dos resultados fornecidos pela amostragem acima mencionada, poderão ser tomadas medidas corretivas tais como: descargas na rede de distribuição para eliminação dos problemas de água suja e, em alguns casos, reforço na cloração para estabilização dos níveis de cloro, e coleta para verificação da potabilidade da água. Assim, o ponto de coleta bem como o setor correspondente terão sua frequência de amostragem intensificada.

Este trabalho baseia-se tanto na experiência do autor, adquirida ao longo do tempo em que trabalhou na aferição de potabilidade de sistema de abastecimento de água - Rede de Distribuição de Água de Ibiporã-Pr., quanto em trabalhos teóricos elaborados por outros autores.

### 3.2. Conceituação

Como se conclui da revisão bibliográfica apresentada no capítulo anterior, uma coleta pura e simples de amostras em uma cidade não leva sempre a resultados concretos e nem estabelece uma norma para investigações sanitárias. Há necessidade de um estudo estatístico que vise um controle eficaz do sistema distribuidor, para preservar a saúde pública. Sabe-se que as características da água na rede de distribuição podem sofrer alterações na qualidade, tanto ao longo da rede de distribuição como ao longo do tempo, mesmo que essa água tenha saído dos seus respectivos sistemas produtores-distribuidores com todos os parâmetros qualitativos dentro das faixas de valores aceitáveis. São parâmetros como turbidez, cor, ferro e cloro residual, podendo, mesmo na presença deste último, ocorrer contaminação. Daí a importância e a necessidade de um controle constante e eficaz sobre o sistema distribuidor.

A rede de distribuição de água possui vários pontos onde pode ser coletada uma amostra para analisá-la. Como o percurso da água é único e contínuo e, diante da impossibilidade de se dispor de condições operacionais e financeiras para coleta e análise em todos esses pontos, há necessidade de considerar um número finito de pontos que sejam representativos. Dado um trecho da rede de distribuição, no qual a qualidade bacteriológica da água, bem como a frequência de amostragem para eles podem ser consideradas constantes, pode-se por meio deles ter um conhecimento aproximado, porém confiável, do estado de potabilidade da água na rede de distribuição como um todo.

A localização dos pontos de amostragem é dinâmica, passível de mudanças, havendo necessidade de maior ou menor concentração deles nos respectivos setores, conforme o número de amostras bacteriológicas positivas. Assim, é importante que os técnicos, que forem realizar o cadastramento dos pontos, tenham em mente as características dinâmicas da rede de distribuição, para que o número de pontos de coleta seja estabelecido de maneira a cobrir toda a rede de abastecimento e para evitar que, sob determinadas condições, algum trecho da rede fique fora de

controle.

Por sua vez, o levantamento bibliográfico realizado também não apresenta nenhum plano de amostragem efetivamente conclusivo, que cubra todos os requisitos técnicos e legais inerentes ao controle de qualidade em um sistema de distribuição de água potável para uma dada população. Em vista disto, propõe-se, aqui, uma nova abordagem ao assunto.

O sistema de amostragem desenvolvido neste trabalho é uma ferramenta de que os técnicos poderão lançar mão para efetuarem um controle com maior rigor matemático do sistema distribuidor, desde que os pontos escolhidos para a coleta sejam significativos. Esse conjunto de pontos significativos será chamado de Cadastro dos Pontos de Amostragem, de modo que:

- a) Se nenhum desses pontos estiver contaminado, então nenhum ponto da rede estará contaminado.
- b) Se pelo menos um desses pontos estiver contaminado, então pelo menos um trecho da rede estará contaminado<sup>(19)</sup>.

A cidade, ou seja, a rede de distribuição de abastecimento de água, será dividida em (N) setores de amostragem dependendo, basicamente, de seu tamanho e de suas características. Os setores de amostragem serão constituídos de pontos representativos de coleta, classificados em: genéricos, críticos e notáveis, definidos na secção (3.3). A delimitação dos setores de amostragem será feita segundo um critério empírico, abrangendo cerca de 10 quarteirões, em formato aproximadamente de um quadrado (quando possível), podendo um setor de amostragem ser um conjunto habitacional, uma vila, um bairro, etc.

Desta forma, o universo da amostragem é composto de um número finito (N) de setores de amostragem e estes, por sua vez, são constituídos de um número finito (n) de pontos, cada um representando um trecho da rede de distribuição. Portanto, a representatividade está vinculada ao número (n) de pontos cadastrados de coleta, que constituem a rede de distribuição. Assim, numa mesma cidade, quanto maior for esse número, mais

confiável será a amostragem. Além disso, a frequência de amostragem também está vinculada ao número (n) de pontos. Em outras palavras, quanto maior for (n) e, quanto menor for o intervalo entre duas amostragens no mesmo ponto (maior a frequência de coleta em cada ponto), maior será a confiabilidade dessa amostragem.

### 3.3. Definições e classificações

O universo estatístico a ser estudado é constituído pelo Cadastro dos Pontos de Amostragem (conjunto finito de pontos representativos da rede de distribuição), lembrando que a área total de amostragem é composta de (N) setores de amostragem e, por sua vez, cada setor de amostragem é constituído de (n) pontos representativos. Da análise do problema, chegou-se à conclusão de que esses pontos são, basicamente, para coletas e análises de amostras representativas, em locais selecionados por alguns critérios científicos e classificadas da seguinte maneira:

a) Pontos Notáveis (PN): são os pontos onde a probabilidade de contaminação é maior que nos demais. Conseqüentemente, esses pontos serão amostrados com uma frequência maior que os demais. Portanto, atribui-se a esses pontos o peso de 0.2, ou 0.3, ou 0.4, dependendo do grau de contaminação. Esses pontos podem ser:

- reservatórios de distribuição;
- pontos de baixo cloro residual (CLR < 0.2 mg/l);
- pontos de alta turbidez (turbidez > 5.0 NTU) - onde ocorre grande consumo do residual de cloro;
- pontos de ponta de rede - onde pode ocorrer acúmulo de sujeiras, com o conseqüente alto consumo do residual de cloro;
- pontos de má circulação da água - onde ocorre também alto consumo do residual de cloro;
- pontos onde não há rede de esgoto - podem ocorrer infiltrações na rede de distribuição, quando há

vazamento;

- pontos onde há arrebetamento frequente na rede - podem ocorrer infiltrações quando a rede de distribuição fica mais exposta;
- pontos de pressão variável; e
- outros.

b) Pontos Críticos ( PC ) - são os pontos de maior responsabilidade social, ou seja, pontos onde a população está mais concentrada. Em consequência, esses pontos serão amostrados com uma frequência maior que os genéricos. Assim, atribui-se a esses pontos o peso de 0.1, ou 0.2, ou 0.3, dependendo do grau de concentração e de permanência da população. Esses pontos podem ser:

- escolas;
- hospitais;
- asilos;
- creches;
- postos de saúde;
- condomínios com vários prédios; e
- outros.

c) Pontos Genéricos ( PG ) - por exclusão, os demais pontos serão chamados genéricos, e a eles atribui-se o peso 0.1.

d) Pontos Suspeitos ( PS ) - são os pontos adicionais da rede de distribuição, ou seja, quando a água se apresentar contaminada, uma nova coleta no mesmo endereço que apresentou a contaminação e em alguns endereços adjacentes (lado esquerdo, lado direito e em frente ao endereço original, desde que abastecidos pela mesma rede de água), em dias imediatamente consecutivos para efeito de confirmação e avaliação da extensão do problema. Caso persista a causa, devem-se tomar as providências necessárias para normalização da situação.

É importante ressaltar que neste trabalho a definição desses pontos e pesos se baseia em critérios empíricos, podendo

ser adaptada a novas situações, a depender da experiência de quem vier a utilizar os conceitos aqui propostos.

Por outro lado, como já dito, a localização desses pontos e os pesos atribuídos a eles são dinâmicos, passíveis a mudanças. Por exemplo, um ponto que hoje é final de rede, pode amanhã não ser, ou um ponto onde hoje não tem rede de esgoto, amanhã pode ter, etc.

### 3.4. Modelo de amostragem

Uma vez estabelecidas as conceituações e as classificações fundamentais do plano de amostragem, torna-se necessário construir um modelo operacional.

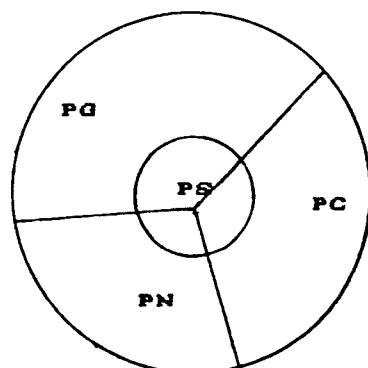
A amostragem poderá ser diária, duas vezes por semana, ou semanal, dependendo do número de habitantes da cidade (tamanho da população que o sistema abastece) e do nível da qualidade da água detectado, sendo as coletas efetuadas nos quatro tipos de pontos:

- PN pontos notáveis;
- PC pontos críticos;
- PG pontos genéricos; e
- PS pontos suspeitos.

Deste modo, uma amostragem (T) poderá ser composta da seguinte maneira:

$$T = PN + PC + PG + PS \quad (19)$$

O esquema de composição da amostra é ilustrado na figura abaixo:



Com relação ao local de coleta, uma amostragem (N) poderá ser composta dos seguintes setores:

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_N \quad (20)$$

$N_1$	$N_2$	...	$N_N$
-------	-------	-----	-------

Por outro lado, os pesos de cada setor de amostragem devem estar entre 0.1 e 1.0. Assim, em cada setor poderão ser coletadas amostras em um ou mais pontos, o que dependerá do número de setores em que a cidade ou a rede de distribuição for dividida, bem como das coletas procedidas anteriormente. Para fins ilustrativos considere o seguinte quadro:

$N_1 = 0.4$	$N_2 = 0.7$	$N_3 = 0.1$	$N_4 = 0.8$	$N_5 = 1.0$
$n_1 = 0.1$	$n_1 = 0.1$	$n_1 = 0.1$	$n_1 = 0.2$	$n_1 = 0.1$
$n_2 = 0.2$	$n_2 = 0.3$		$n_2 = 0.1$	$n_2 = 0.3$
$n_3 = 0.1$	$n_3 = 0.2$		$n_3 = 0.2$	$n_3 = 0.4$
	$n_4 = 0.1$		$n_4 = 0.3$	$n_4 = 0.2$

Observe-se que a rede de distribuição, neste caso particular foi dividida em cinco setores, cada um com seus respectivos pontos e pesos, sendo o peso do setor igual ao somatório dos pesos dos seus respectivos pontos. Lembrando que o peso da cada ponto está variando entre 0.1 e 0.4, um ponto será amostrado no máximo quatro vezes e no mínimo uma vez.

Neste modelo, a cada coleta de um ponto, o seu valor é subtraído de 0.1 e do seu respectivo setor de amostragem. Se num mesmo setor de amostragem forem coletados dois pontos, então, subtrai-se 0.1 de cada ponto e 0.2 do respectivo setor de amostragem.



O sorteio de amostragem é aleatório, realizado de acordo com o seguinte modelo:

- a) A cada setor de amostragem é associado um dentre os 10 valores:  
0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.5 - 0.6 - 0.7 - 0.8 - 0.9 - 1.0.
- b) Faz-se primeiro o sorteio dos setores (se o número de setores de amostragem for maior ou igual ao número de amostras a serem coletadas, o sorteio é sem reposição e coleta-se uma amostra em cada setor sorteado) nos quais serão coletadas as amostras, levando-se em consideração os pesos de cada setor de amostragem.
- c) Em seguida, faz-se o sorteio dentro de cada um deles, anotando-se os pontos a serem coletados. Visto que, quando se coleta um ponto, o seu valor diminui em 0.1 bem como o setor de amostragem correspondente. A última coleta de cada ponto ocorre quando o seu valor for nulo, enquanto que a última coleta do setor dar-se-á quando todos os respectivos pontos forem zero.
- d) Este procedimento é repetido a cada dia de coleta.

**Importante:**

Uma cidade cuja população total abastecida é de 50.000 habitantes, na tabela (3), dada pela Portaria n.º 36/GM<sup>(5)</sup> do Ministério do Estado da Saúde, o número mínimo de amostras a ser coletado é de 50 amostras/mês. Portanto, a soma dos pesos de todos os setores de amostragem deve ser no mínimo de 5. Ou seja, a soma dos pesos dos setores de amostragem vezes 10 deve ser igual ou maior que número de amostras a serem coletadas no mês.

### Casos raros que poderão acontecer:

Em princípio, deve-se coletar uma amostra por setor de amostragem, até seu término. Mas, existem casos 'especiais'. Estes casos ocorrem quando vai se aproximando o final de coleta do mês, dependendo, evidentemente, da divisão da cidade e dos sorteios que ocorreram anteriormente. Por exemplo, quando o número de setores de amostragem for menor que o número de amostras a serem coletadas. Neste caso, pode ocorrer a coleta de duas ou mais amostras no mesmo setor de amostragem, todas em pontos diferentes entre si.

Caso mais raro ainda pode acontecer no final de coleta do mês, quando o número de pontos a serem coletados for menor que o número de amostras a serem coletadas. Neste caso, teria que ser coletadas mais de uma amostra no mesmo ponto. Porém, o programa computacional aqui desenvolvido rodará, automaticamente, tantas vezes quantas forem necessárias até que se tenham pontos distintos para setores iguais.

Assim, o programa deverá ser executado no início de cada mês para determinar os pontos associados aos setores que serão amostrados.

Nota-se que, à medida que as coletas das amostras dos pontos cadastrados ( $n$ ) sobre os setores de amostragem ( $N$ ) forem sendo realizadas, os valores dos pontos e os valores de cada setor vão sendo modificados, isto é, diminuídos. A composição da amostra acompanha a dinâmica da atualização do cadastro, o qual é influenciado pelos resultados da amostragem. Portanto, a frequência com que cada setor é amostrado depende de seu peso. Quanto maior for esse peso, maior será a frequência com que ele será amostrado.

Um ponto qualquer da rede de distribuição não deve permanecer contaminado por um período maior que  $T_{\max}$ . Aqui, esse  $T_{\max}$  será, em média, de um mês, dado que quando se coleta uma amostra em um ponto o seu valor diminui. Por esta razão, como já dito, um ponto será coletado no máximo quatro vezes e no mínimo uma vez. Neste caso, para efeito de cálculo, a mostra pode ser considerada como amostra aleatória sem reposição. Isto implica que

todos os pontos cadastrados, bem como os setores de amostragem, deverão ser amostrados durante esse período.

Sabe-se, também, que qualquer ponto da rede de distribuição pode permanecer contaminado durante pelo menos 24 horas; se a técnica de exame bacteriológico for pelo processo de membrana filtrante e 48 horas, se a técnica for pelo processo de tubos múltiplos (tempo mínimo decorrido entre a coleta da amostra e a obtenção dos resultados), salvo em casos acidentais.

### 3.5. Discussões sobre as normas e padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano que se refere a Portaria N.º 36/GM do Ministério do Estado da Saúde

O Ministério do Estado da Saúde, no uso de suas atribuições que lhe confere o Artigo 2.º do Decreto n.º 79.367, de 09 de março de 1.977, aprovou na forma de Portaria n.º 36/GM<sup>(5)</sup>, normas e o padrão de potabilidade da Água Destinada ao Consumo Humano, a serem observados em todo o território nacional.

Sempre que forem verificadas alterações em relação ao padrão da água para consumo humano, o Serviço Público de Abastecimento de Água deve elaborar um plano de ação e a tomada imediata das providências para a correção da anormalidade.

O descumprimento das determinações desta Portaria sujeitará os responsáveis do Sistema Público de Abastecimento de Água às sanções administrativas cabíveis, de acordo com o regime jurídico a que estiverem submetidos.

Diante das condições específicas de cada Sistema Público de Abastecimento de Água, a Divisão de Controle da Qualidade deverá elaborar a programação mensal de coleta, determinando a frequência e o número de amostras necessárias para atender as exigências da Portaria do Ministério do Estado da Saúde.

A Portaria do Ministério do Estado da Saúde, estabelece o número mínimo de amostras para verificação do padrão de potabilidade, utilizando como critério para esta definição o número total de habitantes por localidade, valor este que é obtido através de dados estatísticos de IBGE, que são atualizados a cada

10 anos.

Como se faz necessário o controle mais dinâmico do número de amostras a serem coletadas nos Sistemas de Abastecimento, adota-se como critério para esta definição o número de habitantes abastecidos. Para a obtenção do número de habitantes extrai-se mensalmente, do Relatório Operacional ou Relatório Técnico, o número de economias domiciliares e multiplica-se pelo fator médio de habitantes por economia. Dessa forma é possível manter atualizado o número de amostragem mensal necessário por Sistema de Abastecimento, a frequência de amostragem e o número de habitantes abastecidos<sup>(27)</sup>.

Com a finalidade de padronizar o uso da terminologia de referência para divulgação de informações sobre a qualidade da água distribuída por Sistema Público de Abastecimento de Água, ficam estabelecidos os seguintes termos condicionantes de uso<sup>(5)</sup>:

- Água Potável: É aquela com qualidade adequada ao consumo humano;
- Valor Máximo Permissível (VMP): É o valor de qualquer característica de qualidade de água, acima do qual a água não é considerada potável;
- Padrão de Potabilidade da Água: É o conjunto de valores máximos permissíveis, das características de qualidade da água destinada ao consumo humano;
- Grupos Coliformes:
  - i) Todas as bactérias gram-negativas, não esporuladas, aeróbias e anaeróbias facultativas que fermentam a lactose, com a formação de gás a 35° C, no prazo máximo de 48 horas, se a técnica de exame bacteriológico for pelo processo de tubos múltiplos.
  - ii) Todos os germes que produzem colônias escuras, geralmente roxo-esverdeadas com brilho metálico, a 35° C no prazo máximo de 24 horas, se a técnica for pelo processo da membrana filtrante.

### 3.5.1. Padrão de potabilidade

A água potável, destinada ao abastecimento das populações humanas, deve atender às seguintes características de qualidade: Físicas, Organolépticas, Químicas e Bacteriológicas.

#### 3.5.1.1. Físicas e organolépticas

São ocasionadas por substâncias que afetam somente a aceitabilidade da água, não ocasionando danos à saúde se os seus valores máximos permissíveis estiverem dentro do padrão estabelecido como indica a tabela (1) <sup>(5)</sup>.

Características	Unidade	VMP
Cor aparente	uH (1)	5 (obs-1)
Odor		Não objetável
Sabor		Não objetável
Turbidez	uT (2)	1 (obs-2)

(1) uH é a unidade de escala de Hazen (de Platina-Cobalto);

(2) uT é a unidade de turbidez, seja em unidade de Jackson ou Nefelométrica;

Obs-1. Para a cor aparente, o VMP é 5 uH, para a água entrando no sistema de distribuição. O VMP de 15 uH é permitido em pontos da rede de distribuição;

Obs-2. Para turbidez, o VMP é 1 uT, para água entrando no sistema de distribuição. O VMP de 5 uT é permitido em pontos da rede de distribuição, se for demonstrado que a desinfecção não é comprometida pelo uso desse valor menos exigente.

## 3.5.1.2. Químicas

Compreende as substâncias que apresentam risco potencial à saúde pública, tais como indica a tabela (2)<sup>(5)</sup>.

TABELA (2)		
VALORES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS (VMP) DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA POTÁVEL		
Características	Unidade	VMP
a) Componentes inorgânicos que afetam a saúde		
Arsênio	mg/l	0.05
Bário	mg/l	1
Cádmio	mg/l	0.005
Chumbo	mg/l	0.05
Cianetos	mg/l	0.1
Cromo Total	mg/l	0.05
Fluoretos	mg/l	obs-3
Mercúrio	mg/l	0.001
Nitrato	mg/l N	10
Prata	mg/l	0.05
Selênio	mg/l	0.01
b) Componentes orgânicos que afetam a saúde		
Aldrin e Dieldrin	ug/l	0.03
Benzeno	ug/l	10
Benzo-a-pireno	ug/l	0.01
Clordano(Total de Isômeros)	ug/l	0.3
DDT(p-p'DDT;o-p'DDT;p-p'DDE;o-p'DDE)	ug/l	1
Endrin	ug/l	0.2
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	ug/l	0.1
Hexaclorobenzeno	ug/l	0.01
Lindano (Gama HCH)	ug/l	3
Metoxicloro	ug/l	30
Pentaclorofenol	ug/l	10
Tetracloroeto de Carbono	ug/l	3
Tetracloroeteno	ug/l	10
Toxafeno	ug/l	5
Tricloroeteno	ug/l	30

Trihalometanos	ug/l	100(obs-4)
1,1 Dicloroetano	ug/l	0.3
1,2 Dicloroetano	ug/l	10
2,4 D	ug/l	100
2,4,6, Tricloetano	ug/l	10(obs-5)
c) Componentes que afetam a qualidade organoléptica		
Alumínio	mg/l	0.2(obs-6)
Agentes Tenso-ativos		
(Reagente ao azul de metileno)	mg/l	0.2
Cloretos	mg/l Cl	250
Cobre	mg/l	1
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	500
Ferro Total	mg/l	0.3
Manganês	mg/l	0.1
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/l	1000
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub>	400
Zinco	mg/l	5

Obs-3. Os valores recomendados para a concentração do íon fluoreto, em função da média das temperaturas máximas diárias do ar deverão atender à legislação em vigor;

Obs-4. Sujeito a revisão em função dos eventos toxicológicos em andamento. A remoção ou prevenção de trihalometanos não deverá prejudicar a eficiência da desinfecção;

Obs-5. Concentração limiar de odor de 0.1 ug/l;

Obs-6. Sujeito a revisão em função de estudos toxicológicos em andamento.

### 3.5.1.3. Bacteriológicas

Compreende a verificação da presença ou ausência de contaminação através das bactérias do grupo coliformes. As bactérias do grupo coliformes constituem um grupo de organismos com características comuns e sua presença guarda relação com bactérias patogênicas e vírus. Por isso, são convenientemente utilizadas como indicadores de contaminação. Isto quer dizer que

na análise bacteriológica em que estiverem ausente os coliformes, não há contaminação. Além disto, a análise que acusar a presença de coliformes, ainda não indica necessariamente água contaminada por bactérias patogênicas ou vírus, mas a probabilidade disto é grande.

Com relação ao padrão de potabilidade do item (3.5.1)<sup>(5)</sup>, tem-se:

- a) Ausência de coliformes fecais em 100 ml de amostra.
- b) Ausência de bactéria do grupo coliformes totais em 100 ml quando a amostra é coletada na entrada da rede de distribuição.
- c) Nas amostras procedentes da rede de distribuição, 95% deverão apresentar ausência de coliformes totais em 100 ml. Nos 5% das amostras restantes, serão tolerados até 3 coliformes totais em 100 ml, desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto.
- d) O volume mínimo de amostras a ser analisado é de 100 ml. No caso da técnica dos tubos múltiplos, quando não houver possibilidade de analisar os 100 ml, permite-se análise de 5 porções de 10 ml (50 ml).
- e) Quando forem obtidos resultados desfavoráveis, pelo teste P/A (presença/ausência), duas novas amostras deverão ser coletadas nos mesmos pontos, em dias imediatamente consecutivos, para exame quantitativo, pela técnica de tubos múltiplos ou de membrana filtrante.
- f) Em qualquer dos casos incluídos nos itens anteriores, quando forem obtidos resultados desfavoráveis, novas amostras deverão ser coletadas nos mesmos pontos, em dias imediatamente sucessivos, até que duas amostras consecutivas revelem qualidade satisfatória, em função das providências adotadas. Essas amostras, consideradas extras, não serão computadas no número mínimo de amostras estabelecido pela tabela (3).
- g) Para efeito desta Portaria, na determinação de coliformes totais pelas técnicas dos tubos múltiplos



e P/A, quando o ensaio presuntivo for positivo, a análise deverá ser conduzida até o ensaio confirmativo.

- h) Amostragem: O número mínimo de amostras e a frequência mínima de amostragem a serem efetuadas pelos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água deverão seguir a tabela (3)<sup>(5)</sup>.

TABELA (3)  
NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS E FREQUÊNCIA MÍNIMA DE AMOSTRAGEM, PARA VERIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO (SAA)

População Total Abastecida	Número Mínimo de Amostras a Serem Efetuadas Pelo (SAA)	
	Frequência	Amostras Mensais
Até 5.000	Semanal	5
5.000 a 20.000	Semanal	1 p/cada 1.000 hab.
20.001 a 100.000	2xp/semana	1 p/cada 1.000 hab.
Acima de 100.000	Diária	90 + (1 p/cada 10.000 hab).

As amostras da água devem ser colhidas na rede de distribuição, nos pontos considerados mais representativos do sistema pelos técnicos que operam ou que tenham a responsabilidade de controle da qualidade da água, independente de quantas unidades de produção a alimentam, distribuídas uniformemente ao longo do mês.

#### 3.5.1.3.1. Considerações sobre coletas

- Efetuar a coleta utilizando a técnica adequada.
- As coletas devem ser efetuadas de modo que em um mês se obtenha amostragem relativa a toda a rede de distribuição.
- A amostra deve ser coletada na torneira do cavalete (direta da rede de distribuição) e nunca de torneiras internas que recebam águas de reservatórios

domiciliares.

- Não esquecer de numerar os frascos e preencher as fichas específicas, colocando sempre o endereço completo, pois caso a amostra apresente resultado fora do padrão de potabilidade, deverá ser recoletada.
- Não coletar amostras diretamente em descargas.

### 3.6. Confiabilidade (R) de uma amostra

A confiabilidade nesse modelo é a mesma definida por Mattos<sup>(18)</sup>, ou seja, é a probabilidade de uma amostra conter as contaminações existentes na rede de distribuição, no intervalo de tempo em que é feita a coleta dessa amostra, dentre os pontos cadastrados. Dessa forma, a determinação da confiabilidade requer o conhecimento de quantas contaminações existem na rede de distribuição, no intervalo de tempo em que é feita a coleta, o que é impossível.

Neste trabalho, o universo constituído pelo cadastro de (n) pontos representativos de amostragem é dividido em (N) setores mutuamente exclusivos. Assim sendo, ( $N_1$ ) abrange o total de pontos no setor de amostragem (1), ( $N_2$ ) o total de pontos no setor de amostragem (2) e assim por diante, até ( $N_N$ ) o total de pontos no setor de amostragem (N). Desta forma, tem-se que

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_N \quad (21)$$

Convém lembrar que cada setor de amostragem pode conter um ou mais pontos do tipo genérico, crítico e notável, sendo que o peso de cada setor de amostragem está entre 0.1 e 1.0. Como foi mencionado na secção (3.4), cada vez que se coleta em um ponto, subtrai-se 0.1 tanto do ponto como do setor de amostragem. Assim, para efeito de cálculo, a técnica de amostragem pode ser considerada como amostragem aleatória sem reposição.

Sejam ( $c_1$ ) o total de pontos contaminados do setor de amostragem ( $N_1$ ), ( $c_2$ ) o total de pontos contaminados do setor de amostragem ( $N_2$ ) e assim por diante, até ( $c_N$ ) o total de pontos

contaminados do setor de amostragem ( $N_N$ ). Lembrando que o universo estatístico foi dividido em ( $N$ ) setores de amostragem mutuamente exclusivos, podem-se então, escrever, respectivamente, as seguintes expressões para o cálculo das probabilidades de um ponto ser do setor de amostragem ( $N_1$ ), dado que se verificou ser contaminado (cont), e de um ponto ser do setor de amostragem ( $N_2$ ), dado se verificou ser contaminado (cont) e, assim sucessivamente, até um ponto ser do setor de amostragem ( $N_N$ ), dado que se verificou ser contaminado (cont). Neste caso, tem-se:

$$P(N_1 / \text{cont}) = \frac{P(N_1 \cap \text{cont})}{P(\text{cont})} = \frac{c_1}{c_1 + c_2 + \dots + c_N} \quad (22)$$

$$P(N_2 / \text{cont}) = \frac{P(N_2 \cap \text{cont})}{P(\text{cont})} = \frac{c_2}{c_1 + c_2 + \dots + c_N} \quad (23)$$

.....

$$P(N_N / \text{cont}) = \frac{P(N_N \cap \text{cont})}{P(\text{cont})} = \frac{c_N}{c_1 + c_2 + \dots + c_N} \quad (24)$$

Note-se que :  $c = c_1 + c_2 + \dots + c_N =$  total de pontos contaminados por amostragem na rede de distribuição.

Pode-se escrever que  $P(c_1)$ ,  $P(c_2)$ , ... ,  $P(c_N)$ , as probabilidades respectivas de serem amostrados um ( $c_1$ ) ponto contaminado do setor de amostragem ( $N_1$ ), um ( $c_2$ ) ponto contaminado do setor de amostragem ( $N_2$ ) e assim por diante, até um ( $c_N$ ) ponto contaminado do setor de amostragem ( $N_N$ ) com amostras de tamanho ( $n'_1$ ), ( $n'_2$ ), ... , ( $n'_N$ ), respectivamente, são:

$$P(c_1) = \frac{n'_1}{N_1}; \quad P(c_2) = \frac{n'_2}{N_2}; \quad \dots; \quad P(c_N) = \frac{n'_N}{N_N}$$

onde  $n'_1$ ,  $n'_2$ , ...,  $n'_N$  são os números totais de pontos dos setores  $N_1$ ,  $N_2$ , ...,  $N_N$  respectivamente, os quais podem ter de um até dez pontos cada.

Ressalva-se que a probabilidade  $P(c_j)$  na verdade é dada

pela soma dos pesos que compõe o setor ( $N_j$ ), para  $j = 1, 2, \dots, N$ .

As probabilidades respectivas de serem amostrados, dois ( $c_1$ ) pontos contaminados do setor de amostragem ( $N_1$ ), dois ( $c_2$ ) pontos contaminados do setor de amostragem ( $N_2$ ) e assim por diante, até dois ( $c_N$ ) pontos contaminados do setor de amostragem ( $N_N$ ) com mostras de tamanho ( $n'_1$ ), ( $n'_2$ ), ..., ( $n'_N$ ), respectivamente, são:

$$P(c_1) = \left( \frac{n'_1}{N_1} \right)^2 ; \quad P(c_2) = \left( \frac{n'_2}{N_2} \right)^2 ; \quad \dots ; \quad P(c_N) = \left( \frac{n'_N}{N_N} \right)^2$$

Generalizando, pode-se escrever que  $P(c_1)$ ,  $P(c_2)$ , ...,  $P(c_N)$ , respectivamente as probabilidades de serem amostrados todos os ( $c_1$ ) pontos contaminados do setor de amostragem ( $N_1$ ), todos os ( $c_2$ ) pontos contaminados do setor de amostragem ( $N_2$ ) e assim por diante, até todos os ( $c_N$ ) pontos contaminados do setor de amostragem ( $N_N$ ) com amostras de tamanhos  $n'_1$ ,  $n'_2$ , ...,  $n'_N$ , respectivamente, são dadas por:

$$P(c_1) = \left( \frac{n'_1}{N_1} \right)^{c_1} \quad (25)$$

$$P(c_2) = \left( \frac{n'_2}{N_2} \right)^{c_2} \quad (26)$$

.....

$$P(c_N) = \left( \frac{n'_N}{N_N} \right)^{c_N} \quad (27)$$

Na expressão geral para o cálculo da confiabilidade, utilizam-se os termos da soma das probabilidades e do produto das probabilidades, bem como as propriedades do modelo de amostragem sem reposição.

Sabe-se, por um lado, que a intersecção dos conjuntos dos setores de amostragem  $N_1, N_2, \dots, N_N$  é um conjunto vazio, e que a sua união é o universo. Por outro lado, o fato de ocorrer um setor de amostragem contaminado, numa amostragem, não afeta a

probabilidade de ocorrer outro setor de amostragem contaminado, ou seja, estes eventos são independentes. Nestas condições, podem-se escrever as seguintes expressões:

$$P(N_1 / \text{cont} + N_2 / \text{cont} + \dots + N_N / \text{cont}) = P(N_1 / \text{cont}) + P(N_2 / \text{cont}) + \dots + P(N_N / \text{cont}) \quad (28)$$

$$P(c_1.N_1 / \text{cont}) = P(c_1).P(N_1 / \text{cont}) \quad (29)$$

$$P(c_2.N_2 / \text{cont}) = P(c_2).P(N_2 / \text{cont}) \quad (30)$$

.....

$$P(c_N.N_N / \text{cont}) = P(c_N).P(N_N / \text{cont}) \quad (31)$$

Nota-se que  $P(c_1.N_1 / \text{cont})$  é a probabilidade de os  $(c_1)$  pontos contaminados no setor de amostragem  $(N_1)$  serem amostrados no universo dos pontos contidos nos setores de amostragem  $N_1, N_2, \dots, N_N$ .

$P(c_2.N_2 / \text{cont})$  é a probabilidade de os  $(c_2)$  pontos contaminados no setor de amostragem  $(N_2)$  serem amostrados no universo dos pontos contidos nos setores de amostragem  $N_1, N_2, \dots, N_N$ .

.....

De maneira análoga,  $P(c_N.N_N / \text{cont})$  é a probabilidade de os  $(c_N)$  pontos contaminados no setor de amostragem  $(N_N)$  serem amostrados no universo dos pontos contidos nos setores de amostragem  $N_1, N_2, \dots, N_N$ .

Assim, a probabilidade (R) de se ter, em uma amostra, todos os pontos contaminados será, dada por:

$$R = \frac{c_1}{c} \left( \frac{n'_1}{N_1} \right)^{c_1} + \frac{c_2}{c} \left( \frac{n'_2}{N_2} \right)^{c_2} + \dots + \frac{c_N}{c} \left( \frac{n'_N}{N_N} \right)^{c_N} \quad (32)$$

ou

$$R = \frac{1}{c} \left[ c_1 \left( \frac{n'_1}{N_1} \right)^{c_1} + c_2 \left( \frac{n'_2}{N_2} \right)^{c_2} + \dots + c_N \left( \frac{n'_N}{N_N} \right)^{c_N} \right] \quad (33)$$

### 3.7. Dimensionamento da amostragem referente a considerações económicas

A Portaria 36/GM do Ministério do Estado da Saúde, de 19.01.90<sup>(5)</sup> exige amostragem no mínimo: diária, duas vezes por semana, ou semanal, dependendo do número de habitantes abastecidos pela rede de distribuição de água. Porém, o tamanho global (T) da amostra depende também das condições económicas da Empresa para arcar com os custos de coleta, de exame bacteriológico e de inspeção sanitária.

Assim, a cada ponto amostrado, estão associados os seguintes custos:

$P_c$  = Custo de coleta por amostra de água em um ponto;

$P_b$  = Custo de exame bacteriológico por amostra em um ponto; e

$P_i$  = Custo de uma inspeção num dado local (ponto).

Portanto, o tamanho global (T) da amostra resultante será obtido a partir de:

$$C = T (P_c + P_b) + (c_1 + c_2 + \dots + c_N).P_i \quad (34)$$

onde  $C$  é o custo disponível para o intervalo de tempo considerado (diário, duas vezes por semana, ou semanal) e  $T = PN + PC + PG + PS$ , como já visto. Assim, substituindo-se na fórmula (34), tem-se:

$$C = (PN + PC + PG + PS).(P_c + P_b) + (c_1 + c_2 + \dots + c_N).P_i$$

ou

$$T = \frac{C - (c_1 + c_2 + \dots + c_N).P_i}{P_c + P_b} \quad (35)$$

Assim, uma vez fixados os preços pelas coletas, exames e inspeções e também o custo máximo que se dispõe, pode-se obter o tamanho da amostra.

### 3.8. Gráficos de controle

#### 3.8.1. Introdução

O gráfico de controle é uma técnica estatística, que tem por objetivo dar um aviso de que existem anomalias na produção-distribuição de água, ou em algum local da rede de distribuição, o que pode dar origem a água contaminada. Ou seja, o gráfico de controle permite saber, em determinado instante, se um certo local está ou não sob controle.

As características de níveis de qualidade de atendimento da água estão sujeita a variações, resultantes de causas aleatórias ou de causas identificáveis. As causas aleatórias não provocam alterações apreciáveis no nível de qualidade da água, e sua eliminação é impossível ou anti-econômica. Por outro lado, as causas identificáveis podem ser descobertas e corrigidas.

Os gráficos de controle baseiam-se na inspeção adequada a cada caso ( variáveis ou atributos ) e são um instrumento de diagnóstico da existência ou não de controle.

A distribuição normal constitui-se em noção estatística indispensável no controle da produção-distribuição de água. Sabe-se que os itens de uma distribuição normal, de média ( $\mu$ ) e desvio-padrão ( $\sigma$ ), se distribuem em torno da média nas seguintes proporções aproximadas:

68.3 % dos valores no intervalo  $\mu \pm \sigma$

95.5 % dos valores no intervalo  $\mu \pm 2\sigma$

99.7 % dos valores no intervalo  $\mu \pm 3\sigma$

Assim, diferenças entre um valor observado ( $x$ ) e a média ( $\mu$ ) maiores que  $\pm 3\sigma$  são esperadas apenas três vezes em cada 1000 observações. Por esta razão, a faixa de dispersão normal no processo sob controle é a do intervalo  $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ .

Quando a dispersão se torna anormal, as alterações nas características do nível de qualidade de atendimento da água tornam-se sensíveis. As amostras retiradas indicarão que o processo de produção-distribuição 'se modificou' e ficou fora de controle. Neste caso, o processo produção-distribuição deve ser

imediatamente sanado, o que deve ser iniciado no local onde se procedeu a causa perturbadora.

Como já mencionado, a presença de causas identificáveis, responsáveis pela perturbação do processo produção-distribuição, é revelada através de dispositivos práticos, chamados gráficos de controle, cuja construção é mostrada na figura (2).

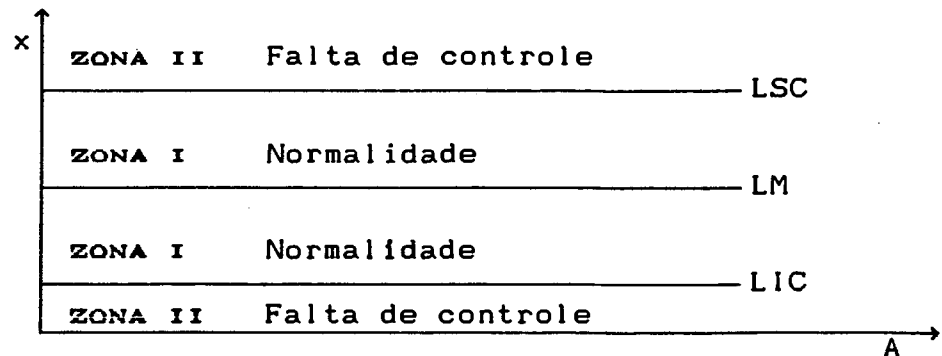


FIGURA (2): Estrutura de um gráfico de controle

onde

$x$  = valor observado do característico (variável ou atributo).

$A$  = número de ordem cronológica das amostra extraídas durante o processo (escala uniforme e associada ao tempo).

LSC = linha superior de controle, correspondente ao limite superior de controle (LSC), dado por  $\mu + 3\sigma$ .

LM: = linha média do gráfico, correspondente à média ( $\mu$ ) do processo.

LIC = linha inferior de controle, correspondente ao limite inferior de controle (LIC), dado por  $\mu - 3\sigma$ .

Como se vê, o gráfico fica dividido em duas zonas:

- Zona I, interior das linhas limites de controle, corresponde à normalidade do processo.
- Zona II, exterior às linhas limites de controle, corresponde à falta de controle do processo.

Quando o processo está sob controle, existe a probabilidade de que ocorram, aproximadamente, três pontos em cada mil na zona II, em virtude de causas aleatórias. Sendo essa probabilidade baixa, do ponto de vista prático, a ocorrência de um



ou mais pontos na zona II provavelmente indica a presença de uma causa identificável que deverá ser investigada e eliminada.

As indicações de que o processo começa a fugir de controle são as seguintes:

- Um ou mais ponto(s) situado(s) na zona II (indica causa identificável, a ser eliminada).
- Alguns pontos situados na zona I, mas muito próximos a uma linha de controle (indica tendência a fugir do controle).
- Qualquer disposição peculiar (não aleatória em torno da média) dos pontos situados na zona I, muito embora nenhum deles esteja próximo de uma linha de controle (indica tendência a fugir do controle).

### 3.8.2. Tipos de gráficos de controle

Existem duas classes principais de gráficos de controle de qualidade:

- Controle por variáveis.
- Controle por atributos.

Os gráficos de controle por variáveis baseiam-se em mensurações do característico de qualidade que sofre variações contínuas. São de três tipos:

- Da média ( $\bar{x}$ );
- Do desvio-padrão ( $s$ );
- Da amplitude ( $R$ ); e

são sempre utilizados aos pares (valor médio e dispersão).

Os gráficos de controle por atributos baseiam-se na verificação da presença/ausência, contaminado/não contaminado, etc de um atributo e são basicamente de dois tipos:

- Da fração de contaminação ( $P$ );
- Do número de contaminação ( $nP$ ).

#### 3.8.2.1. Gráficos de controle por variáveis

Os três gráficos de controle por variáveis ( da média  $\bar{x}$ ,

do desvio-padrão  $\sigma$  e da amplitude  $R$  ) são baseados na distribuição normal, cujo sistema baseia-se no intervalo 3 sigma, de modo que os limites de controle são dados por uma função da média e de alguma medida de dispersão.

$$\begin{array}{ll} - \text{ Para a média} & \bar{\mu}_x \pm 3.\sigma_x \\ - \text{ Para o desvio-padrão} & \bar{s} \pm 3.\sigma_s \\ - \text{ Para a amplitude} & \bar{R} \pm 3.\sigma_R \end{array}$$

### 3.8.2.1.1. Gráfico da média

Sabe-se da teoria da amostragem que as médias de amostras de  $(n)$  elementos retirados de uma população tendem a uma distribuição normal à medida em que  $(n)$  aumenta. Sabe-se também que a distribuição normal, com média  $(\mu)$  e desvio-padrão  $(\sigma)$  é também normal, com  $\mu_x = \mu$  e  $\sigma_x = \sigma/n^{1/2}$ .

O gráfico das médias foi concebido baseado no fato de que uma variável normalmente distribuída apresenta seus valores dentro da faixa,  $\mu \pm 3\sigma$ , com 99.7 %, aproximadamente, de certeza.

Para a construção do gráfico de controle das médias  $(\bar{x})$  de amostras de tamanho  $(n)$ , marcam-se em ordenadas como segue:

$$\begin{array}{l} \text{Linha média LM} = \mu_x = \mu \\ \text{Linha superior de controle LSC} = \mu + 3.\sigma/n^{1/2} \\ \text{Linha inferior de controle LIC} = \mu - 3.\sigma/n^{1/2} \end{array} \quad (36)$$

ou

$$\begin{array}{l} \text{LM} = \mu_x = \mu \\ \text{LSC} = \mu + 3.\sigma_x \\ \text{LIC} = \mu - 3.\sigma_x \end{array}$$

onde

$\mu$ : média conhecida;

$\sigma$ : desvio-padrão conhecido de um conjunto de dados.

Fazendo-se  $A = 3/n^{1/2}$  e substituindo-se em (36), tem-se:

$$\begin{array}{l} \text{LM} = \mu \\ \text{LSC} = \mu + A.\sigma \\ \text{LIC} = \mu - A.\sigma \end{array} \quad (37)$$

Os valores de (A) em função do tamanho (n) da amostra estão tabelados Tábua (1).

Para cada amostra calcula-se a média de contaminação ( $\bar{x}$ ) e marca-se no gráfico um ponto cuja ordenada é ( $\bar{x}$ ) e cuja abscissa é o número de ordem da amostra ( ou tempo ).

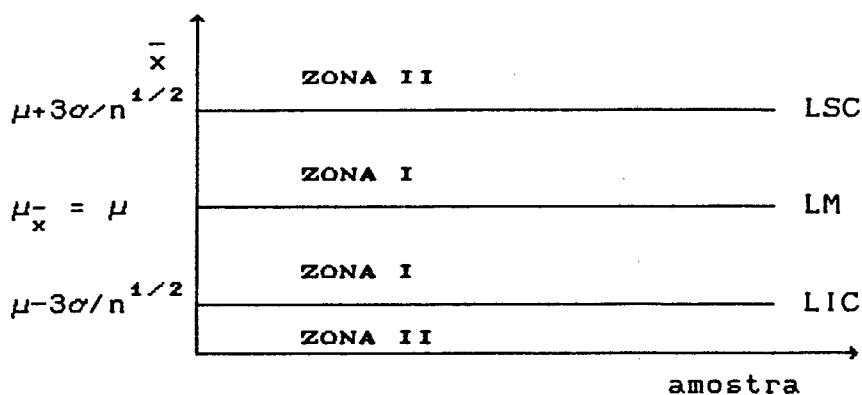


FIGURA (3): Gráfico da média  $\bar{x}$

Esse procedimento é empregado sempre que os parâmetros ( $\mu$ ) e ( $\sigma$ ) são conhecidos.

Na prática, porém, os parâmetros ( $\mu$ ) e ( $\sigma$ ) são desconhecidos. Neste caso, faz-se necessário calcular suas estimativas, as quais devem basear-se, no mínimo, em ( $K = 25$ ) amostras de tamanho ( $n = 4$ ) itens (setores) ou ( $k = 20$ ) amostras de tamanho ( $n = 5$ ) itens (setores), sendo que as amostras devem possuir o mesmo número de itens (setores), isto é, o tamanho das amostras deve permanecer constante.

### 3.8.2.1.1.1. Estimativa da média

Do estudo da teoria da amostragem, fica claro que a melhor estimativa da média ( $\mu$ ) de uma população é a média das médias de suas amostras representativas, isto é;

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} ( \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k ) \quad (38)$$

onde  $\bar{x}_1$  é a média da primeira amostra;  $\bar{x}_2$  a da segunda amostra e assim por diante.

### 3.8.2.1.1.2. Estimativa do desvio-padrão

O cálculo da estimativa do desvio-padrão pode basear-se em dois métodos:

a) 1.º Método: Estimativa do desvio-padrão por meio do desvio-padrão ( $s$ ) das amostras.

Este método de estimar o desvio-padrão baseia-se na obtenção da média dos desvios padrões das amostras:

i) Para cada amostra ( $i$ ) calcula-se:

$$s_i = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n-1 \right]^{1/2} \quad (39)$$

ii) A seguir, calcula-se o desvio-padrão médio:

$$\bar{s} = \frac{1}{k} (s_1 + s_2 + \dots + s_k) \quad (40)$$

onde  $s_1$  é o desvio-padrão da primeira amostra;  $s_2$  o da segunda e assim por diante.

iii) Utiliza-se, para a estimativa do desvio, um fator de correção, denotado por  $(C_2)$ , tabelado em função do tamanho ( $n$ ) da amostra Tábua (1). Para amostras maiores que 25,  $(C_2) = 1$ . Portanto, não é necessária a correção. Dessa forma, a estimativa do desvio-padrão ( $\hat{\sigma}$ ), fica:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_2} \quad (41)$$

Os limites de controle baseados em ( $s$ ) são, portanto;

$$LM = \bar{x} \quad (\text{linha média})$$

$$LSC = \bar{x} + 3 \cdot \frac{\bar{s}}{C_2 n^{1/2}} \quad (42)$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \cdot \frac{\bar{s}}{C_2 n^{1/2}}$$

Fazendo-se  $A_1 = \frac{3}{C_2 n^{1/2}}$  e substituindo-se em (42),

tem-se:

$$\begin{aligned} LM &= \bar{x} \\ LSC &= \bar{x} + A_1 \cdot \bar{s} \\ LIC &= \bar{x} - A_1 \cdot \bar{s} \end{aligned} \quad (43)$$

Os valores de ( $A_1$ ) em função do tamanho ( $n$ ) da amostra estão tabelados Tábua (1).

Recomenda-se utilizar este método para amostras grandes, com ( $n > 10$ ).

b) 2.º Método: Estimativa do desvio-padrão com base na amplitude ( $R$ ) das amostras.

Define-se amplitude como sendo a diferença entre o maior e o menor valor de um conjunto de dados.

i) Para cada amostra ( $i$ ) calcula-se;

$$R_i = (x_{\max} - x_{\min}) \quad (44)$$

ii) A seguir, calcula-se a amplitude média:

$$\bar{R} = \frac{1}{k} (R_1 + R_2 + \dots + R_k) \quad (45)$$

iii) Utiliza-se, para a estimativa do desvio, um fator de correção, denotado por ( $d_2$ ), tabelado em função do tamanho ( $n$ ) da amostra Tábua (1). Assim, a estimativa do desvio-padrão ( $\hat{\sigma}$ ),

fica:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (46)$$

Recomenda-se utilizar este método para amostras pequenas, com ( $n < 10$ ).

Os limites de controle baseados em (R) são, portanto:

$$LM = \bar{x} \quad (\text{linha média})$$

$$LSC = \bar{x} + 3 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2 n^{1/2}} \quad (47)$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2 n^{1/2}}$$

Fazendo-se  $A_2 = \frac{3}{d_2 n^{1/2}}$  e substituindo-se em (47),

tem-se:

$$\begin{aligned} LM &= \bar{x} \\ LSC &= \bar{x} + A_2 \cdot \bar{R} \\ LIS &= \bar{x} - A_2 \cdot \bar{R} \end{aligned} \quad (48)$$

### 3.8.2.1.2. Gráfico do desvio-padrão

Uma distribuição não pode ser caracterizada apenas por seu valor médio; é necessário conhecer também uma medida de dispersão ( desvio-padrão ou amplitude ) dos itens em torno da média.

Para o controle da dispersão do processo, utiliza-se um gráfico construído dentro dos mesmos princípios em que se baseiam os gráficos para controle das médias. Da mesma forma, podem-se enfrentar duas situações, conforme o grau de informação que se tenha do processo:

a) quando o desvio-padrão ( $\sigma$ ) é conhecido, e

b) quando o desvio-padrão ( $\sigma$ ) é desconhecido.

Em qualquer das situações é possível obter gráficos para o controle da dispersão.

### 3.8.2.1.2.1. Quando ( $\sigma$ ) é conhecido

Neste caso, a linha média e os limites de controle do gráfico são:

$$\bar{s} = C_2 \cdot \sigma \quad (49)$$

O desvio-padrão da distribuição normal do desvio-padrão é dado por<sup>(24)</sup>:

$$\sigma_s = [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2} \cdot \frac{\sigma}{(2n)^{1/2}} \quad (50)$$

Para o intervalo de controle de  $3\sigma$ , tem-se:

$$\bar{s} \pm 3 \cdot \sigma_s \quad (51)$$

Substituindo-se (49) em (51), tem-se;

$$C_2 \cdot \sigma \pm 3 \cdot \sigma_s \quad (52)$$

Substituindo-se, agora, (50) em (52), tem-se;

$$C_2 \cdot \sigma \pm \frac{3}{(2n)^{1/2}} [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2} \cdot \sigma \quad (53)$$

ou

$$\left\{ C_2 \pm \frac{3}{(2n)^{1/2}} [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2} \right\} \cdot \sigma \quad (54)$$

Fazendo-se

$$B_1 = C_2 - \frac{3}{(2n)^{1/2}} [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2}$$

$$B_2 = C_2 + \frac{3}{(2n)^{1/2}} [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2}$$

cujos valores de  $B_1$  e  $B_2$  estão tabelados Tábua (1) para diferentes valores de ( $n$ ).

Assim, os limites de controle ficam definidos por:

$$\begin{aligned}
 LM &= C_2 \cdot \sigma \\
 LIC &= B_1 \cdot \sigma \\
 LSC &= B_2 \cdot \sigma
 \end{aligned}
 \tag{55}$$

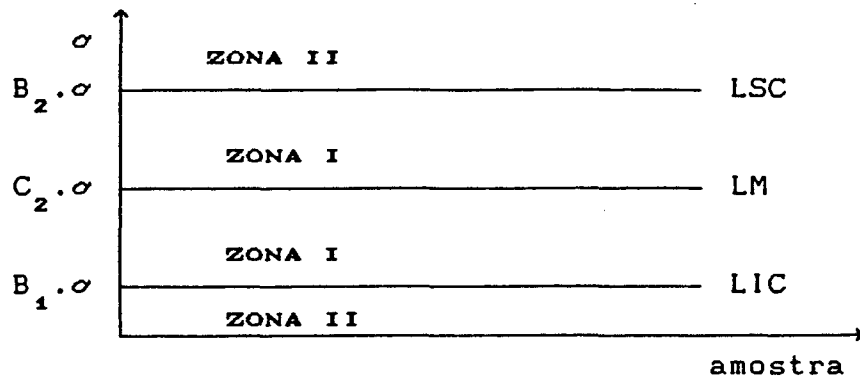


FIGURA (4): Gráfico do desvio-padrão

### 3.8.2.1.2.2. Quando ( $\sigma$ ) é desconhecido

Quando o desvio-padrão ( $\sigma$ ) não for conhecido, deve-se calcular sua estimativa através da equação (41), onde;

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_2}$$

Substituindo-se (50) em (51), tem-se;

$$\bar{s} \pm 3 [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2} \cdot \frac{\hat{\sigma}}{(2n)^{1/2}} \tag{56}$$

Substituindo-se, agora, (41) em (56), tem-se;

$$\bar{s} \pm 3 [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2} \cdot \frac{\bar{s}}{C_2 (2n)^{1/2}} \tag{57}$$

ou

$$\left\{ 1 \pm \frac{3}{C_2 (2n)^{1/2}} [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2} \right\} \cdot \bar{s} \tag{58}$$

Fazendo-se

$$B_3 = 1 - \frac{3}{C_2 (2n)^{1/2}} [2(n-1) - 2n \cdot C_2^2]^{1/2}$$



$$B_4 = 1 + \frac{3}{C_2 (2n)^{1/2}} [2(n-1) - 2n.C_2^2]^{1/2}$$

cujos valores de  $B_3$  e  $B_4$  estão tabelados Tábua (1).

Assim, os limites de controle ficam definidos por:

$$\begin{aligned} LM &= \bar{s} \\ LIC &= B_3 \cdot \bar{s} \\ LSC &= B_4 \cdot \bar{s} \end{aligned} \quad (59)$$

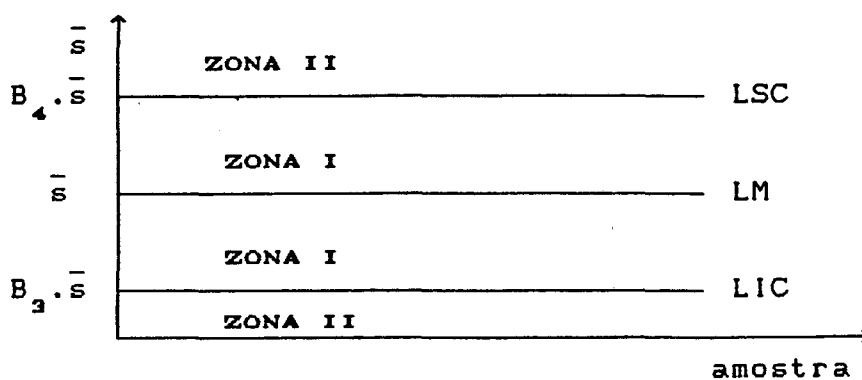


FIGURA (5): Gráfico do desvio-padrão

### 3.8.2.1.3. Gráfico da amplitude

Pelo fato de o cálculo da amplitude ser mais simples que do desvio-padrão, o gráfico da amplitude (R) é o mais empregado para o controle da dispersão, quando o tamanho (n) das amostras for inferior a 10.

Desta forma, podem-se também enfrentar duas situações:

- Quando o desvio-padrão ( $\sigma$ ) é conhecido
- Quando o desvio-padrão ( $\sigma$ ) é desconhecido.

#### 3.8.2.1.3.1. Gráfico de amplitude quando ( $\sigma$ ) é conhecido

Neste caso, a linha média do gráfico da amplitude se obtém com a expressão:

$$LM = \bar{R} = d_2 \cdot \sigma \quad (60)$$

e o desvio-padrão da distribuição normal aproximada das amplitudes (R) é

$$\sigma_R = d_3 \cdot \sigma \quad (61)$$

Para o intervalo de controle  $3 \sigma$ , tem-se:

$$\bar{R} \pm 3 \cdot \sigma_R \quad (62)$$

Substituindo-se (60) em (62), tem-se;

$$d_2 \cdot \sigma \pm 3 \cdot \sigma_R \quad (63)$$

Substituindo-se, agora, (61) em (63), tem-se;

$$d_2 \cdot \sigma \pm 3 \cdot d_3 \cdot \sigma \quad (64)$$

ou

$$(d_2 \pm 3 \cdot d_3) \cdot \sigma \quad (65)$$

Os valores de  $d_2$  e  $d_3$  estão tabelados Tábua (1) para diferentes tamanhos (n) de amostras.

Fazendo-se

$$D_1 = d_2 - 3 \cdot d_3$$

$$D_2 = d_2 + 3 \cdot d_3$$

as linhas de controle são definidas por:

$$LM = d_2 \cdot \sigma$$

$$LIC = D_1 \cdot \sigma$$

$$LSC = D_2 \cdot \sigma$$

(66)

cujos valores de  $D_1$  e  $D_2$  estão tabelados Tábua (1) para diferentes valores de (n).

### 3.8.2.1.3.2. Gráfico da amplitude quando ( $\sigma$ ) é desconhecido

Quando não se conhece ( $\sigma$ ), deve-se calcular sua estimativa através da equação (61), onde;

$$\sigma_R = d_3 \cdot \hat{\sigma}$$

Da equação (60) tem-se que  $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$  e substituindo-se na anterior, tem-se;

$$\sigma_R = d_3 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (67)$$

Substituindo-se (67) em (62), tem-se;

$$\bar{R} \pm 3 \cdot \frac{d_3}{d_2} \cdot \bar{R} \quad (68)$$

ou ainda

$$\left(1 \pm 3 \cdot \frac{d_3}{d_2}\right) \cdot \bar{R} \quad (69)$$

Fazendo-se

$$D_3 = 1 - 3 \cdot \frac{d_3}{d_2}$$

$$D_4 = 1 + 3 \cdot \frac{d_3}{d_2}$$

as linhas de controle são definidas por:

$$LM = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \cdot \bar{R}$$

$$LSC = D_4 \cdot \bar{R}$$

(70)

cujos valores de  $D_3$  e  $D_4$  estão tabelados Tábua (1)

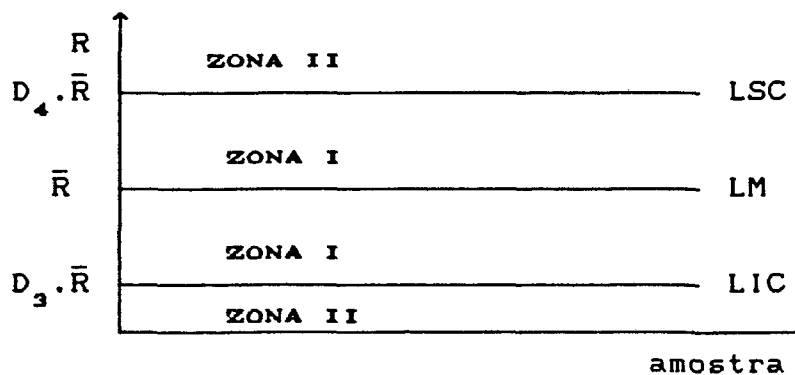


FIGURA (6): Gráfico da amplitude

**Comentário:** Para usar gráficos de controle por variáveis em contaminações de água é preciso ter um grande número de amostras, visto que, em amostras pequenas dificilmente os dados (as contaminações por variáveis) têm uma distribuição normal. Portanto, neste caso, o gráfico não é adequado. Mas, para outros parâmetros relevantes como, por exemplo, o cloro residual livre, o gráfico pode ser usado para amostras não muito grandes.

TÁBUA (1)

Tamanho da Amostra (n)	FATORES PARA CÁLCULO DOS LIMITES EM GRÁFICOS EM CONTROLE				Gráfico de desvio-padrão											
	Gráfico da Média				Gráfico da Amplitude				Gráfico da Média							
	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	Límites de Controle	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	Linha Média	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	1/C <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
2	2.121	3.760	1.080		1.128	0.853	0	3.688	0	3.267	0.584	1.772	0	1.843	0	3.267
3	1.732	2.394	1.023		1.693	0.688	0	4.358	0	2.575	0.724	1.382	0	1.858	0	2.588
4	1.500	1.880	0.729		2.059	0.680	0	4.698	0	2.262	0.798	1.253	0	1.808	0	2.266
5	1.342	1.596	0.577		2.326	0.664	0	4.918	0	2.115	0.841	1.189	0	1.756	0	2.089
6	1.225	1.410	0.483		2.534	0.648	0	5.078	0	2.004	0.869	1.151	0.026	1.711	0.030	1.970
7	1.134	1.277	0.419		2.704	0.633	0.205	5.203	0.076	1.924	0.888	1.126	0.105	1.672	0.118	1.882
8	1.061	1.175	0.373		2.847	0.620	0.387	5.307	0.136	1.864	0.903	1.108	0.167	1.636	0.185	1.815
9	1.000	1.094	0.337		2.970	0.608	0.546	5.394	0.184	1.816	0.914	1.094	0.219	1.609	0.239	1.761
10	0.949	1.028	0.308		3.078	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777	0.923	1.084	0.262	1.584	0.284	1.716
11	0.900	0.973	0.285		3.173	0.790	0.810	5.530	0.256	1.744	0.930	1.075	0.300	1.560	0.321	1.679
12	0.870	0.925	0.266		3.258	0.780	0.920	5.590	0.284	1.716	0.936	1.068	0.330	1.540	0.354	1.646
13	0.830	0.884	0.249		3.336	0.769	1.030	5.650	0.308	1.692	0.941	1.063	0.360	1.520	0.382	1.618
14	0.800	0.848	0.235		3.407	0.763	1.120	5.690	0.329	1.671	0.945	1.058	0.380	1.510	0.406	1.594
15	0.770	0.816	0.223		3.472	0.754	1.210	5.740	0.364	1.652	0.949	1.054	0.410	1.490	0.428	1.572
16	0.750	0.788	0.212		3.532	0.753	1.280	5.780	0.364	1.636	0.952	1.050	0.430	1.480	0.448	1.552
17	0.730	0.762	0.203		3.588	0.744	1.360	5.820	0.379	1.621	0.955	1.047	0.440	1.470	0.466	1.534
18	0.710	0.738	0.194		3.640	0.740	1.430	5.850	0.392	1.608	0.958	1.044	0.460	1.450	0.482	1.518
19	0.690	0.717	0.187		3.689	0.729	1.490	5.890	0.404	1.596	0.960	1.042	0.480	1.440	0.497	1.503
20	0.670	0.697	0.180		3.735	0.728	1.550	5.920	0.414	1.586	0.962	1.040	0.490	1.430	0.510	1.490
21	0.650	0.679	0.173		3.778				0.425	1.575	0.964	1.038	0.500	1.420	0.523	1.477
22	0.640	0.662	0.167		3.819				0.434	1.566	0.966	1.036	0.520	1.410	0.534	1.466
23	0.630	0.647	0.162		3.858				0.443	1.557	0.967	1.034	0.530	1.410	0.545	1.455
24	0.610	0.632	0.157		3.895				0.452	1.548	0.968	1.033	0.540	1.400	0.555	1.445
25	0.600	0.619	0.153		3.931				0.459	1.541	0.970	1.031	0.550	1.390	0.565	1.435

### 3.8.2.2. Gráficos de controle por atributos

Quando não é possível, ou não é econômico, realizar mensurações das características do nível de qualidade de atendimento da água, do processo produção-distribuição, em algum local representativo da rede de distribuição, recorre-se ao controle por atributos, no qual a presença de uma contaminação leva a classificar uma amostra (ou um ponto) como contaminado, sem que se considere a intensidade ou grau da própria contaminação.

Para o controle por atributos há, entretanto, dois tipos básicos de gráficos: gráfico da fração de contaminação (P) e gráfico do número total de contaminação (nP).

#### 3.8.2.2.1. Gráfico da fração de contaminação (P)

Neste caso, o tamanho de amostras não é necessariamente constante com o decorrer das amostragens. Assim, o gráfico de controle apropriado será o gráfico da fração de contaminação para tamanho de amostras variáveis.

A fração de contaminação é simplesmente o número total de amostras contaminadas (c) dividido pelo número total (n) de amostras inspecionadas, isto é:

$$p = \frac{c}{n} \quad (71)$$

O gráfico da fração de contaminação ou gráfico de (P) é baseado na distribuição binomial, a qual tem desvio-padrão expresso em termos de (P).

$$\sigma_p = [P(1 - P)/n]^{1/2} \quad (72)$$

O intervalo  $3\sigma$  para os limites de controle (P) fornece:

$$\begin{aligned} LM &= P \\ LSC &= P + 3.[P(1 - P)/n]^{1/2} \\ LIC &= P - 3.[P(1 - P)/n]^{1/2} \end{aligned} \quad (73)$$

A prática aconselha que as amostras tenham tamanho (n) de valor próximo a  $10/P$ .

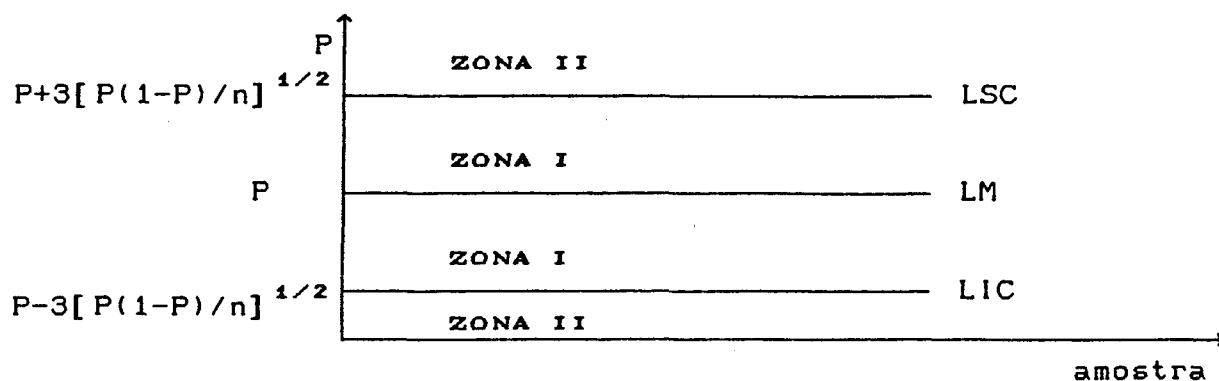


FIGURA (7): Gráfico da fração de contaminação

Quando a fração de contaminação ( $P$ ) é desconhecida, sua estimativa é feita calculando-se a fração de contaminação média pela expressão:

$$\bar{p} = \frac{\sum c}{\sum n} \quad (74)$$

para um conjunto de pelo menos ( $k = 20$ ) amostras de tamanho ( $n$ ).

A linha média será marcada para esse valor ( $\bar{p}$ ), e os limites de controle serão:

$$\begin{aligned} LM &= \bar{p} \\ LIC &= \bar{p} - 3.[\bar{p}(1 - \bar{p})/n]^{1/2} \\ LSC &= \bar{p} + 3.[\bar{p}(1 - \bar{p})/n]^{1/2} \end{aligned} \quad (75)$$

Quando o valor calculado para o LIC for negativo, deve-se adotar o valor  $LIC = 0$ .

### 3.8.2.2.1.1. Gráfico da fração de contaminação para tamanho de amostras variáveis

Normalmente, os gráficos da fração de contaminação ( $P$ ) são desenvolvidos e usados para amostras de tamanho constante. Porém, essa situação nem sempre é possível. Neste caso, o gráfico apropriado de controle seria o da fração de contaminação para amostra de tamanho variável. Assim, os limites de controle serão calculados para cada tamanho de amostragem<sup>(26)</sup>. Isto é, a fórmula é a mesma ao da (75), todavia, os limites de controle (LC) são função do tamanho ( $n$ ) da amostra.

Outra maneira de aplicar o gráfico da fração de contaminação para amostra de tamanho variável.

A fração de contaminação é simplesmente o número total de contaminações encontradas dividido pelo número total de amostras inspecionadas. Chamando-se essa fração por  $(p)$  e por  $(m)$  o número de contaminações esperadas em amostras de tamanho  $(n)$ , então o número de contaminações esperadas em cada amostragem será o produto  $m = nxp$ . Pode-se utilizar a tabela (5)<sup>(22)</sup> para calcular os limites da fração de contaminação. Neste caso, divide os limites dados pela tabela pelo tamanho da amostra  $(n)$ , isto é,  $m_1/n$  e  $m_2/n$ , onde  $m_1$  é o limite de ação e  $m_2$  é o limite de advertência.

O exemplo (4) do capítulo de aplicação utiliza estes métodos nos itens (4.2.4.3) e (4.2.4.4).

#### 3.8.2.2.1.2. Gráfico de contaminações cumulativas

Ao tratar de cidades não muito grandes, o número de amostras (por setores ou por amostragem) a serem coletadas e analisadas é relativamente pequeno. Assim, espera-se que se o nível de qualidade de atendimento do sistema for bom, ocorrerá grande número de zeros, isto é, a maioria das amostras não apresentará contaminações.

Geralmente, é melhor utilizar gráfico de controle de amostras pequenas e frequentes em vez de amostras grandes e raras. Porém, é desejável que o tamanho da amostra seja de tal grandeza que permita, em média, detectar pelo menos uma contaminação por amostra (se as houver). Isto será muito difícil quando forem inevitáveis as amostras muito pequenas. Neste caso, o gráfico da fração de contaminação convencional não é muito útil e em seu lugar deverá ser usado o gráfico de contaminações cumulativas<sup>(14)</sup>.

Outra razão para se usar o gráfico cumulativo é que, na maioria dos casos, no gráfico da fração de contaminação convencional, todos os pontos aparentam ter igual importância, embora isso nem sempre ocorra. Se o tamanho da amostra for variável, os pontos gerados de grandes amostras devem ter, em

correspondência, maior peso. Por essa razão e devido à dispersão dos pontos, uma pequena mudança na média do processo pode ser difícil de detectar a tempo para se tomar as providências necessárias.

Uma maneira simples de superar essas dificuldades é mostrada na figura (8), na qual o número acumulado de amostras contaminadas foi plotado em função do número acumulado de amostras inspecionadas, conforme os dados da tabela (4).

TABELA (4)

N.º Setor	N.º Amostras Inspeccionadas	N.º Acumulado Amostras Insp.	N.º Amostras Contaminadas	N.º Acumulado Amostras Cont.
01	6	6	0	0
02	7	13	1	1
03	9	22	0	1
04	8	30	1	2
05	7	37	0	2
06	9	46	0	2
07	10	56	1	3
08	9	65	1	4
09	8	73	0	4
10	9	82	1	5
11	8	90	0	5
12	10	100	1	6

N.º Acum. de amostras cont.

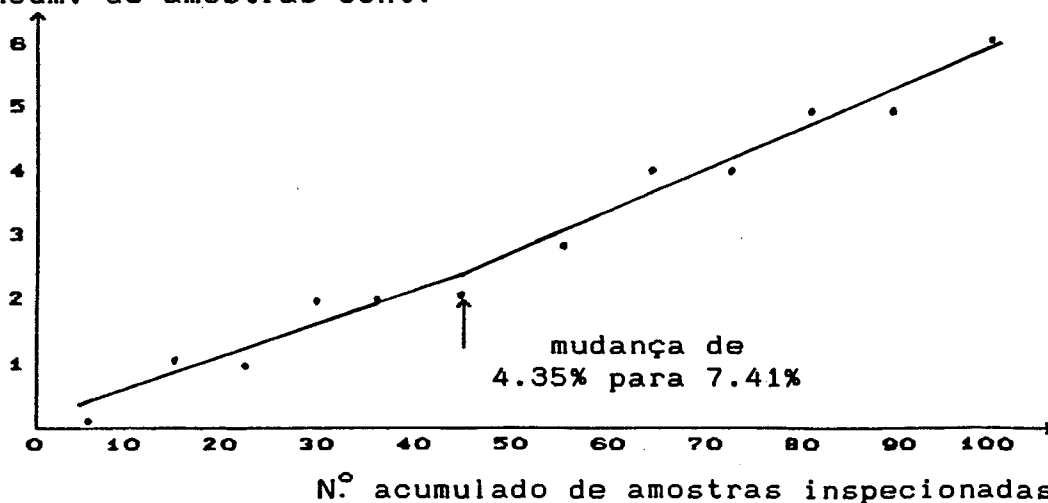


FIGURA (8)



A declividade da linha reta ajustada através dos pontos dá o nível médio de contaminações. Se essa declividade mudar, significa que o nível médio de contaminações mudou. Se 4 ou 5 pontos sucessivos, do mesmo lado, se afastaram da reta ajustada é racional supor que ocorreu uma mudança no nível de contaminações (para mais ou para menos) durante o período de cobertura desses pontos, sendo necessário calcular uma nova média para esse novo período.

As vantagens do gráfico cumulativo podem ser resumidas como:

- a) o método reduz o efeito de amostras muito pequena que se apresentam com níveis de contaminações, extraordinariamente, altos ou baixos;
- b) permite calcular rapidamente uma média ponderada verdadeira, de qualquer período desejado;
- c) permite observar mais facilmente o nível médio, quando a probabilidade de uma contaminação for muita pequena. Nesta situação, o gráfico apresenta grande número de 0's e alguns 1's; e
- d) permite uma observação mais fácil das mudanças no nível, particularmente quando a porcentagem de contaminações flutuar, desordenadamente, de uma amostragem para outra (ou de um setor para outro).

### 3.8.2.2.2. Gráfico do número total de contaminação

Este pode ser utilizado como alternativa ao gráfico da fração de contaminação para amostras de mesmo tamanho ( $n$ ).

A linha média ( $n\bar{p}$ ) e os limites de controle são dados por:

$$\begin{aligned} LM &= n\bar{p} \\ LIC &= n\bar{p} - 3.[n\bar{p}(1 - \bar{p})]^{1/2} \\ LSC &= n\bar{p} + 3.[n\bar{p}(1 - \bar{p})]^{1/2} \end{aligned} \quad (76)$$

Sendo  $n\bar{p}$  o número médio de contaminações encontradas no conjunto das ( $k$ ) amostras. Se  $LIC < 0$ , deve-se adotar o valor  $LIC = 0$ .

## Regras para utilização dos gráficos de controle

Para utilização dos gráficos de controle devem-se observar as seguintes regras:

- a) Se um ponto cair sobre ou acima do limite superior de ação é sinal de que o processo está se deteriorando e há que se tomar providências técnicas para melhorá-lo. A ação se faz necessária e os procedimentos de controle de qualidade serão mantidos ou não, dependendo da eficiência com que é exercida a ação de controle.
- b) Se o ponto cair próximo ao limite superior de ação, coleta-se imediatamente mais uma amostra. Se essa amostra subsequente originar novamente um ponto próximo ao limite superior, o processo está se deteriorando. Deve-se tomar providências técnicas para melhorá-lo. Por outro lado, se esse ponto cair dentro da zona de normalidade, não próximo ao limite superior, dentro da rotina, deve-se tomar mais uma amostra.
- c) Se os pontos estiverem caindo próximo ao limite inferior, não há necessidade de nenhuma ação e deve-se continuar tomando amostras de forma rotineira.

Desde que o controle técnico do processo se mantenha como no período inicial, não há razão para suspeitar-se de mudanças e, assim, todas as variações dentro da faixa de controle podem ser ignoradas e o processo considerado dentro dos padrões de qualidade. Pode-se esperar, como já dito, que 1 em 1000 pontos caia fora dos limites de ação devido a causas aleatórias. No entanto, apesar de que 1 em cada 1000 pontos fora dos limites de ação, pode significar que o processo está se deteriorando, isto pode ser desprezado porque se está trabalhando num intervalo de 3 $\sigma$ .

Quando a maioria dos pontos cair acima do nível médio há indícios para se suspeitar que houve uma deterioração do processo. Pontos apresentando uma acentuada tendência de se afastarem da

média podem, muitas vezes, indicar uma mudança de qualidade, mesmo antes de começarem a cair acima dos limites de controle<sup>(22)</sup>.

TABELA (5)  
LIMITES DO GRÁFICO DE CONTROLE PARA NÚMERO DE CONTAMINAÇÕES

N.º de Contaminação Esperada na Amostra (n)			Limite de Ação ( $m_1$ )	N.º de Contaminação Esperada na Amostra (n)			Limite de Advert. ( $m_2$ )
	≤	0.001	1		≤	0.025	1
0.002	a	0.045	2	0.026	a	0.24	2
0.046	a	0.20	3	0.25	a	0.62	3
0.21	a	0.43	4	0.63	a	1.09	4
0.44	a	0.74	5	1.10	a	1.62	5
0.75	a	1.11	6	1.63	a	2.20	6
1.12	a	1.52	7	2.21	a	2.81	7
1.53	a	1.97	8	2.82	a	3.45	8
1.98	a	2.45	9	3.46	a	4.15	9
2.45	a	2.96	10	4.16	a	4.80	10
2.97	a	3.49	11	4.81	a	5.49	11
3.50	a	4.04	12	5.50	a	6.20	12
4.05	a	4.61	13	6.21	a	6.92	13
4.62	a	5.20	14	6.93	a	7.65	14
5.21	a	5.79	15	7.66	a	8.40	15
5.80	a	6.40	16	8.41	a	9.12	16
6.41	a	7.03	17				
7.04	a	7.66	18				
7.67	a	8.31	19				
8.32	a	8.96	20				

### 3.9. Alguns conceitos adicionais

#### 3.9.1. Considerações preliminares:

Para melhor clareza do restante do trabalho, são relembrados aqui alguns conceitos básicos, já bem conhecidos, porém muito úteis em qualquer abordagem ao tema Controle de Qualidade.

#### 3.9.2. Níveis de qualidade

Considerando-se um setor de amostragem de (N) ligações das quais (C) sejam contaminadas, ele apresenta uma fração de contaminação  $P = \frac{C}{N}$  (em geral expressa em porcentagem); ou nível de qualidade P%. Observe que valores crescentes de (P) indicam setores de amostragem com qualidade cada vez pior. De dois setores de amostragem, com  $P_1 < P_2$ , o primeiro (com  $P_1$ ) é de qualidade melhor do que o segundo (com  $P_2$ ).

Em um sistema produtor-consumidor de água, mesmo sob controle estatístico de qualidade (as contaminações são geradas ao acaso), os diversos setores de amostragem apresentarão diferentes frações de contaminação, em torno de um valor médio ( $\bar{P}$ ), denominado de qualidade média de atendimento do sistema ou fração de contaminação do sistema.

Portanto, considerem-se (N) ligações de um setor de amostragem, das quais (n) foram cadastradas como sendo pontos representativos para serem amostrados e analisados. Assim, se uma amostra contém (c) pontos contaminados, sua fração de contaminação é igual a  $p = \frac{c}{n}$ .

Considerem-se, agora, os interesses do "produtor de água" e os do "consumidor de água", em relação aos níveis de qualidade de atendimento do sistema. Suponha-se que o consumidor de água fixe igual a ( $P_1$ ) o Nível de Qualidade Aceitável (NQA), isto é, a porcentagem máxima de ligações de água contaminadas do setor de amostragem que pode ser considerada satisfatória para o consumidor e que ( $P_2$ ) seja o Nível de Qualidade Inaceitável (NQI), isto é, a porcentagem mínima de ligações de água contaminadas do

setor de amostragem que já pode ser considerada uma ameaça à saúde ou ao bem-estar do consumidor. Evidentemente, isto exige  $P_1 < P_2$ .

Um plano de amostragem satisfatório, portanto, deverá discriminar um atendimento com nível adequado de qualidade ( $P < P_1$ ) de um atendimento com nível inadequado ( $P > P_2$ ), e isto com base nas amostras examinadas. Em outras palavras, o plano deverá aceitar os atendimentos de boa qualidade e rejeitar os de má qualidade.

O produtor desejará uma proteção contra a rejeição do atendimento de boa qualidade, e o consumidor, desejará uma proteção contra a aceitação de atendimento de má qualidade. É natural que consumidor e produtor desejem fixar, tanto com base em sua experiência anterior e como por razões econômicas, os riscos a que estarão expostos ao adotarem um critério de decisão, e que isto seja alcançado na inspeção por amostragem.

Distinguem-se, portanto, dois tipos de riscos:

- risco do consumidor de água;
- risco do produtor de água.

#### 3.9.2.1. Risco do consumidor de água, $\beta$ :

É a probabilidade de se considerar adequada uma água que apresenta um nível de qualidade inaceitável (isto é, a probabilidade de aceitar um setor com nível de atendimento  $P \geq P_2$ ).

#### 3.9.2.2. Risco do produtor de água, $\alpha$ :

É a probabilidade de se considerar inadequada uma água que apresenta um nível de qualidade aceitável (isto é, a probabilidade de rejeitar-se um setor com nível de atendimento  $P \leq P_1$ ).

Assim, o consumidor poderá, por exemplo, fixar seu risco em 5%, o que significa que, em uma série de setores de amostragem sujeitos a inspeção, (cinco) setores de amostragem em cada (cem), aceitos como sendo de bom nível de atendimento será, na realidade, de nível inadequado (com nível de qualidade  $P_2$  ou maior). O valor

desse risco é fixado tendo em vista as consequências que trarão a utilização ou consumo de água contaminada. Por outro lado, o produtor também poderá fixar seu risco de uma série de setores de amostragem de atendimento de boa qualidade ( $P \leq P_1$ )

O consumidor tentará reduzir seu risco, se possível a zero; por outro lado, o produtor tem interesse semelhante, porque não deseja correr o risco de ter seu Sistema Produtor de Água como sendo de má qualidade quando estiver atendendo dentro das especificações estabelecidas (com  $P < P_1$ ). Porém, para amostras de tamanho ( $n$ ) fixo, não é possível reduzir ambos ao mesmo tempo, a redução de um deles implica no aumento do outro.

Se, por um lado, o Sistema Produtor-Distribuidor de Água quer proteger-se ao máximo contra reclamações de um mau nível de atendimento, por outro lado, quer minimizar seus gastos com inspeção por amostragem. Para atender o último caso, teria que fixar o tamanho ( $n$ ) da amostra o menor possível. Mas, agindo dessa forma, diminuiria o poder discriminante do plano, na separação de setores de amostragem com nível de atendimento que podem ser considerados aceitáveis, daqueles com níveis de atendimento considerados como inaceitáveis. Desse modo, a diminuição do custo de inspeção poderia acarretar aumento do custo das decisões errôneas.

Uma maneira de caracterizar um plano de amostragem para aceitação é escolher quatro elementos, dois níveis de qualidade de atendimento e dois riscos ou níveis de proteção contra decisões errôneas, isto é:

- $P_1$  = Nível de qualidade aceitável de atendimento (NQA);
- $\alpha$  = Risco do produtor de água, associado ao (NQA);
- $P_2$  = Nível de qualidade inaceitável de atendimento (NQI);
- $\beta$  = Risco do consumidor de água, associado ao (NQI).

Escolhido um plano de amostragem simples, admite-se que ele permita aceitar qualquer setor de amostragem cuja fração de contaminação seja inferior ou igual ao (NQA), e rejeitar qualquer setor de amostragem cuja fração de contaminação seja igual ou superior ao (NQI). Nas aplicações do plano, os riscos de decisões errôneas são: o risco do produtor ( $\alpha$ ) para as rejeições de

qualidades de atendimento que são adequadas ( $P < P_1$ ) e o risco do consumidor ( $\beta$ ) para aceitações de atendimento por serem inadequados ( $P > P_2$ ).

### 3.9.3. Número de aceitação e número de rejeição

Na construção de plano de amostragem simples, fixa-se, para que um setor de amostragem seja aceitável na inspeção, o número máximo de contaminações que se permite na amostra de tamanho ( $n$ ); tal número máximo de contaminações ( $a$ ) denomina-se número de aceitação.

Se o número de contaminações encontradas for igual ou inferior ao máximo de aceitação ( $a$ ) aceita-se a amostra e, conseqüentemente o setor de amostragem.

Se o número de contaminações encontradas for superior ao número de aceitação ( $a$ ) e, neste caso, for igual ou superior ao número de rejeição ( $r$ ), rejeita-se a amostra e, conseqüentemente o setor de amostragem; define-se assim, o número de rejeição  $r = a + 1$ . Naturalmente, deve-se ter:

$$0 \leq a \leq (n - 1) \quad \text{e} \quad 1 \leq r \leq n \quad (77)$$

Através das distribuições de probabilidade acumuladas, tais como: a hipergeométrica, a binomial ou a de Poisson, a mais adequada no caso em exame, pode-se obter a probabilidade de que ocorram, no máximo, ( $a$ ) contaminações na amostra.

### 3.9.4. Probabilidade de aceitação e probabilidade de rejeição

Uma amostra será aceita se  $0 \leq c \leq a$ , ou seja, se o número de contaminações ( $c$ ) não superar o número de aceitação ( $a$ ). Dessa forma, pode-se determinar a probabilidade de aceitação da amostra, que vem a ser a mesma probabilidade de ocorrer  $0 \leq c \leq a$ . Assim, podem-se definir as expressões de probabilidade acumulada, ou seja, a probabilidade de que ocorram na amostra, no máximo, ( $a$ ) contaminações:

$$F(a) = P(0 \leq c \leq a) \quad (78)$$

e seu cálculo se fará conforme o tipo de distribuição que se tenha adotado em cada caso.

Se  $F(a)$  for a probabilidade de aceitação, então  $1 - F(a)$  será a probabilidade de rejeição, ou seja:

$$1 - F(a) = P(c > a) = P(r \leq c \leq n) \quad (79)$$

### 3.9.5. Distribuição hipergeométrica

A distribuição hipergeométrica descreve a amostragem sem reposição. Dado um setor de amostragem de  $(N)$  pontos, dos quais  $(C)$  sejam contaminados, e  $(N - C)$  sejam não-contaminados, a fração de contaminação é  $P = \frac{C}{N}$ . Extrai-se uma amostra, ao acaso, de tamanho  $(n)$  desse setor de amostragem ( $n \leq N$ ), e a probabilidade de que ela contenha exatamente  $(x)$  contaminações é dada por:

$$P(x) = \frac{\binom{C}{x} \binom{N-C}{n-x}}{\binom{N}{n}}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (80)$$

A probabilidade de ocorrerem no máximo  $(a)$  contaminações em  $(n)$  provas é dada por:

$$F(a) = \sum_{x=0}^{x=a} \frac{\binom{C}{x} \binom{N-C}{n-x}}{\binom{N}{n}}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, a \quad (81)$$

A média dos  $(x)$  é  $(nP)$  e a variância é aproximadamente  $nPQ(1-f)$ , onde  $f = \frac{n}{N}$  (fração de amostragem) e  $Q = 1-P$ .

Esta distribuição deve ser aplicada quando se trata de amostragem pequena e  $f > 0.10$  e quando se conhece o número de ligações  $(N)$  do setor.

### 3.9.6. Distribuição binomial

A distribuição binomial descreve experimentos independentes do mesmo tipo e repetidos várias vezes. Cada experimento admite apenas dois resultados possíveis, por exemplo, ocorrência ou ausência de uma contaminação (inspeção por atributos).



A probabilidade de em cada prova de uma amostra, ocorrer uma contaminação é (P); por conseguinte, a probabilidade de uma ausência da mesma é (Q = 1 - P). Então a probabilidade de ocorrerem exatamente (x) contaminações em (n) provas, isto é, de que haja (x) ocorrências e (n - x) ausências, é dada por:

$$P(x) = \binom{n}{x} P^x Q^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (82)$$

Por outro lado, a probabilidade de ocorrerem, no máximo, (a) contaminações, em (n) provas é dada por:

$$F(a) = \sum_{x=0}^{x=a} \binom{n}{x} P^x Q^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, a \quad (83)$$

A expressão (83) é a soma dos P(x), desde x = 0, até x = a.

A média é igual a (nP) e a variância é nPQ.

Se (n) for pequeno, os termos individuais da distribuição binomial serão relativamente fáceis de calcular. Contudo, se (n) for relativamente grande, os cálculos se tornam bastante trabalhosos. Felizmente, já foram preparadas tábuas de probabilidades binomiais.

A distribuição, binomial descreve a amostragem com reposição, a fim de não alterar o valor de (P); contudo, constitui uma aproximação para amostras sem reposição, quando (N) é grande, ou seja, quando a fração de amostragem  $f = \frac{n}{N} \leq 0.10$ .

Se a fração de contaminação  $P = \frac{C}{N}$  (onde (C) é o número de contaminações existentes no setor (N)) for, no máximo, igual a 10%, pode-se aplicar a distribuição de Poisson com aproximação da binomial.

### 3.9.7. Distribuição de Poisson

A distribuição de Poisson descreve a ocorrência de pequeno número de vezes sem periodicidade, mas com várias repetições. É o caso de amostragem (com ou sem reposição) quando a fração de amostragem,  $f = \frac{n}{N} < 0.10$ ; de setores de amostragem

também com baixa fração de contaminação  $P = \frac{C}{N}$  (onde (C) é o número de contaminações existentes no setor (N)).

A probabilidade de ocorrerem (x) contaminações na amostra de tamanho (n) é dada por:

$$P(x) = \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^x}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (84)$$

onde a média  $\mu = nP$ , e a variância também é  $nP$ .

Por outro lado, a probabilidade de ocorrerem, no máximo, (a) contaminações em (n) provas, é dada por:

$$F(a) = \sum_{x=0}^{x=a} \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^x}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, a \quad (85)$$

A expressão (85) é a soma das  $P(x)$ , desde  $x = 0$ , até  $x = a$ .

### 3.9.8. Curva característica de operação

Na inspeção de nível de qualidade de atendimento do sistema produtor-consumidor de água, o principal objetivo é discriminar setores de amostragem conforme sua fração de contaminação (P). Uma vez fixados o tamanho (n) da amostra e o número de aceitação (a), a probabilidade de aceitação ( $P_a$ ) do setor de amostragem, dada por  $F(a) = P(0 \leq c \leq a)$  pode ser expressa como função do nível de qualidade de atendimento do sistema produtor-consumidor de água expresso pela fração de contaminação (P) do setor de amostragem definido no intervalo [0; 1], e denomina-se função característica de operação do plano.

O gráfico da função característica, denominado Curva de Probabilidade da Aceitação ( $P_a$ ) ou Curva Característica de Operação (CCO), é traçado por pontos, marcando-se nas abscissas a fração de contaminação (P) e nas ordenadas a probabilidade de aceitação ( $P_a$ ).

Escolhidos o tamanho (n) da amostra e o nível de aceitação (a), pode-se construir a (CCO), a qual indica a probabilidade de serem aceitos os setores de amostragem de nível

de qualidade de atendimento do sistema produtor-consumidor de água (porcentagem de contaminações). Devido a variações na amostra, todavia, um plano de amostragem poderá algumas vezes conduzir a decisões incorretas de aceitação ou rejeição, isto é, o plano de amostragem pode rejeitar uma pequena porcentagem de bons setores de amostragem (o já mencionado risco do produtor ( $\alpha$ )). Da mesma forma, o plano de amostragem poderá aceitar uma pequena porcentagem de maus setores de amostragem (o já mencionado risco do consumidor ( $\beta$ )). Estes riscos estão associados aos níveis ( $P_1$ ) e ( $P_2$ ), respectivamente.

A (CCO) é um meio de mostrar a relação entre a qualidade dos setores de amostragem submetidos à inspeção por amostragem (usualmente expressa em porcentagem de contaminação, isto é, contaminações por cem unidades), e a Probabilidade de Aceitação ( $P_a$ ). Ao traçar a (CCO), a porcentagem de contaminação dos setores de amostragem submetidos é geralmente mostrada graficamente na escala horizontal, partindo de zero, para algum valor de porcentagem de contaminações convenientemente selecionados (mas que não exceda 100%) e, ao longo da escala vertical do gráfico, a porcentagem de setores de amostragem que se espera que sejam aceitos pelo plano de amostragem, partindo também do zero até 100%. Obviamente, os setores de amostragem que possuem zero por cento de contaminação serão aceitos 100% das vezes por qualquer plano de amostragem, e os setores de amostragem que dão 100% de contaminações, nunca serão aceitos; conseqüentemente, os pontos extremos do gráfico podem ser fixos, sem necessidade de cálculo.

A figura (9) é um exemplo ilustrativo de (CCO) de planos de amostragem simples, com amostras ( $n = 100$ ) e números de aceitação, respectivamente, ( $a = 0$ ), ( $a = 1$ ) e ( $a = 2$ ). Para o traçado de cada curva foram calculados onze valores da função característica, usando-se a Distribuição Binomial, cujos valores estão indicados na tabela (6).

A construção de uma (CCO) pode partir do plano  $PL(n, a)$ . Basta que se utilize uma das distribuições acumuladas: Binomial ou Poisson. Neste exemplo, usa-se a Binomial.

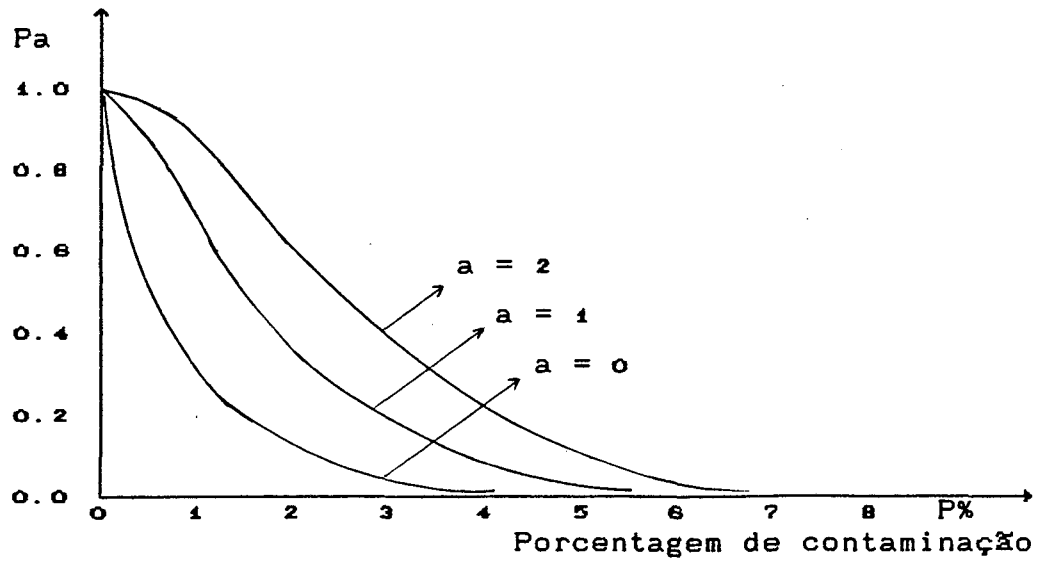


FIGURA (9): CCO para plano de amostragem simples.

FRAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DO SETOR	TABELA (6) PROBABILIDADE DE ACEITAÇÃO		
	a = 0	a = 1	a = 2
0.005	0.6058	0.9102	0.9859
0.01	0.3636	0.7358	0.9206
0.02	0.1326	0.4033	0.6767
0.03	0.0476	0.1946	0.4198
0.04	0.0169	0.0872	0.2321
0.05	0.0059	0.0371	0.1183
0.06	0.0021	0.0152	0.0566
0.07	0.0007	0.0060	0.0258
0.08	0.0002	0.0023	0.0113
0.09	0.0001	0.0009	0.0048
0.10	0.0000	0.0003	0.0019

Evidentemente, os pontos da (CCO) também podem ser calculados pela Distribuição de Poisson Acumulada. Neste caso, tem-se a tabela (7).

MÉDIA (nP)	TABELA (7)		
	PROBABILIDADE DE ACEITAÇÃO		
	a = 0	a = 1	a = 2
0.5	0.6065	0.9098	0.9856
1.0	0.3679	0.7358	0.9197
2.0	0.1353	0.4060	0.6767
3.0	0.0498	0.1991	0.4231
4.0	0.0183	0.0916	0.2380
5.0	0.0067	0.0404	0.1242
6.0	0.0025	0.0173	0.0623
7.0	0.0009	0.0073	0.0293
8.0	0.0003	0.0030	0.0126
9.0	0.0001	0.0011	0.0053
10.0	0.0000	0.0005	0.0028

Como se observa, há boa aproximação entre as duas distribuições. A interpretação dos pontos de uma (CCO) pode ser vista no exemplo seguinte.

Exemplo: considere-se o ponto (0.02; 0.6767) da tabela (6). Pode-se obter dele a seguinte informação:

- quando se aplica o plano de amostragem PL(100, 2), se determinado setor de amostragem apresentar um nível de qualidade de 2%, então há 67,67% de chance de que ele seja aceito; ou então:

- quando se aplica o plano de amostragem PL(100, 2) a 100 setores de amostragem, todos com 2% de pontos contaminados, cerca de 68 deles serão aceitos e 32 acabarão rejeitados.

Um aspecto importante é, que mediante a (CCO), pode-se observar a severidade de discriminação de um plano. Para isto são analisados três casos de planos de amostragem<sup>(1)</sup>:

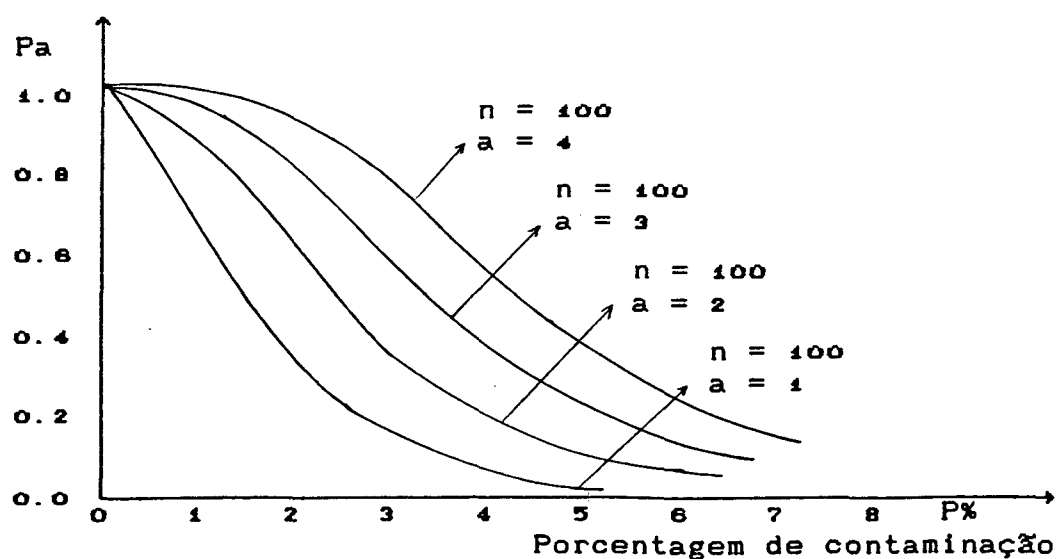
**Caso A:**

Planos de tamanho de amostras iguais e de aceitação diferentes, isto é, ( $n = 100$ ) com ( $a = 1$ ), ( $a = 2$ ), ( $a = 3$ ) e ( $a = 4$ ).

As probabilidades para a construção das (CCO) estão na tabela (8) e as curvas na figura (10).

**TABELA (8)**  
**PROBABILIDADES DE ACEITAÇÃO PARA DIFERENTES FRAÇÕES DE CONTAMINAÇÕES E TAMANHO DE AMOSTRAS IGUAIS ( $n=100$ ), CALCULADOS PELA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON**

P	nP	a	Pa	nP	a	Pa	nP	a	Pa	nP	a	Pa
0.01	1		0.736	1		0.920	1		0.981	1		0.996
0.02	2		0.406	2		0.677	2		0.857	2		0.947
0.03	3		0.199	3		0.423	3		0.647	3		0.815
0.04	4	1	0.092	4	2	0.238	4	3	0.433	4	4	0.629
0.05	5		0.040	5		0.125	5		0.265	5		0.440
0.06	6		0.017	6		0.062	6		0.151	6		0.285
0.07	7		0.009	7		0.034	7		0.082	7		0.173
0.08	8		0.003	8		0.014	8		0.042	8		0.100



**FIGURA (10): CCO, para tamanho das amostras const. ( $n=100$ ) e critério de aceitação variável**

Observando a curva de operação do ponto de vista de produtor, pode-se notar que os planos de amostragem se apresentam mais discriminantes quando se mantém o tamanho da amostra e se reduz o número de aceitação. O contrário ocorre no caso em que a análise seja do ponto de vista do consumidor. Nestes casos, o produtor quer a amostragem com o plano de ( $n = 100$ ) com ( $a = 4$ ), enquanto que o consumidor quer amostragem com o plano de ( $n = 100$ ) com ( $a = 1$ ).

**Caso B:**

Planos de tamanho de amostras diferentes, com igual número de aceitação.

As probabilidades para a construção das (CCO) estão indicadas na tabela (9) e as curvas na figura (11).

São quatro diferentes planos de amostragem com critério de aceitação constante, isto é, ( $n = 100$ ), ( $n = 150$ ), ( $n = 200$ ), e ( $n = 250$ ) com ( $a = 3$ ).

TABELA (9)  
PROBABILIDADES DE ACEITAÇÃO PARA DIFERENTES TAMANHOS DE  
AMOSTRAS E MESMO NÚMERO DE ACEITAÇÃO ( $a = 3$ )  
CALCULADOS PELA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

P'	n	nP	Pa	n	nP	Pa	n	nP	Pa	n	nP	Pa
0.01		1	0.981		1.5	0.934		2	0.875		2.5	0.758
0.02		2	0.857		3.0	0.647		4	0.433		5.0	0.265
0.03		3	0.647		4.5	0.342		6	0.151		7.5	0.059
0.04	100	4	0.433	150	6.0	0.151	200	8	0.042	250	10.0	0.010
0.05		5	0.265		7.5	0.059		10	0.010		12.5	0.001
0.06		6	0.151		9.0	0.021		12	0.002		15.0	0.000
0.07		7	0.082		10.5	0.007		14	0.000		17.5	0.000
0.08		8	0.042		12.0	0.002		16	0.000		20.0	0.000

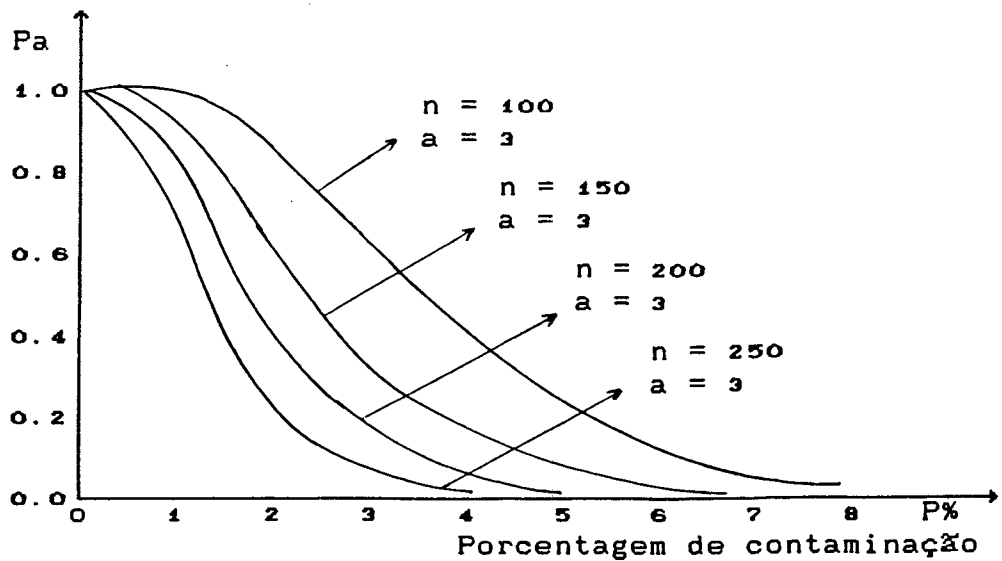


FIGURA (11): CCO, para critério de aceitação constante e tamanho de amostra variável.

Conclui-se que, mantido o critério de aceitação, o plano mais discriminante para o produtor é o que tem o maior tamanho da amostra.

Neste caso, em consequência, o produtor deseja a amostragem com o plano ( $n = 100$ ) e ( $a = 3$ ), e o consumidor deseja amostragem com o plano ( $n = 250$ ) e ( $a = 3$ ).

#### Caso C:

Planos de tamanho de amostras e números de aceitação diferentes.

As probabilidades para a construção das (CCO) estão indicadas na tabela (10) e as curvas na figura (12).



TABELA (10)  
 AS PROBABILIDADES DE ACEITAÇÃO PARA DIFERENTES TAMANHOS  
 DE AMOSTRAS E NÚMEROS DE ACEITAÇÃO, CALCULADOS  
 PELA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

P	n	a	nP	Pa	n	a	nP	Pa	n	a	nP	Pa	n	a	nP	Pa
0.01			0.5	0.986			1	0.920			1	0.996			2	0.947
0.02			1.0	0.920			2	0.677			2	0.947			4	0.629
0.03			1.5	0.809			3	0.423			3	0.815			6	0.285
0.04	50	2	2.0	0.677	100	2	4	0.238	100	4	4	0.629	200	4	8	0.100
0.05			2.5	0.544			5	0.125			5	0.440			10	0.029
0.06			3.0	0.423			6	0.062			6	0.285			12	0.008
0.07			3.5	0.321			7	0.034			7	0.173			14	0.002
0.08			4.0	0.238			8	0.013			8	0.100			16	0.000

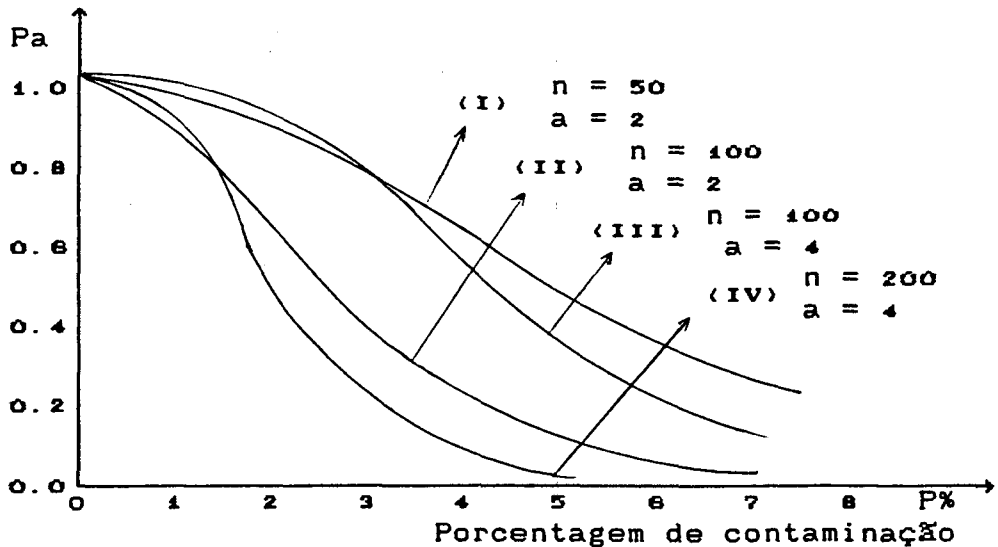


FIGURA (12): CCO, para tamanho de amostras e critérios de aceitação variável.

O poder discriminante do plano de amostragem é a capacidade de separar os setores de amostragem de boa qualidade de atendimento dos de má qualidade.

A influência da variação isolada de cada um dos parâmetros (n) e (a) sobre o poder discriminante de planos de amostragem pode ser resumida pelas seguintes propriedades:

- a) Quando o tamanho do setor de amostragem ( $N$ ) for grande em relação ao tamanho ( $n$ ) da amostra (isto é, para frações de amostragem  $f < 0.10$ ), o tamanho dos setores de amostragem tem pequena influência na porcentagem dos setores de amostragem que serão aceitos na inspeção. Por isso, costuma-se apresentar a (CCO) de um plano sem indicar o tamanho do setor de amostragem ( $N$ ), isto é, elas são construídas supondo-se que o setor de amostragem seja grande em relação ao tamanho da amostra. Consequentemente, dão apenas uma aproximação, quando essa condição não for válida.
- b) Quanto maior for o tamanho da amostra, maior será o poder discriminante do plano.
- c) Quanto maior for o número de aceitação, menor será o poder discriminante do plano.

Comparando-se as curvas I e II, para as quais ( $a = 2$ ), tem-se: o plano correspondente à curva II, que tem o maior ( $n$ ), tem maior poder discriminante do que o da curva I (propriedade b); igual situação se observa nas curvas III e IV.

Comparando-se as curvas II e III, para as quais ( $n = 100$ ), o plano correspondente à curva III, que dos dois tem maior número de aceitação ( $a = 4$ ), tem menor poder discriminante do que o da curva II (propriedade c).

### 3.9.9. Relação entre produtor e consumidor

Como já mencionado, quando se usa aceitação por amostragem, verifica-se um conflito entre interesses de produtores e de consumidores: o produtor deseja que todos os setores de amostragem bons sejam aceitos e o consumidor deseja que todos os setores de amostragem ruins sejam rejeitados. Portanto, somente um plano ideal, com uma Curva Característica de Operação que seja uma linha vertical, pode satisfazer a ambos.

Um plano que, adotado o valor crítico ( $P = P_1$ ), discriminasse perfeitamente níveis de atendimento de boa qualidade

e da má qualidade, seria um plano ideal. Aí, para todo ( $P > P_1$ ), a regra de decisão conduziria sempre à rejeição dos setores de amostragem; para todo ( $P < P_1$ ), a regra conduziria sempre a aceitação dos setores de amostragem. Ter-se-iam, então, os seguintes valores da função característica de operação:

Probabilidade de aceitação = 1, se  $P \leq P_1$

Probabilidade de aceitação = 0, se  $P > P_1$

Nesse caso ideal, a Curva Característica de Operação teria o aspecto indicado na figura (13).

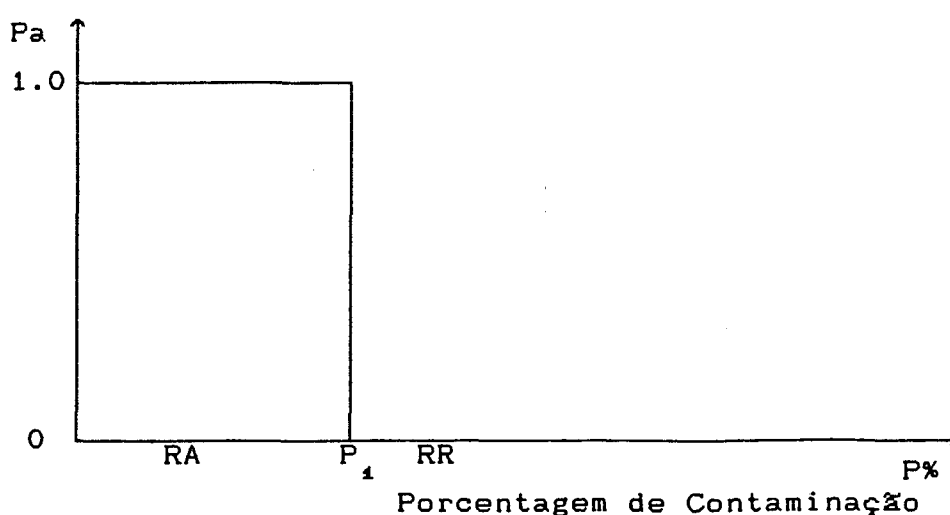


FIGURA (13)

Observe-se que a Curva Característica de Operação ideal apresenta declividade máxima para ( $P = P_1$ ) e, ao mesmo tempo, reduz a zero a diferença ( $P_2 - P_1$ ) entre NQA e o NQI. Conclui-se portanto, que um plano qualquer terá elevado poder discriminante se a (CCO) apresentar forte declividade entre os valores de  $P_1$  e  $P_2$  e eles forem muito próximos entre si. O plano ideal somente teria sentido quando a amostragem fosse 100%, o que equivaleria a fazer inspeção completa, sem qualquer erro nessas inspeções.

Dessa forma, qualquer amostragem acarreta sempre riscos de rejeição de setores de amostragem bons e de aceitação de setores de amostragem ruins. Em virtude da seriedade desses riscos, foram padronizados diversos termos e conceitos.

O risco do produtor, representado por ( $\alpha$ ), é a

probabilidade de rejeição de um setor de amostragem bom. Como  $(\alpha)$  é expresso em termos de probabilidade de rejeição, ele não pode ser localizado em (CCOs), a menos que seja especificado em termos de probabilidade de aceitação. Consegue-se essa conversão subtraindo-se o número de rejeição de 1, isto é,  $P_a = 1 - \alpha$ .

Associado com o risco do produtor, há uma definição numérica de nível de atendimento de boa qualidade, que é chamada de nível de Qualidade Aceitável (NQA), onde (NQA) é a máxima porcentagem de contaminação que pode ser considerada satisfatória como média de um processo.

O risco do consumidor, representado por  $(\beta)$ , é a probabilidade de aceitação de um setor de amostragem ruim. Como  $(\beta)$  está expresso em termos de probabilidade de aceitação, não é necessária a conversão.

Associada com o risco do consumidor, há uma definição numérica de nível de atendimento de má qualidade (NQI) ou fração de contaminação tolerável (FCT) no setor de amostragem, onde (NQI ou FCT) é a máxima porcentagem de contaminação que pode ser tolerada pelo consumidor.

Enquanto o (NQA) é uma medida de desempenho do processo, o (FCT) é mais um parâmetro de segurança, que visa impedir que setores ruins sejam aceitos em qualquer situação.

A partir da definição do (NQA) e do (FCT) é possível definir o que sejam setores bons e setores ruins.

Um setor é bom se seu nível de qualidade for igual ou inferior ao (NQA), e um setor é ruim se seu nível de qualidade for igual ou superior ao (FCT) <sup>(21)</sup>

### 3.9.10. Plano de amostragem simples de atributos

O plano de amostragem simples para setores de amostragem de tamanho (N), baseia-se na regra de decisão construída sobre os dois parâmetros: tamanho da amostra (n) e número de aceitação (a); a ação escolhida terá em conta o número de contaminações  $x = c$ , encontradas na amostra inspecionada.

O procedimento é dado como segue:

- I) Inspeccionar a amostra, verificando o número de contaminações (c).
- II) Se o número de contaminações (c) for menor ou igual ao número de aceitação (a), aceitar o setor de amostragem.
- III) Se o número de contaminações (c) for maior que o número de aceitação (a), rejeitar o setor de amostragem.

Portanto, se o plano de amostragem for bom, quanto maior a fração de contaminação de um setor de amostragem, tanto maior será, em média, o número de contaminações encontradas em amostras dele extraídas.

### 3.9.10.1. Planos que especificam os riscos do produtor e do consumidor

A (CCO) do plano de amostragem deverá passar por dois pontos. O primeiro, referente ao risco de produtor, é dado pelas coordenadas ( $P_1$ ;  $1-\alpha$ ); e o segundo, referente ao risco do consumidor, é dado pelas coordenadas ( $P_2$ ;  $\beta$ ), conforme mostra a figura (14).

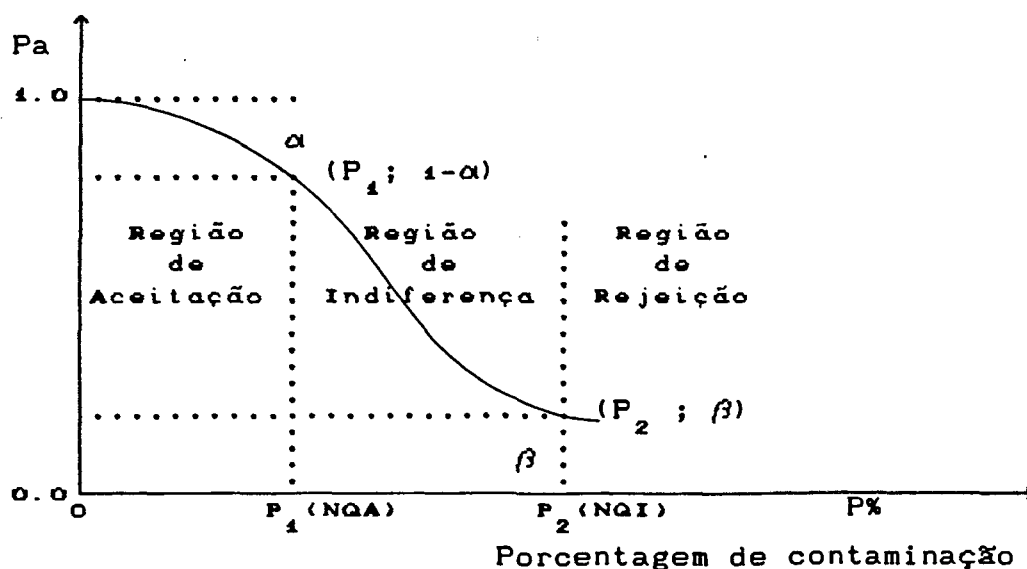


FIGURA (14): CCO de um plano de amostragem com a especificação dos riscos do produtor e do consumidor.

A Região de Aceitação indica a faixa de porcentagem de contaminação em que o setor de amostragem quase com certeza será aceito.

A Região de Rejeição indica a faixa de porcentagem de contaminação em que o setor de amostragem quase com certeza será rejeitado.

Nestas condições, o problema consistirá em determinar, para cada tamanho (N) do setor de amostragem, o par de valores (n) e (a) que satisfaz as equações<sup>(17)</sup>:

$$(1 - \alpha) = \sum_{c=0}^{c=a} P(c; P_1) \quad (86)$$

$$\beta = \sum_{c=0}^{c=a} P(c; P_2) \quad (87)$$

nas quais o segundo membro indica a probabilidade acumulada de ocorrência de contaminações (Binomial, Hipergeométrica ou de Poisson, conforme o caso).

Observe-se que, (n) e (a) devem ser números inteiros, e, portanto, somente se encontrará uma solução aproximada. Por outro lado, convém assinalar que, ao menos teoricamente, há uma assimetria entre as duas equações (86) e (87), porque, para o produtor, a 'população' é o conjunto dos setores de amostragem que 'fornecem', isto é, o processo produtivo-distributivo como um todo, ao passo que, para o consumidor, a 'população' é o setor de amostragem instantâneo, considerado no momento da inspeção.

Nas aplicações, contudo, tal assimetria perde sua importância, pois a fração de contaminação é, em geral, menor que 10%, e os planos construídos consideram também uma fração de amostragem, em geral, menor que  $f = 0.10$ . Isto permite utilizar, nos cálculos de (86) e (87), uma única distribuição amostral aproximada dos contaminados: a Binomial ou a de Poisson, considerando-se sempre amostragem com reposição, ou uma população infinita.

O tamanho (N) do setor de amostragem, na prática, é finito e fixado pela conveniência das condições da administração da inspeção. Construído desta forma, o plano reparte os riscos entre produtor e consumidor, oferecendo proteção prefixada a ambas as partes. Mas, se um dos riscos (ou ambos) for muito pequeno, isto acarretará um valor grande para o tamanho (n) da amostra.

### 3.9.10.2. Construção de planos de amostragem simples com auxílio das tábuas de probabilidades

Após ter fixado  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $\alpha$  e  $\beta$ , pode-se construir um plano para determinar o par de valores de (n) e (a).

Segue-se aqui um exemplo ilustrativo para a utilização de tábuas de probabilidade na construção de planos.

Exemplo: Considere-se que o produtor fixe seu risco em 5%, para setores de fração de contaminação  $P_1 = 0.02$ , e o consumidor, o seu risco em 10%, para setores de fração de contaminação  $P_2 = 0.07$ . Mostra-se então, como determinar os parâmetros (n) e (a).

#### 3.9.10.2.1. Utilização das tábuas da distribuição binomial

As tábuas da distribuição binomial acumulada poderão ser utilizadas para obter, por tentativas, o par de valores (n) e (a), solução simultânea mais próxima das equações (86) e (87). A partir das tábuas constrói-se a tabela (11).

Para este caso, verifica-se que o par de valores (n) e (a) será de 130 e 5 respectivamente, isto é  $n = 130$  e  $a = 5$ .

Assim, este plano será interpretado da seguinte maneira: toma-se uma amostra aleatória de 130 ligações de água de um setor. Se a amostra contiver no máximo 5 ligações contaminadas, então, aceite o setor, caso contrário, rejeite-o.

TABELA (11)  
RISCOS DO PRODUTOR E DO CONSUMIDOR PARA DIFERENTES  
PARES (n) e (a) - PELA DISTRIBUIÇÃO BINOMIAL

Tamanho da amostra (n)	Numero de aceitação (a)	$P_1 = 0.02$		$P_2 = 0.07$
		$P_a$	$\alpha = 0.05$	$\beta = 0.10$
100	4	0.9491	0.0509	0.1631
110	4	0.9294	0.0706	0.1093
120	5	0.9658	0.0342	0.1477
130	5	0.9526	0.0474	0.0974
140	5	0.9368	0.0632	0.0679
150	5	0.9180	0.0820	0.0446
140	6	0.9767	0.0231	0.1339
150	6	0.9679	0.0321	0.0944

### 3.9.10.2.2. Utilização das tábuas da distribuição de Poisson

O exemplo proposto poderá ser resolvido, também por tentativas, com a utilização de tábuas de distribuição de Poisson. Com base nela pode-se construir a tabela (12).

TABELA (12)  
RISCOS DO PRODUTOR E DO CONSUMIDOR PARA DIFERENTES  
PARES (n) e (a) - PELA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

Tamanho da amostra (n)	Numero de aceitação (a)	$P_1 = 0.02$			$P_2 = 0.07$	
		nP	$P_a$	$\alpha$	nP	$\beta$
100	4	2.0	0.9471	0.0529	7.0	0.1729
110	4	2.2	0.9276	0.0726	7.7	0.1180
120	5	2.4	0.9642	0.0358	8.4	0.1572
130	5	2.6	0.9513	0.0487	9.1	0.1097
140	5	2.8	0.9346	0.0654	9.8	0.0750
150	5	3.0	0.9163	0.0837	10.5	0.0503
140	6	2.8	0.9753	0.0247	9.8	0.1432
150	6	3.0	0.9667	0.0333	10.5	0.1015



Para este caso, verifica-se que os valores dos parâmetros correspondem à proteção mais próxima da imposta pelas condições do produtor e do consumidor é  $n = 130$  e  $a = 5$ .

### 3.9.10.3. Utilização da tábua de Peach

Através da razão de operação, isto é, do nível de qualidade inaceitável ( $P_2$ ) pelo nível de qualidade aceitável ( $P_1$ ), foi possível condensar em uma única tabela<sup>(4)</sup> uma multiplicidade de planos de amostragem simples.

Uma vez que  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  tenham sido fixados, sendo que a escolha dos riscos do produtor ( $\alpha$ ) e do consumidor ( $\beta$ ) devem ser de comum acordo entre eles. Por sua vez, a especificação dos níveis de qualidade aceitável ( $P_1$ ) e de qualidade inaceitável ( $P_2$ ) requer ainda algum outro critério.

De posse dessas informações e supondo-se que o produtor e o consumidor de água concordem com os dados do exemplo ilustrativo anterior, onde  $\alpha = 5\%$ ,  $\beta = 10\%$ ,  $P_1 = 0.02$  e  $P_2 = 0.07$ , pode-se construir um plano de amostragem simples da seguinte maneira:

1.º passo: Calcula-se a razão de operação  $R = P_2 / P_1$ , isto é,  $R = 0.07/0.02 = 3.5$ . Esse resultado está escrito na segunda coluna da tabela (13).

Procurando-se esse valor na segunda coluna, encontra-se o valor 3.549 como o valor mais próximo disponível. Associado a esse valor, encontra-se na terceira coluna o valor de aceitação ( $a$ ); neste exemplo ( $a = 5$ ).

2.º passo: Como o objetivo é encontrar o tamanho da amostra, procuram-se as colunas rotuladas de ( $\alpha = 5\%$ ) e ( $\beta = 10\%$ ). Estas colunas também estão rotuladas com  $n.P_{0.95}$  e  $n.P_{0.10}$  onde, em geral:

$P_k$  = proporção de contaminação tal que deseja-se aceitar o setor de amostragem com probabilidade  $k$ .

TABELA (13)  
TABELA GENERALIZADA DE PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES  
PARA ( $\alpha = 5\%$  e  $\beta = 5\%$ ) e PARA ( $\alpha = 5\%$  e  $\beta = 10\%$ )

$\beta_{0.05}$	$\beta_{0.10}$	a	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$		$\beta = 10\%$	$\beta = 5\%$	$\beta = 1\%$
$\alpha_{0.05}$	$\alpha_{0.05}$		$nP_{0.99}$	$nP_{0.95}$	$nP_{0.90}$	$nP_{0.50}$	$nP_{0.10}$	$nP_{0.05}$	$nP_{0.01}$
58.404	44.890	0	0.010	0.051	0.105	0.693	2.303	2.996	4.605
13.349	10.946	1	0.149	0.355	0.532	1.678	3.890	4.744	6.638
7.699	6.509	2	0.436	0.818	1.102	2.674	5.322	6.296	8.406
5.765	4.890	3	0.823	1.366	1.745	3.672	6.681	7.754	10.045
4.646	4.057	4	1.279	1.970	2.433	4.671	7.994	9.154	11.605
4.023	3.549	5	1.785	2.613	3.152	5.670	9.275	10.513	13.108
3.604	3.206	6	2.330	3.286	3.895	6.670	10.532	11.842	14.571
3.303	2.927	7	2.906	3.981	4.656	7.669	11.771	13.148	16.000
3.074	2.768	8	3.507	4.695	5.432	8.669	12.995	14.434	17.403
2.895	2.618	9	4.130	5.426	6.221	9.669	14.206	15.705	18.783
2.750	2.497	10	4.771	6.169	7.021	10.668	15.407	16.692	20.145
2.630	2.397	11	5.428	6.924	7.829	11.668	16.598	18.208	21.490
2.528	2.312	12	6.099	7.690	8.646	12.668	17.782	19.442	22.821
2.442	2.240	13	6.782	8.464	9.470	13.668	18.958	20.668	24.139
2.367	2.177	14	7.477	9.246	10.300	14.668	20.128	21.886	25.446
2.302	2.122	15	8.181	10.035	11.135	15.668	21.292	23.098	26.743
2.244	2.073	16	8.895	10.831	11.976	16.668	22.452	24.302	28.031
2.192	2.029	17	9.616	11.633	12.822	17.668	23.606	25.500	29.310
2.145	1.990	18	10.346	12.442	13.672	18.668	24.756	26.692	30.581
2.103	1.954	19	11.082	13.254	14.525	19.668	25.902	27.879	31.845
2.065	1.922	20	11.825	14.072	15.383	20.668	27.045	29.062	33.103
2.030	1.892	21	12.574	14.894	16.244	21.668	28.184	30.241	34.355
1.999	1.865	22	13.329	15.719	17.108	22.668	29.320	31.416	35.601
1.969	1.840	23	14.088	16.548	17.975	23.668	30.453	32.586	36.841
1.942	1.817	24	14.853	17.382	18.844	24.668	31.584	33.752	38.077
1.917	1.795	25	15.623	18.218	19.717	25.667	32.711	34.916	39.308
1.813	1.707	30	19.532	22.444	24.113	30.667	38.315	40.690	45.401
1.736	1.641	35	23.525	26.731	28.556	35.667	43.872	46.404	51.409
1.676	1.590	40	27.587	31.066	33.038	40.667	49.390	52.069	57.347
1.628	1.548	45	31.704	35.441	37.550	45.667	54.878	57.695	63.231
1.596	1.521	49	35.032	38.965	41.179	49.607	59.249	62.171	67.903

Tabela para construir e calcular as características operacionais de planos de amostragem simples, J. M. Cameron, "Industrial Quality Control", vol. 9, p. 39, julho de 1952.

Assim,  $P_{0.95}$  é a proporção de contaminação no setor de amostragem, que se deseja aceitar com 95% de probabilidade, e essa proporção é  $P_1 = 0.02$ . Do mesmo modo,  $P_{0.10}$  é 0.07. Uma vez que a proporção de contaminação é 0.07, deseja-se aceitar o setor de amostragem nessas condições com 10% de probabilidade.

Na linha correspondente ao valor 3.549, encontra-se o

valor 2.613 na coluna  $n.P_{0.95}$  e 9.275 na coluna  $n.P_{0.10}$ .

Agora, pode-se encontrar (n) resolvendo as equações:

$$\begin{aligned} n.P_{0.95} &= 0.02 \quad n = 2.613 \quad \Rightarrow n = 130.65 \\ n.P_{0.10} &= 0.07 \quad n = 9.275 \quad \Rightarrow n = 132.5. \end{aligned}$$

Há uma pequena diferença entre esses valores porque o valor 3.549 que foi encontrado no 2.<sup>o</sup> passo, difere ligeiramente de  $P_2 / P_1 = 3.5$ . Neste caso, escolhe-se um valor entre esses limites:  $n = 131$ . Portanto, o plano de amostragem é  $n = 131$  e  $a = 5$ .

Este plano deve ser interpretado da seguinte maneira: tome-se uma amostra aleatória de 131 ligações de água do setor de amostragem. Se a amostra contiver no máximo 5 ligações contaminadas, aceitar o setor, caso contrário, rejeitar.

Apesar de o problema já ter sido resolvido, é importante construir a Curva Característica de Operação para este plano de amostragem. Uma (CCO) mostra a probabilidade de se aceitar um setor de amostragem em função da fração de contaminação. Na tabela (13), na linha correspondente a 3.549, encontra-se o valor 1.785 na coluna rotulada  $n.P_{0.99}$ . No caso,  $n = 131$ , então:

$$131 P_{0.99} = 1.785 \quad \Rightarrow P_{0.99} = 0.0136 = 1.36\%$$

Portanto, há uma probabilidade de 99% de se aceitar o setor de amostragem se sua qualidade for tão boa que a proporção de contaminação dele seja de 1.36%. De modo similar, tem-se;

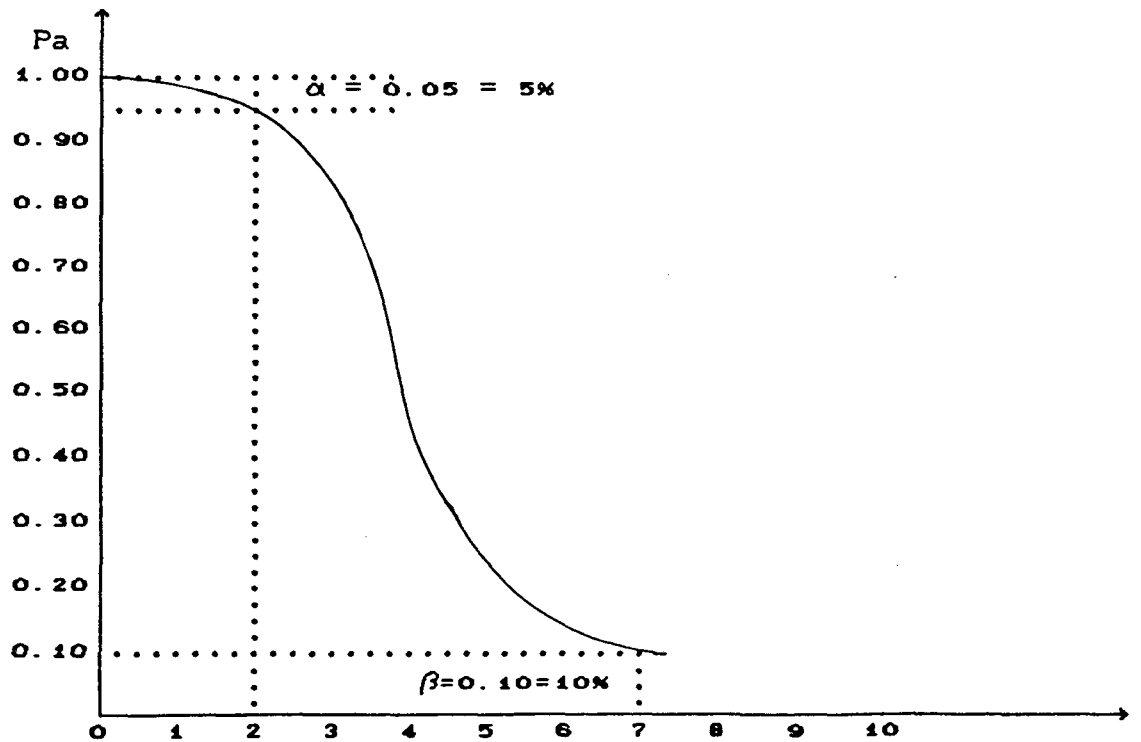
$$\begin{aligned} 131 P_{0.95} &= 2.613 \quad \Rightarrow P_{0.95} = 0.0199 = 1.99\% \\ 131 P_{0.90} &= 3.152 \quad \Rightarrow P_{0.90} = 0.0241 = 2.41\% \\ 131 P_{0.50} &= 5.670 \quad \Rightarrow P_{0.50} = 0.0433 = 4.33\% \\ 131 P_{0.10} &= 9.275 \quad \Rightarrow P_{0.10} = 0.0708 = 7.08\% \\ 131 P_{0.05} &= 10.513 \quad \Rightarrow P_{0.05} = 0.0802 = 8.02\% \\ 131 P_{0.01} &= 13.108 \quad \Rightarrow P_{0.01} = 0.1001 = 10.01\% \end{aligned}$$

Neste caso, se um setor de amostragem apresentar uma proporção de contaminação da ordem de 4.33%, sua probabilidade de aceitação de uma amostra de tamanho 131 que contenha no máximo 5 contaminações é de apenas 50%. A tabela (14) mostra esses valores

e a figura (15) estabelece a Curva Característica de Operação correspondente.

TABELA (14)  
VALORES TABELADOS DA CCO CORRESPONDENTE A UM PLANO DE AMOSTRAGEM SIMPLES COM (n = 131 e a = 5)

Porcentagem de contaminação do setor	Probabilidade de aceitação do setor
1.36	0.99
1.99	0.95
2.41	0.90
4.33	0.50
7.08	0.10
8.02	0.05
10.01	0.01



P = Porcentagem de contaminação existente no setor  
FIGURA (15): CCO para plano de amostragem simples com n = 131 e a = 5

### 3.9.11. Plano de amostragem dupla de atributos

Neste caso, o plano de amostragem dupla para setores de tamanho (N), baseia-se no desdobramento da regra de decisão em duas fases, com quatro parâmetros: ( $n_1$ ) e ( $n_2$ ) tamanhos da primeira e da segunda amostra, ( $a_1$ ) e ( $a_2$ ) números de aceitação para a primeira amostra e para as duas amostras acumuladas. O número de contaminações encontradas na primeira amostra ( $c_1$ ) determinará a ação: aceitar o setor, rejeitar o setor, ou passar à segunda fase com a inspeção da segunda amostra.

O procedimento é dado como segue:

- Página 75, referência III: onde se lê Defesa: /12/94 leia-se Defesa: 03/03/95.

r a primeira amostra ( $n_1$ ) verificando o contaminações ( $c_1$ );

o de contaminações ( $c_1$ ) for menor ou igual de aceitação ( $a_1$ ), aceitar o setor;

o de contaminações ( $c_1$ ) for maior do que o aceitação ( $a_2$ ), rejeitar o setor;

o de contaminações ( $c_1$ ) for maior do que o aceitação ( $a_1$ ) mas não ultrapassar o número ão ( $a_2$ ), passar para a 2.<sup>a</sup> fase.

r a segunda amostra ( $n_2$ ), verificando o contaminações ( $c_2$ );

ero de contaminações nas duas amostras  $c = c_1 + c_2$  for menor ou igual ao número ão ( $a_2$ ), aceitar o setor;

ero de contaminações nas duas amostras (c) for maior do que o número de aceitação itar o setor.

#### 3.9.11.1. Planos que especificam os riscos do produtor e do consumidor

De maneira similar ao caso de amostragem simples, a (CCO) do plano de amostragem deverá passar por dois pontos. O

primeiro, referente ao risco do produtor, é dado pelas coordenadas  $(P_1; 1-\alpha)$ ; e o segundo, referente ao risco do consumidor, é dado pelas coordenadas  $(P_2; \beta)$ . Para cada tamanho de setor ( $N$ ), apresentado à inspeção, será necessário determinar cinco parâmetros:  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  e  $r_1$ .

O risco do produtor é a soma das probabilidades de rejeitar-se o setor na 1.<sup>a</sup> fase e de rejeitar-se na 2.<sup>a</sup> fase, quando não se tenha chegado à decisão na 1.<sup>a</sup> fase; do mesmo modo, o risco do consumidor é a soma das probabilidades de aceitar o setor na 1.<sup>a</sup> fase e a de aceitá-lo na 2.<sup>a</sup> fase, quando não se tenha chegado à decisão na 1.<sup>a</sup> fase.

### 3.9.11.2. Construção de planos de amostragem dupla com auxílio da tábua de Peach

As tábuas para valores particulares dos riscos do produtor ( $\alpha$ ) e do consumidor ( $\beta$ ), baseados na razão de operação ( $R$ ) também podem ser construídos para amostragem dupla. A tábua de Peach, apresentada na tabela (15)<sup>(17)</sup>, é um exemplo para  $\alpha = \beta = 5\%$ . Os planos dessa tábua exigem que os tamanhos da primeira e da segunda amostras sejam iguais ( $n_1 = n_2$ ).

Através da razão de operação  $R = P_2 / P_1$  (isto é, do nível de qualidade inaceitável pelo nível de qualidade aceitável); procura-se na tábua o valor mais próximo, obtém-se diretamente na tábua os números de aceitação ( $a_1$ ) e ( $a_2$ ) e o número de rejeição ( $r_1$ ) para a primeira amostra. O número de rejeição para a segunda amostra é  $r_1 = a_2 + 1$ . O tamanho das amostras será obtido dividindo-se o correspondente valor de  $n_1 P_1$  por  $P_1$ .

Supondo-se os dados do exemplo ilustrativo, onde  $P_1 = 0.02$  e  $P_2 = 0.07$  e que  $\alpha = \beta = 0.05$ , pode-se construir um plano de amostragem dupla, pela Tábua de Peach, da seguinte maneira:

Calcula-se, primeiramente, a razão de operação  $R = P_2 / P_1 = 0.07 / 0.02 = 3.5$ . Procura-se esse valor na primeira coluna. Esse valor é correspondente a  $a_1 = 2$ ;  $a_2 = 7$  e  $n_1 P_1 = 1.99$ . Assim,  $n_1 = n_2 = n_1 P_1 / P_1 = 1.99 / 0.02 = 100$ .

TABELA (15)  
 TABUA DE PEACH PARA DETERMINAR PLANOS DE  
 AMOSTRAGEM DUPLA,  $\alpha = \beta = 0.05$  E  $n_1 = n_2$

R	$a_1$	$r_1$	$a_2$	$n_1 P_1$
15.1	0	1	1	0.207
8.3	0	2	2	0.427
5.1	1	3	4	1.000
4.1	2	4	6	1.630
3.5	2	5	7	1.99
3.0	3	7	9	2.77
2.6	6	11	13	4.34
2.3	6	13	16	5.51
2.02	9	17	23	8.38
1.82	13	23	32	12.19
1.61	21	34	50	20.04
1.505	30	45	69	28.53
1.336	63	83	138	60.31

Este plano deve ser interpretado da seguinte maneira: Extrae-se duas amostras de 100 ligações de água do setor. Examina-se a primeira amostra; aceita-se o setor se o número de contaminações ( $c_1$ ) for no máximo igual a 2; rejeita-se o setor se se o número de contaminações ( $c_1$ ) for igual ou maior do que 5. Se for igual a 3 ou 4, examina-se a segunda amostra, verificando-se o número de contaminações ( $c_2$ ). Se a soma das contaminações ( $c$ ), nas duas amostras acumuladas, for no máximo igual a 7, aceita-se o setor, se for maior do que 7, ele deverá ser rejeitado.

**Comentário:** Dos dois planos apresentados (de amostragem simples de atributos e de amostragem dupla de atributos), apenas o de amostragem simples é aplicável na inspeção por amostragem da qualidade da água distribuída para abastecimento público. Isto porque o resultado da análise bacteriológica para verificação, se a água numa dada ligação de um dado setor está ou não contaminada, não é imediata à amostragem. Portanto, o julgamento de aceitação

ou de rejeição, com base no número de contaminações existentes na amostra, demora desde a coleta da amostra até o resultado final da análise bacteriológica. Neste sentido, se estivesse sendo utilizando a amostragem dupla, eventualmente ter-se-ia de voltar numa outra ocasião para completar a amostragem e esperar o resultado da análise bacteriológica, para depois fazer o julgamento de aceitação ou de rejeição da ligação de água do setor. Isso seria falta de consideração aos consumidores merecedores da confiabilidade da água distribuída pela companhia de abastecimento.

### 3.9.12. Classificação das Normas para planos de inspeção de qualidade

#### 3.9.12.1. Histórico

O conceito de Nível de Qualidade Aceitável (NQA), anteriormente mencionado surgiu, pela primeira vez, durante a II Guerra Mundial (1942), em virtude de instruir o Departamento de Equipamentos do Exército dos Estados Unidos da América, para disciplinar a forma de inspecionar os equipamentos adquiridos nesse período.

Embora existam diversas Normas utilizáveis na inspeção de qualidade e aplicadas em vários países, este trabalho restringe-se a apresentar algumas disposições e os planos de amostragem da "Norma ABC-STD-105" que corresponde à revisão da conhecida Norma MIL-STD-105 (Military Standard, 105).

Em 1949, após a unificação dos Serviços das Forças Armadas, as Tábuas da Marinha foram adotadas pelo Departamento da Defesa, inicialmente como JAN-STD-105 (Joint Army Navy-Standard 105). Nessas Tábuas, a probabilidade de aceitação no (NQA) é fixa, igual a 95% e, conseqüentemente, o risco do produtor é sempre 5%; o risco do consumidor, porém, é variável, em torno de 10%.

O Plano de Amostragem original sofreu diversas modificações no transcorrer do tempo. Um exemplo foi o risco do



produtor não ser mais constante. Isto porque a probabilidade de aceitação, com o (NQA) escolhido, pode variar desde 80% (para amostras menores) até 99.8% (para amostras maiores).

Em 1950, a Norma MIL-STD-105A substituiu a Norma JAN-STD-105. Nessa Norma, importantes modificações foram realizadas, sendo que o risco do produtor não é mais constante.

Em 1958, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos fez algumas revisões na Norma anterior e adotou a Norma MIL-STD-105B e, em 1961, o mesmo departamento fez outras modificações relevantes e adota a Norma MIL-STD-105C.

Em 1963, um Grupo de Trabalho envolvendo os Departamentos dos Estados Unidos da América, da Grã-Bretanha e do Canadá, indicada pela sigla ABC (American - British - Canadian), fez modificações substanciais melhorando alguns aspectos essenciais da Norma, a qual estabelece planos de amostragem e procedimentos para inspeção por atributos.

### **3.9.12.2. Modalidades de inspeção**

Os planos de amostragem apresentam três modalidades de inspeção: normal, severa e atenuada, sendo de uso mais geral a normal e deverá ser utilizada no início da inspeção, a menos que a autoridade responsável tenha motivos para fazer inspeção de outra maneira.

#### **3.9.12.2.1. Procedimentos para mudança de modalidade**

- Passar de normal para severa: ao utilizar a inspeção normal, esta deverá ser substituída pela inspeção severa se 2 de 5 setores consecutivos tiverem sido rejeitados em inspeção original.

- Passar de severa para normal: ao empregar a inspeção severa, será mudado para inspeção normal se 5 setores consecutivos tiverem sido aceitos em inspeção original.

- Passar de normal para atenuada: a inspeção normal será substituída pela inspeção atenuada, se forem atendidas,

simultaneamente, as seguintes condições:

- a) quando por inspeção normal não for rejeitado nenhum dos 10 setores precedentes (ou mais) em inspeção original;
- b) quando o número total de unidades contaminadas encontradas nas amostras dos 10 setores precedentes for menor ou igual ao número limite dado na Tábua (3);
- c) quando a produção de água estiver sendo realizada com regularidade;
- d) quando a autoridade responsável considerar desejável o uso da inspeção atenuada.

- Passar de atenuada para normal: a inspeção atenuada será substituída pela inspeção normal, se ocorrer alguma das seguintes situações:

- a) quando um setor for rejeitado;
- b) quando um setor for considerado aceito porque o procedimento de amostragem terminou sem ter alcançado o critério de aceitação ou de rejeição;
- c) quando existirem irregularidades na produção;
- d) quando outras condições justificarem o uso da inspeção normal.

Conhecidos os critérios acima definidos para mudança de modalidade de inspeção, se acontecer que 10 setores consecutivos forem rejeitados sob inspeção severa, a inspeção deverá ser interrompida, à espera de melhoria na qualidade da água distribuída.

#### 3.9.12.2.2. Planos de amostragem

Um plano de amostragem indica o número de unidades de ligações de água que cada setor deve ser examinado (tamanho da(s) amostra(s)) e o critério para determinar a aceitação ou rejeição do setor ( número de aceitação (a) e de rejeição (r)).

### 3.9.12.2.2.1. Níveis de inspeção

Os níveis gerais de inspeção que se encontram na Tábua (2) a serem utilizados em cada caso serão especificados pela autoridade responsável pela inspeção de qualidade. São previstos três níveis de inspeção: I, II, III. O nível II deverá ser utilizado, a menos que seja especificado outro nível. O nível I oferece menor discriminação e o nível III maior discriminação.

Outros quatro níveis especiais S-1, S-2, S-3 e S-4 são dados na mesma Tábua (2) e podem ser usados no caso especial em que são necessários pequenos tamanhos de amostras e que podem ou devem ser tolerados grandes riscos de amostragem.

Os tamanhos (n) das amostras são indicadas por um código de letras (de A até R, exceto I e O). Na Tábua (2), para cada caso, entrando-se com tamanho (N) do setor e o nível de inspeção encontra-se a letra correspondente ao tamanho adequado (n) da amostra. Com a letra do código e o (NQA) previamente fixado, entra-se nas Tábuas (2-A, 2-B ou 2-C)<sup>(17)</sup>, para obter o plano de amostragem que consiste no conhecimento de:

- tamanho da amostra (n);
- número de aceitação (a);
- número de rejeição (r).

Quando não existe um plano para uma dada combinação de letra do código e (NQA), as setas existentes nas Tábuas orientam para uma letra diferente (tamanho de amostra diferente); nesse caso, o tamanho da amostra a adotar é o da nova letra e não o da antiga. Se este procedimento conduzir a letras diferentes para diferentes classes de contaminações, deve-se adotar para todas as classes a letra correspondente ao maior tamanho de amostra encontrado.

### 3.9.12.2.2.2. Planos de amostragem simples de atributos

A escolha e a aplicação do plano mais conveniente deve obedecer à seguinte sequência:

- a) conhecido o tamanho (N) do setor e definido o nível

de inspeção (normalmente II), a Tábua (2) fornece a letra correspondente ao tamanho da amostra;

b) com o NQA definido pela autoridade responsável pelo controle de qualidade e com a letra correspondente ao tamanho da amostra, a Tábua (2-A) inspeção normal, a Tábua (2-B) inspeção severa e a Tábua (2-C) inspeção atenuada, fornecem o respectivo plano a adotar que se traduz pelo:

- tamanho (n) da amostra a retirar do setor,
- número de aceitação (a), e
- número de rejeição (r);

c) executada a inspeção da amostra, fica definido o número de contaminações (c) em uma das três modalidades de inspeção:

- Inspeção normal ou severa:
  - se (c) for menor ou igual (a), aceitar o setor;
  - se (c) for maior do que (a), rejeitar o setor.
- Inspeção atenuada:
  - se (c) for menor ou igual (a), aceitar o setor;
  - se (c) for maior do que (r), rejeitar o setor;
  - se (c) ficar entre (a) e (r), isto é,  $(a < c < r)$ , aceitar o setor, mas voltar a inspeção normal para os setores subsequentes.

**Comentário:** Supondo-se que a Companhia de Abastecimento de Água estivesse utilizando inspeção normal e o nível II. Se o número de amostras contaminadas estiver ocorrendo acima do permitido, deve-se passar a utilizar à inspeção severa até que seja normalizado a situação. Para sanar a deficiência é recomendado aumentar o teor do cloro e verificar as causas do excesso de contaminação. Por outro lado, se o número de contaminações na rede de distribuição, estiver ocorrendo com uma frequência muito baixa, pode-se diminuir o número de amostra, passando à inspeção atenuada; isto só é permitido se ocorrerem, simultaneamente, as quatro condições de mudança de modalidade supracitadas.

### Exemplo ilustrativo referente à Norma ABC-STD-105

Estabelecer planos de amostragem simples, para inspeção normal, severa e atenuada, nível de inspeção II, com NQA = 1.5%, correspondentes aos números de ligações de água (N) dos setores: 100, 200, 500 e 1000, respectivamente.

#### Solução:

Entrando na Tábua (2), com nível de inspeção II e os tamanhos dos setores obtém-se, respectivamente, para:

N = 100 ( 91 a 150 ) ---> letra F

N = 200 ( 151 a 280 ) ---> letra G

N = 500 ( 281 a 500 ) ---> letra H

N = 1000 ( 501 a 1200 ) ---> letra J

Das Tábuas (2-A) inspeção normal; (2-B) inspeção severa e (2-C) inspeção atenuada com NQA = 1.5% e as diferentes letras, obtém-se os planos de amostragem resumidos no quadro abaixo.

Tamanho do Setor	Código da Letra	Plano	Inspeção Normal	Inspeção Severa	Inspeção Atenuada
N = 100	F	n a r	32 1 2	50 1 2	13 0 2
N = 200	G	n a r	32 1 2	50 1 2	13 0 2
N = 500	H	n a r	50 2 3	50 1 2	20 1 3
N = 1000	J	n a r	80 3 4	80 2 3	32 1 4

TÁBUA (2)									
CÓDIGO DE LETRAS PARA TAMANHOS DE AMOSTRAS (ABC-STD-105)									
Tamanho (N) do Setor (de Ligações de Água)			Níveis Especiais de Inspeção				Níveis Gerais de Inspeção		
			S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2	a	8	A	A	A	A	A	A	B
9	a	15	A	A	A	A	A	B	C
16	a	25	A	A	B	B	B	C	D
26	a	50	A	B	B	C	C	D	E
51	a	90	B	B	C	C	C	E	F
91	a	150	B	B	C	D	D	F	G
151	a	280	B	C	D	E	E	G	H
281	a	500	B	C	D	E	F	H	J
501	a	1200	C	C	E	F	G	J	K
1201	a	3200	C	D	E	G	H	K	L
3201	a	10000	C	D	F	G	J	L	M
10001	a	35000	C	D	F	H	K	M	N
35001	a	150000	D	E	G	J	L	N	P
150001	a	500000	D	E	G	J	M	P	Q
500001	a	mais	D	E	H	K	N	Q	R

TABUA (2-A)  
 PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES PARA INSPEÇÃO NORMAL (ABC - STD - 105)

Código da Letra da Amostra	Tamanho da Amostra	Nível de Qualidade Aceitável															
		0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
k	125	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
L	200	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
M	315	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
N	500	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
P	800	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Q	1250	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
R	2000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

↓ = Utilize o primeiro plano abaixo da seta, se o tamanho da amostra for igual ou maior do que o tamanho do setor, usar inspeção 100%

↑ = Utilize o primeiro plano acima da seta.

a = Número de aceitação.

r = Número de rejeição.

TABUA (2-B)  
 PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES PARA INSPEÇÃO SEVERA (ABC - STD - 105)

Código da Linha da Amostra	Tamanho da Amostra	Nível de Qualidade Aceitável															
		0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100
A	2	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
B	3	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
C	5	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
D	8	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
E	13	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
F	20	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
G	32	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
H	50	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
J	80	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
k	125	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
L	200	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8
M	315	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9
N	500	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9
P	800	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9
Q	1250	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10
R	2000	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11

↓ = Utilize o primeiro plano abaixo da seta, se o tamanho da amostra for igual ou maior do que o tamanho do setor, usar inspeção 100%.

↑ = Utilize o primeiro plano acima da seta.

a = Número de aceitação.

r = Número de rejeição.



TABUA (2-C)  
 PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES PARA INSPEÇÃO ATENUADA (ABC - STD - 105)

Código da Letra da Amostra	Tamanho da Amostra	Nível de Qualidade Aceitável															
		0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100
A	2	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
B	2	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
C	2	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
D	3	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
E	5	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
F	8	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
G	13	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
H	20	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
J	32	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
k	50	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
L	80	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
M	125	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
N	200	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
P	315	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Q	500	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
R	800	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

↓ = Utilize o primeiro plano abaixo da seta, se o tamanho da amostra for igual ou maior do que o tamanho do setor, usar inspeção 100%.  
 ↑ = Utilize o primeiro plano acima da seta.  
 a = Número de aceitação.  
 r = Número de rejeição.  
 NOTA: Se o número de aceitação for excedido, mas o número de rejeição não for atingido, aceitar o setor, mas mas volta a inspeção normal.

TÁBUA (3)  
NÚMEROS LÍMITES PARA INSPEÇÃO ATENUADA (NORMA ABC-STD-105)

Quantidade Inspec. nos nos Últimos Setores	Nível de Qualidade Aceitável (% ou contam. por 100 unid.)													
	0.1	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40
20- 29	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0	0	2	4
30- 49	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0	0	1	3	7
50- 79	*	*	*	*	*	*	*	*	0	0	2	3	7	14
80- 129	*	*	*	*	*	*	*	0	0	2	4	7	14	24
130- 199	*	*	*	*	*	*	0	0	2	4	7	13	25	42
200- 319	*	*	*	*	*	0	0	2	4	8	14	22	40	68
320- 499	*	*	*	*	0	0	1	4	8	14	24	39	68	113
500- 799	*	*	*	0	0	2	3	7	14	25	40	63	110	181
800- 1249	*	*	0	0	2	4	7	14	24	42	68	105	181	
1250- 1999	*	0	0	2	4	7	13	24	40	69	110	169		
2000- 3149	*	0	2	4	8	14	22	40	68	115	181			
3150- 4999	*	1	4	8	14	24	38	67	111	186				
5000- 7999	2	3	7	14	25	40	63	110	169					
8000-12499	4	7	14	24	42	68	105	181						
12500-19999	7	13	24	40	69	110	169							
20000-31499	14	22	40	68	115	181								
31500-49999	24	38	67	111	186									
≥ 50000	40	63	181	301										

NOTA: O (\*) indica que o número de unidades das amostras dos últimos 10 setores não é suficiente para a inspeção atenuada para este NQA. Neste caso, deve-se usar mais de 10 setores para o cálculo, sendo que esses setores devem ser os mais recentes na sequência, que todos tenham sido examinados sob inspeção normal e que nenhum tenha sido rejeitado na inspeção original.

## CAPITULO 4

## 4. APLICAÇÃO

4.1. Aplicação realizada nos meses de julho e agosto de 1993,  
na cidade de Ibiporã-Pr.

Ibiporã situa-se no norte do Estado do Paraná a 12 km de Londrina. A cidade de aproximadamente 45.000 habitantes é abastecida pelo Ribeirão Jacutinga, cuja nascente se dá no município de Cambé e deságua no Rio Tibagi.

O tratamento de água de Ibiporã é da responsabilidade do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) e administrado pela Fundação Nacional de Saúde (FNS).

A Portaria do Ministério de Estado da Saúde n.º 36/GM de 19.01.90<sup>(5)</sup> exige, duas amostragens semanais de coleta de água para a referida cidade. Para este caso particular será necessário a coleta de 45 amostras <sup>mensais</sup> ~~semanais~~, no mínimo.

Na aplicação do modelo desse trabalho, a rede de abastecimento da cidade foi dividida em 14 setores de amostragem, sendo cada setor constituído de um até quatro pontos representativos e estes, por sua vez, foram atribuídos pesos conforme o grau de contaminação definido neste estudo.

Dessa forma, o programa computacional desenvolvido para esse modelo gerou, aleatoriamente, os pontos associados aos respectivos setores de amostragem a serem coletados e analisados, em cada amostragem.

Dados históricos indicam que a contaminação da água potável é zero, e em virtude do cólera, os Técnicos (operadores) da Estação de Tratamento de Água (ETA) aumentaram ainda mais a dosagem do cloro resguardando a água potável como segura e confiável bacteriologicamente.

Pelo relatório, notou-se que os operadores (coletadores) de amostras têm seus pontos de coletas preferidos. Assim, os pontos que foram cadastrados em cada setor de amostragem para

serem coletados e analisados nos meses de aplicação (julho e agosto) não foram cumpridos a rigor.

Nos meses de aplicação, verificou-se que o menor teor de cloro residual livre deu-se, apenas, em uma amostra de um ponto da rede, cujo valor foi de 0.45 mg/l (mês de agosto). As médias dos resultados de quatro parâmetros relevantes se encontram no quadro abaixo.

	CLORO RESIDUAL LIVRE (mg/l)	TURBIDEZ (FTU)	pH	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 ml)
JULHO	1.20	0.19	6.7	zero
AGOSTO	1.08	0.15	6.7	zero

A aplicação do modelo deste trabalho não detectou contaminação, pois os resultados do quadro acima comprovam que dificilmente poderia haver contaminação na rede de distribuição, em virtude da dosagem do cloro na ETA, como consequência do teor de cloro residual livre ainda existente nos pontos de coleta da rede de abastecimento.

Cabe lembrar que a Portaria 36/GM<sup>(5)</sup> recomenda que a concentração mínima de cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição é de 0.2 mg/l.

Guías para la Calidad del Agua Potable<sup>(13)</sup> orienta a manter um nível de cloro residual livre entre 0.2 mg/l e 0.5 mg/l no sistema de distribuição para reduzir o risco de uma reativação microbiana.

Por um lado, sabe-se que existem vários fatores que podem degradar a qualidade da água na rede, com o conseqüente alto consumo do cloro residual. Por outro lado, é bom lembrar que tanto 0.5 mg/l quanto 1.0 mg/l de cloro residual livre na rede de distribuição, teriam a mesma eficiência de desinfecção.

## 4.2. Exemplos ilustrativos simulados

## 4.2.1. Exemplo 1:

Uma cidade com 700.000 habitantes foi dividida em 18 setores de amostragem. Com este número de habitantes, a Portaria do Ministério do Estado da Saúde 36/GM de 19.01.90 estabelece amostras diárias (nesse exemplo, 20 dias de coleta durante o mês), perfazendo um total de 160 amostras mensais, no mínimo. A matriz composta dos setores e dos pontos com seus respectivos pesos encontra-se no quadro abaixo.

SETORES	P O N T O S / P E S O S							PESO SETORES
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	
N <sub>1</sub>	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	-	-	0.8
N <sub>2</sub>	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	-	0.9
N <sub>3</sub>	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	-	1.0
N <sub>4</sub>	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	-	0.9
N <sub>5</sub>	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-	0.8
N <sub>6</sub>	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	-	-	0.9
N <sub>7</sub>	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	-	-	0.7
N <sub>8</sub>	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	-	1.0
N <sub>9</sub>	0.2	0.1	0.3	0.2	-	-	-	0.8
N <sub>10</sub>	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	-	1.0
N <sub>11</sub>	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.9
N <sub>12</sub>	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.9
N <sub>13</sub>	0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	-	1.0
N <sub>14</sub>	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	-	-	0.9
N <sub>15</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	-	0.9
N <sub>16</sub>	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.4	-	1.0
N <sub>17</sub>	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	-	-	0.8
N <sub>18</sub>	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	-	-	0.8

O programa computacional desenvolvido para esse modelo gerou, aleatoriamente, os seguintes pontos associados aos respectivos setores a serem coletados no mês:

1	-->	Setor sorteado:	1	14	4	8	16	2	6	11
		Ponto sorteado:	3	5	3	3	3	5	1	1
2	-->	Setor sorteado:	5	2	3	12	8	6	16	1
		Ponto sorteado:	4	4	4	3	5	4	4	4
3	-->	Setor sorteado:	12	17	4	6	11	16	15	14
		Ponto sorteado:	1	4	4	1	2	2	2	1
4	-->	Setor sorteado:	18	3	8	5	15	14	9	4
		Ponto sorteado:	4	3	1	2	6	2	3	1
5	-->	Setor sorteado:	6	5	12	11	7	2	9	10
		Ponto sorteado:	2	2	2	3	5	2	3	3
6	-->	Setor sorteado:	13	9	16	12	8	10	5	15
		Ponto sorteado:	3	4	6	3	3	2	5	5
7	-->	Setor sorteado:	17	4	14	2	13	12	8	1
		Ponto sorteado:	2	6	4	2	1	6	2	2
8	-->	Setor sorteado:	14	12	10	3	17	7	13	18
		Ponto sorteado:	4	5	3	6	4	1	3	3
9	-->	Setor sorteado:	2	7	12	8	6	18	3	14
		Ponto sorteado:	6	5	5	2	3	2	2	3
10	-->	Setor sorteado:	10	17	4	12	6	16	5	14
		Ponto sorteado:	3	5	4	4	3	1	3	4
11	-->	Setor sorteado:	17	3	8	16	4	18	15	1
		Ponto sorteado:	3	6	6	3	5	1	5	5

12 -->	Setor sorteado:	10	13	14	7	8	15	9	11
	Ponto sorteado:	6	2	2	3	4	1	2	3
13 -->	Setor sorteado:	6	9	11	3	13	7	14	18
	Ponto sorteado:	2	1	6	1	6	2	2	5
14 -->	Setor sorteado:	12	4	18	10	11	6	3	5
	Ponto sorteado:	7	2	2	4	4	3	6	1
15 -->	Setor sorteado:	8	13	2	11	3	7	1	9
	Ponto sorteado:	3	4	6	7	3	2	3	3
16 -->	Setor sorteado:	13	15	16	5	10	18	1	17
	Ponto sorteado:	5	4	5	1	6	3	2	1
17 -->	Setor sorteado:	6	3	18	10	9	17	2	1
	Ponto sorteado:	5	5	2	4	1	5	1	5
18 -->	Setor sorteado:	15	13	2	16	3	11	8	5
	Ponto sorteado:	3	4	3	6	5	5	6	3
19 -->	Setor sorteado:	15	4	17	16	9	13	2	10
	Ponto sorteado:	6	2	1	6	4	4	3	1
20 -->	Setor sorteado:	11	15	7	10	13	16	4	1
	Ponto sorteado:	6	6	4	5	4	6	3	1

A seguir, para melhor visualização do problema, colocou-se as amostras sorteadas por setor, em cada amostragem no quadro a seguir.

Quadro - inspeção por setores e por amostragem

AMOSTRAG	S E T O R E S																	
	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>	N <sub>6</sub>	N <sub>7</sub>	N <sub>8</sub>	N <sub>9</sub>	N <sub>10</sub>	N <sub>11</sub>	N <sub>12</sub>	N <sub>13</sub>	N <sub>14</sub>	N <sub>15</sub>	N <sub>16</sub>	N <sub>17</sub>	N <sub>18</sub>
A <sub>1</sub>	x	x		x		x		x			x			x		x		
A <sub>2</sub>	x	c	x		x	x		x				x				x		
A <sub>3</sub>				x		x					x	x		x	x	x	x	
A <sub>4</sub>			x	x	x			x	x					x	c			x
A <sub>5</sub>		x			x	x	x		x	x	x	x						
A <sub>6</sub>					c			x	x	x		x	x		x	x		
A <sub>7</sub>	x	x		x				x				x	x	x				x
A <sub>8</sub>			x				x			x		x	c	x				x
A <sub>9</sub>		x	x				x	x	x			x		x				
A <sub>10</sub>				x	x	x				x		x		x			x	x
A <sub>11</sub>	x		x	x				x								x	x	c
A <sub>12</sub>							x	x	x	x	x		x	x	x			
A <sub>13</sub>			x				x	x		x		x		x	x			
A <sub>14</sub>			x	x	x	x				x	c	x						
A <sub>15</sub>	x	x	x				x	x	x		x		x					
A <sub>16</sub>	x				x					x			x		x	x	x	x
A <sub>17</sub>	x	x	x			x			x	x								x
A <sub>18</sub>		x	x		x			c			x		x		x	x		
A <sub>19</sub>		x		x					x	x			x		x	x	x	
A <sub>20</sub>	x			x			x			x	x		x		x	x		

Obs: c = amostra contaminada e x = amostra não contaminada.

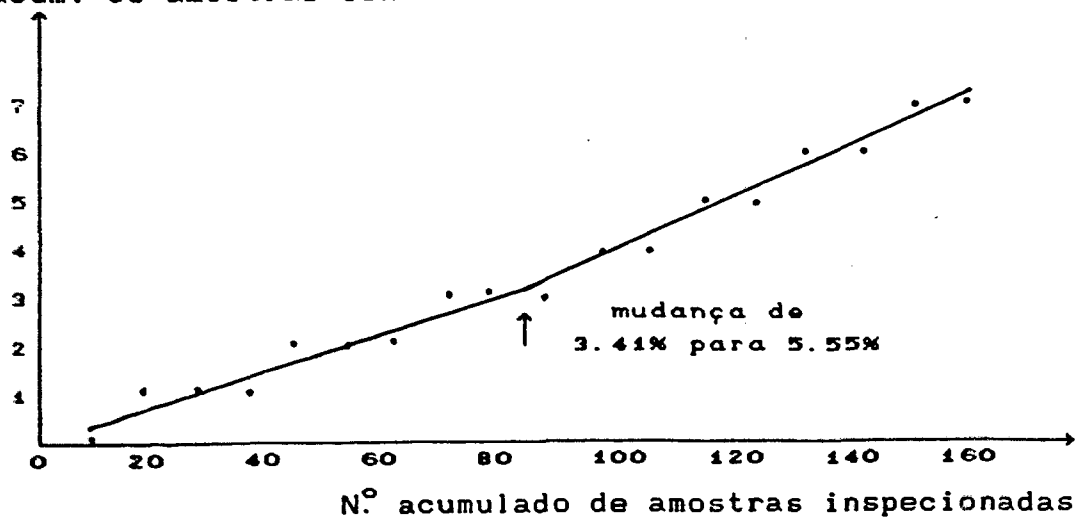
Para verificar se o sistema de distribuição de água está ou não sob controle, os resultados obtidos das análises bacteriológicas foram plotados em gráficos de contaminações cumulativas por setores e por amostragem:



4.2.1.1. Gráfico de contaminações cumulativas por setores  
(n variável)

N.º Setor	N.º Amostras Inspeccionadas	N.º Acumulado Amostras Insp.	N.º Amostras Contaminadas	N.º Acumulado Amostras Cont.
N <sub>1</sub>	8	8	0	0
N <sub>2</sub>	9	17	1	1
N <sub>3</sub>	10	27	0	1
N <sub>4</sub>	9	36	0	1
N <sub>5</sub>	8	44	1	2
N <sub>6</sub>	9	53	0	2
N <sub>7</sub>	7	60	0	2
N <sub>8</sub>	10	70	1	3
N <sub>9</sub>	8	78	0	3
N <sub>10</sub>	10	88	0	3
N <sub>11</sub>	9	97	1	4
N <sub>12</sub>	9	106	0	4
N <sub>13</sub>	10	116	1	5
N <sub>14</sub>	9	125	0	5
N <sub>15</sub>	9	134	1	6
N <sub>16</sub>	10	144	0	6
N <sub>17</sub>	8	152	1	7
N <sub>18</sub>	8	160	0	7

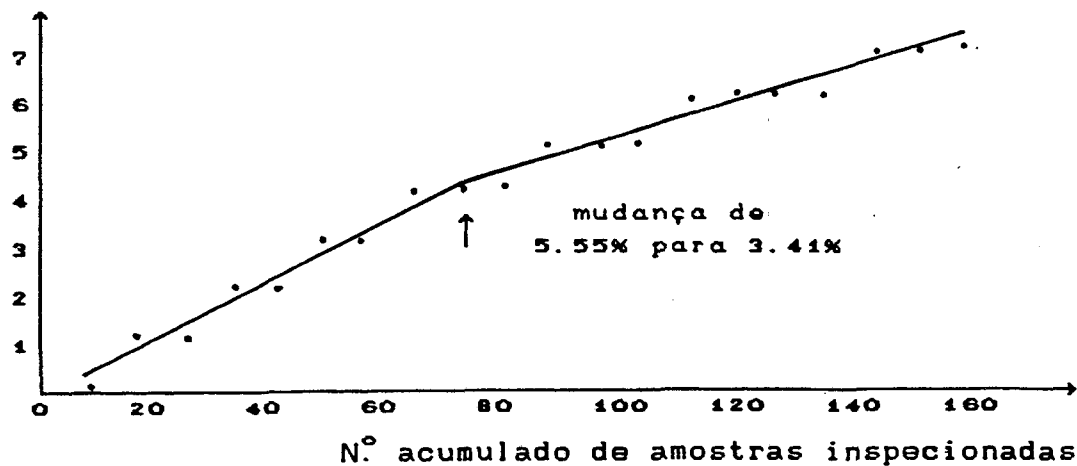
N.º acum. de amostras cont.



4.2.1.2. Gráfico de contaminações cumulativas por amostragem  
(n constante)

N.º Amost.	N.º Amostras Inspeccionadas	N.º Acumulado Amostras Insp.	N.º Amostras Contaminadas	N.º Acumulado Amostras Cont.
A <sub>1</sub>	8	8	0	0
A <sub>2</sub>	8	16	1	1
A <sub>3</sub>	8	24	0	1
A <sub>4</sub>	8	32	1	2
A <sub>5</sub>	8	40	0	2
A <sub>6</sub>	8	48	1	3
A <sub>7</sub>	8	56	0	3
A <sub>8</sub>	8	64	1	4
A <sub>9</sub>	8	72	0	4
A <sub>10</sub>	8	80	0	4
A <sub>11</sub>	8	88	1	5
A <sub>12</sub>	8	96	0	5
A <sub>13</sub>	8	104	0	5
A <sub>14</sub>	8	112	1	6
A <sub>15</sub>	8	120	0	6
A <sub>16</sub>	8	128	0	6
A <sub>17</sub>	8	136	0	6
A <sub>18</sub>	8	144	1	7
A <sub>19</sub>	8	152	0	7
A <sub>20</sub>	8	160	0	7

N.º acum. de amostras cont.



## 4.2.2. Exemplo 2:

Nesta cidade, a fração de contaminação de água do exemplo simulado foi de 0.044, isto é,  $\bar{p} = 0.044$ . As probabilidades de aprovação e de desaprovação das amostras de água distribuídas, com níveis de aceitação  $a = 0, 1, 2, 3, 4$  e  $5$  são:

a) calculadas pela distribuição binomial acumulada

$$F(a) = \sum_{x=0}^{x=a} \binom{n}{x} P^x Q^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, 3, 4, 5$$

$$F(0) = \binom{160}{0} (0.044)^0 (0.956)^{160} = 1 \times 1 \times 0.00075 = 0.00075$$

$$\begin{aligned} F(1) &= F(0) + F(1) = 0.00075 + \binom{160}{1} (0.044)^1 (0.956)^{159} \\ &= 0.00075 + 0.00550 = 0.00625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(2) &= F(1) + F(2) = 0.00625 + \binom{160}{2} (0.044)^2 (0.956)^{158} \\ &= 0.00625 + 0.02012 = 0.02637 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(3) &= F(2) + F(3) = 0.02637 + \binom{160}{3} (0.044)^3 (0.956)^{157} \\ &= 0.02637 + 0.04878 = 0.07515 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(4) &= F(3) + F(4) = 0.07515 + \binom{160}{4} (0.044)^4 (0.956)^{156} \\ &= 0.07515 + 0.08813 = 0.16328 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(5) &= F(4) + F(5) = 0.16328 + \binom{160}{5} (0.044)^5 (0.956)^{155} \\ &= 0.16328 + 0.12098 = 0.28426 \end{aligned}$$

As probabilidades de aprovação com os níveis de aceitação, do exemplo acima, deram baixa, em virtude de se ter um grande número de amostras e com uma fração de contaminação relativamente, alta. Por exemplo, para  $a = 4$ , a probabilidade de aprovação é  $F(4) = 0.16328$  e a probabilidade de desaprovação é  $1 - F(4) = 1 - 0.16328 = 0.83672$ .

b) calculadas pela distribuição de Poisson acumulada

$$F(a) = \sum_{x=0}^{x=a} \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^x}{x!}, \quad x = 1, 2, 3, 4, 5$$

onde

$$e = 2.71828 \quad e \mu = n\bar{p} = 160 \times 0.044 = 7.04$$

$$F(0) = \frac{2.71828^{-7.04} (7.04)^0}{0!} = 0.00088$$

$$\begin{aligned} F(1) &= F(0) + F(1) = 0.00088 + \frac{0.00088 \times (7.04)^1}{1!} \\ &= 0.00088 + 0.00619 = 0.00707 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(2) &= F(1) + F(2) = 0.00707 + \frac{0.00088 \times (7.04)^2}{2!} \\ &= 0.00707 + 0.02107 = 0.02814 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(3) &= F(2) + F(3) = 0.02814 + \frac{0.00088 \times (7.04)^3}{3!} \\ &= 0.02814 + 0.05117 = 0.07931 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(4) &= F(3) + F(4) = 0.07931 + \frac{0.00088 \times (7.04)^4}{4!} \\ &= 0.07931 + 0.09007 = 0.16938 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(5) &= F(4) + F(5) = 0.16938 + \frac{0.00088 \times (7.04)^5}{5!} \\ &= 0.16938 + 0.12681 = 0.29619 \end{aligned}$$

Para  $a = 4$ , a probabilidade de aprovação é  $F(4) = 0.16938$  e a probabilidade de desaprovação é  $1 - F(4) = 0.83062$ .

## 4.2.3. Exemplo 3:

Se no exemplo, em vez da cidade, fosse um bairro (com  $N = 80$  ligações de água) consumindo água com uma fração de contaminação de 0.05, isto é  $P = 0.05$ , a probabilidade de aprovação da água distribuída a partir de uma amostra de  $n = 10$ , e com  $a = 2$  seria calculada da seguinte maneira:

$$f = \frac{n}{N} = \frac{10}{80} = 0.125 > 0.10, \text{ pode-se aplicar a distribuição hipergeométrica.}$$

$$F(a) = \sum_{x=0}^{x=a} \frac{\binom{C}{x} \cdot \binom{N-C}{n-x}}{\binom{N}{n}}, \quad x = 0, 1, 2$$

$$\text{Como } P = \frac{C}{N} = 0.05, \text{ tem-se } C = 0.05 \times 80 = 4$$

$$F(0) = \frac{\binom{4}{0} \cdot \binom{80-4}{10-0}}{\binom{80}{10}} = \frac{\binom{4}{0} \cdot \binom{76}{10}}{\binom{80}{10}} = 0.5797$$

$$\begin{aligned} F(1) &= F(0) + F(1) = 0.5797 + \frac{\binom{4}{1} \cdot \binom{80-4}{10-1}}{\binom{80}{10}} \\ &= 0.5797 + \frac{4 \binom{76}{9}}{\binom{80}{10}} = 0.5797 + 0.3461 = 0.9258 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(2) &= F(1) + F(2) = 0.9258 + \frac{\binom{4}{2} \cdot \binom{80-4}{10-2}}{\binom{80}{10}} \\ &= 0.9258 + \frac{6 \binom{76}{8}}{\binom{80}{10}} = 0.9258 + 0.0687 = 0.9945 \end{aligned}$$

Para  $a = 2$ , a probabilidade de aprovação é  $F(2) = 0.9945$  e a probabilidade de desaprovação é  $1 - F(1) = 1 - 0.9945 = 0.0055$

## 4.2.4. Exemplo 4:

Se os responsáveis pelo controle da rede de distribuição de água desejam saber quando as mudanças dos resultados bacteriológicos decorrem da variação estatística inerente ao processo e quando são consideradas significativas. É nesse ponto que os gráficos de controle se mostram úteis, especialmente quando existem um grande número de dados.

Considere que nas inspeções por amostragem mensais, realizadas nos últimos 12 meses na rede de distribuição de água da cidade citada, usaram-se amostras de tamanhos constantes, conforme mostrado no seguinte quadro.

Quadro - Inspeção com tamanhos de amostras constantes

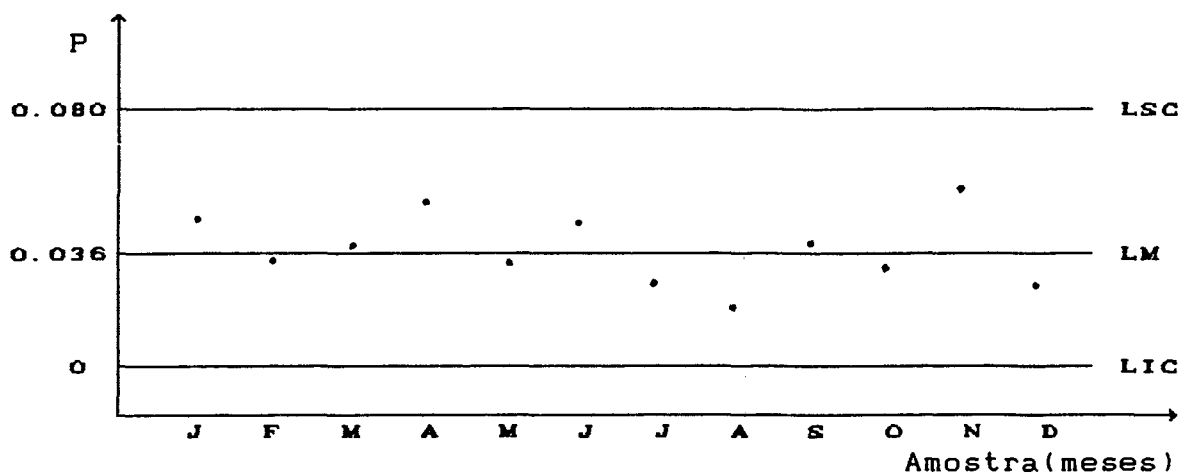
Meses	Tamanho da amostra	Número de contaminações	Fração de contaminações
Janeiro	160	7	0.044
Fevereiro	160	5	0.031
Março	160	6	0.037
Abril	160	8	0.050
Maió	160	5	0.031
Junho	160	7	0.044
Julho	160	4	0.025
Agosto	160	3	0.019
Setembro	160	6	0.037
Outubro	160	5	0.031
Novembro	160	9	0.056
Dezembro	160	4	0.025
Totais	1920	69	$\bar{p} = 0.036$

## 4.2.4.1. Gráfico da fração de contaminação (P) - (n constante)

$$LM = \bar{p} = 0.036$$

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{p} + 3[\bar{p}(1 - \bar{p})/n]^{1/2} \\ &= 0.036 + 3[0.036(1 - 0.036)/160]^{1/2} = 0.036 + 0.044 \\ LSC &= 0.080 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LIC &= \bar{p} - 3[\bar{p}(1 - \bar{p})/n]^{1/2} \\ &= 0.036 - 3[0.036(1 - 0.036)/160]^{1/2} = 0.036 - 0.044 \\ LIC &= -0.008 \quad (\text{como } LIC < 0, \text{ } LIC = 0) \end{aligned}$$



Como nenhum ponto caiu fora da região de normalidade, o processo para o sistema de abastecimento de água está sob controle, propiciando uma qualidade de água adequada, dentro das especificações estabelecidas pela Portaria 36/ GM, no geral. Contudo, no mês de novembro, apesar de o processo estar sob controle estatístico, apresenta uma qualidade de água inadequada, com alta porcentagem de contaminação.

## 4.2.4.2. Gráfico do número total de contaminação (nP)

$$LM = n\bar{p} = 5.76$$

$$LSC = n\bar{p} + 3[n\bar{p}(1 - \bar{p})]^{1/2}$$

$$= 5.76 + 3[5.76(1 - 0.036)]^{1/2} = 5.76 + 7.07$$

$$LSC = 12.83$$

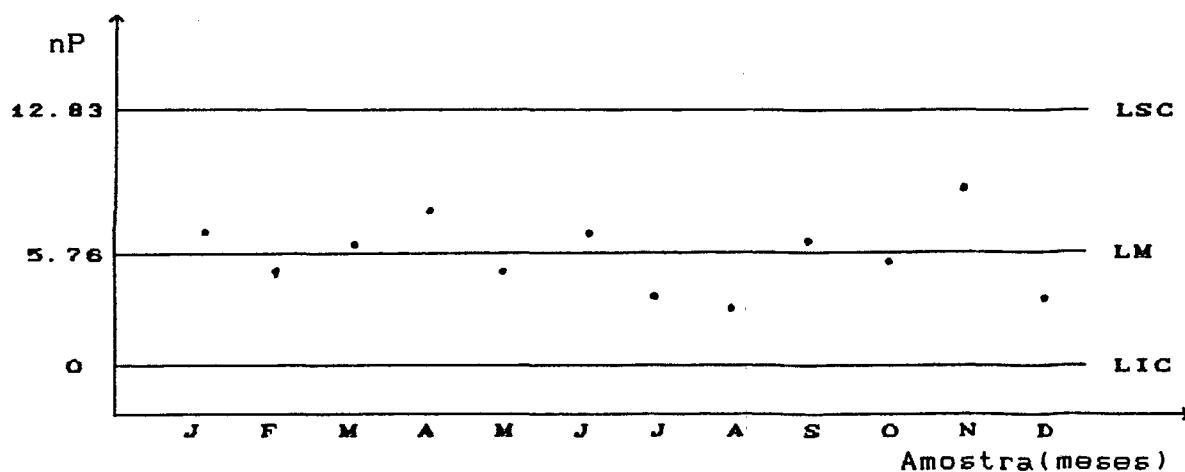
$$LIC = n\bar{p} - 3[n\bar{p}(1 - \bar{p})]^{1/2}$$

$$= 5.76 - 3[5.76(1 - 0.036)]^{1/2} = 5.76 - 7.07$$

$$LIC = -1.31 \text{ (como } LIC < 0, LIC = 0)$$

A partir do quadro anterior pode-se determinar (nP) para cada mês. Assim tem-se:

(7.04; 4.96; 5.92; 8.00; 4.96; 7.04; 4.00; 3.04; 5.92;  
4.96; 8.96; 4.00)



Considere-se, agora, as inspeções por setores realizadas nos últimos 12 meses, sendo que os tamanhos das amostras não se conservaram constantes com o decorrer das amostragens. Neste caso, o gráfico de controle apropriado será o gráfico da fração de contaminação para tamanhos de amostras variáveis, conforme mostrado no quadro a seguir.



Quadro - Inspeção com tamanhos de amostras variáveis

N. Setor	Tamanho da amostra	Número de contaminações	Fração de contaminações	LSC	LIC
N <sub>1</sub>	96	2	0.021	0.055	0.017
N <sub>2</sub>	108	4	0.037	0.054	0.018
N <sub>3</sub>	120	3	0.025	0.053	0.019
N <sub>4</sub>	108	1	0.009	0.054	0.018
N <sub>5</sub>	96	4	0.042	0.055	0.017
N <sub>6</sub>	108	2	0.018	0.054	0.018
N <sub>7</sub>	84	2	0.024	0.056	0.016
N <sub>8</sub>	120	6	0.050	0.053	0.019
N <sub>9</sub>	96	3	0.031	0.055	0.017
N <sub>10</sub>	120	4	0.033	0.053	0.019
N <sub>11</sub>	108	5	0.046	0.054	0.018
N <sub>12</sub>	108	3	0.028	0.054	0.018
N <sub>13</sub>	120	7	0.058	0.053	0.019
N <sub>14</sub>	108	4	0.037	0.054	0.018
N <sub>15</sub>	108	5	0.046	0.054	0.018
N <sub>16</sub>	120	6	0.050	0.053	0.019
N <sub>17</sub>	96	3	0.031	0.055	0.017
N <sub>18</sub>	96	5	0.052	0.055	0.017
Totais	1920	69	$\bar{p} = 0.036$		

## 4.2.4.3. Gráfico da fração de contaminação (P) - (n variável)

$$LM = \bar{p} = 0.036$$

$$= 0.036 \pm 3[0.036(1 - 0.036) / n]^{1/2} = 0.036 \pm \frac{0.186}{1/2}$$

$$LSC_1 = 0.036 + \frac{0.186}{(96)^{1/2}} = 0.036 + 0.019 = 0.055$$

$$LIC_1 = 0.036 - \frac{0.186}{(96)^{1/2}} = 0.036 - 0.019 = 0.017$$

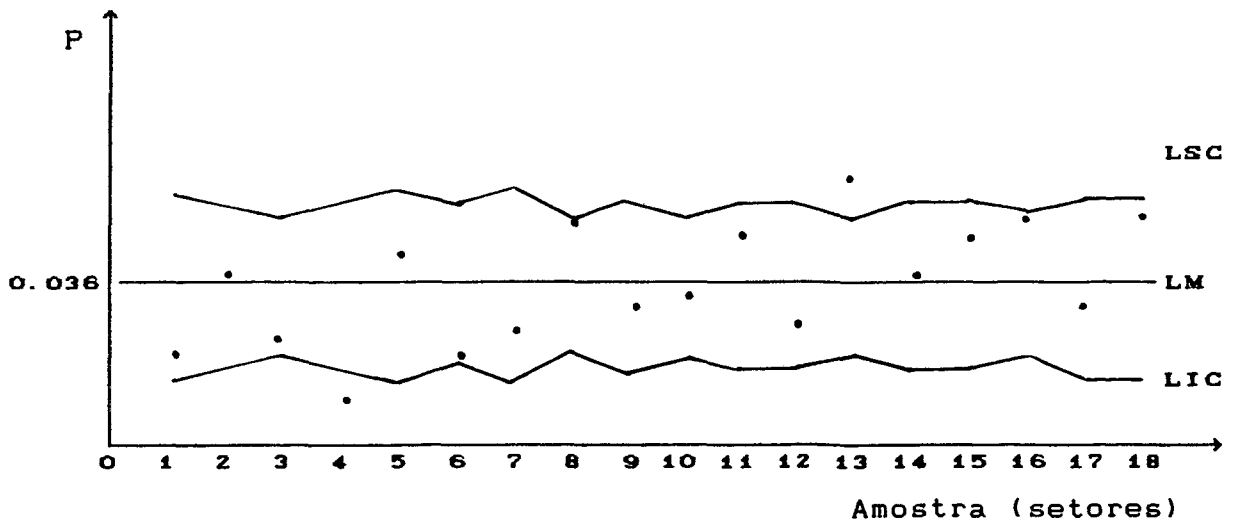
$$LSC_2 = 0.036 + \frac{0.186}{(108)^{1/2}} = 0.036 + 0.018 = 0.054$$

$$LIC_2 = 0.036 - \frac{0.186}{(108)^{1/2}} = 0.036 - 0.018 = 0.018$$

.....

$$LSC_{18} = 0.036 + \frac{0.186}{(96)^{1/2}} = 0.036 + 0.019 = 0.055$$

$$LIC_{18} = 0.036 - \frac{0.186}{(96)^{1/2}} = 0.036 - 0.019 = 0.017$$



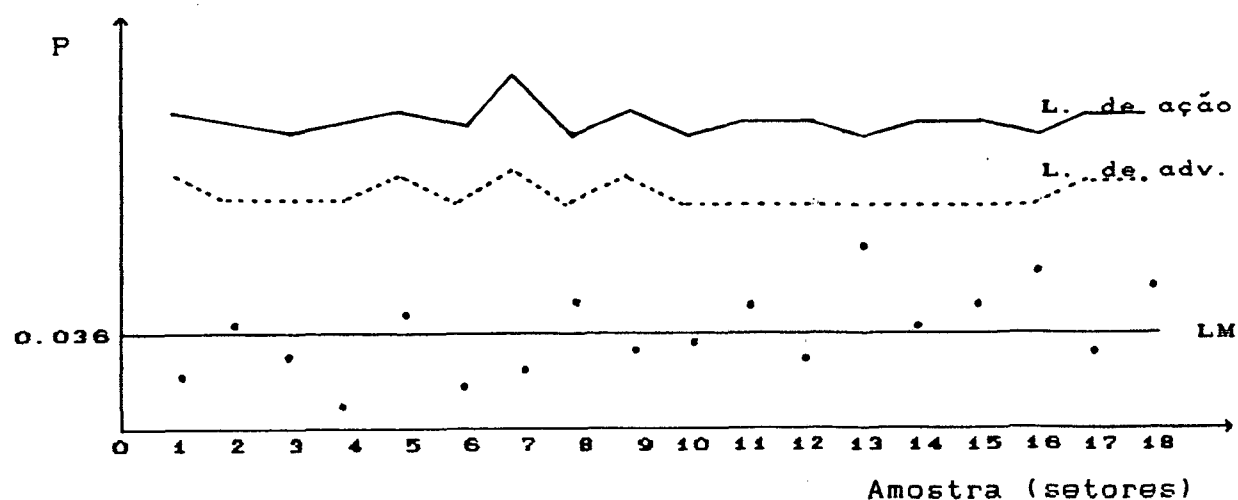
Neste gráfico, verifica-se que o setor (N<sub>13</sub>) está fora de controle estatístico e apresenta uma qualidade inadequada de água, com uma porcentagem de contaminação acima ao da Portaria 36/GM.

Considerando-se, agora, o mesmo anunciado do item anterior, porém com o uso da Tabela (5).

Inspeção com tamanho de amostras variáveis com o uso da tabela (5)

N. Setor	Tamanho amostra	$m = n\bar{p}$ $m = 0.036n$	Limite de ação p/ fração cont. ( $m_1/n$ )	Limite de advertência p/ fração cont. ( $m_2/n$ )
N <sub>1</sub>	96	3.456	0.115	0.094
N <sub>2</sub>	108	3.888	0.111	0.083
N <sub>3</sub>	120	4.320	0.108	0.083
N <sub>4</sub>	108	3.888	0.111	0.083
N <sub>5</sub>	96	3.456	0.115	0.094
N <sub>6</sub>	108	3.888	0.111	0.083
N <sub>7</sub>	84	3.024	0.131	0.095
N <sub>8</sub>	120	4.320	0.108	0.083
N <sub>9</sub>	96	3.456	0.115	0.094
N <sub>10</sub>	120	4.320	0.108	0.083
N <sub>11</sub>	108	3.888	0.111	0.083
N <sub>12</sub>	108	3.888	0.111	0.083
N <sub>13</sub>	120	4.320	0.108	0.083
N <sub>14</sub>	108	3.888	0.111	0.083
N <sub>15</sub>	108	3.888	0.111	0.083
N <sub>16</sub>	120	4.320	0.108	0.083
N <sub>17</sub>	96	3.456	0.115	0.094
N <sub>18</sub>	96	3.456	0.115	0.094

4.2.4.4. Gráfico da fração de contaminação (P) com uso da tabela (5) - ( n variável )



Do gráfico verifica-se que nenhum ponto caiu acima dos limites: de advertência e muito menos de ação. Por outro lado, nota-se que o setor ( $N_{13}$ ) apresenta uma porcentagem de contaminação acima do permitido dado pela Portaria 36/GM. Portanto, o processo do sistema de distribuição de água está sob controle estatístico, porém, o setor ( $N_{13}$ ) está propiciando uma qualidade inadequada de água.

#### 4.2.5. Exemplo 5: Confiabilidade dos setores de amostragem

$$R = \frac{1}{c} \left[ c_1 \left( \frac{n'_1}{N_1} \right)^{c_1} + c_2 \left( \frac{n'_2}{N_2} \right)^{c_2} + \dots + c_N \left( \frac{n'_N}{N_N} \right)^{c_N} \right]$$

$$R = \frac{1}{7} \left[ 0(0.8)^0 + 1(0.9)^1 + 0(1.0)^0 + 0(0.9)^0 + 1(0.8)^1 + \right. \\ \left. 0(0.9)^0 + 0(0.7)^0 + 1(1.0)^1 + 0(0.8)^0 + 0(1.0)^0 + \right. \\ \left. 1(0.9)^1 + 0(0.9)^0 + 1(1.0)^1 + 0(0.9)^0 + 1(0.9)^1 + \right. \\ \left. 0(1.0)^0 + 1(0.8)^1 + 0(0.8)^0 \right]$$

$$R = \frac{1}{7} ( 0.9 + 0.8 + 1.0 + 0.9 + 1.0 + 0.9 + 0.8 )$$

$$R = \frac{6.3}{7} = 0.90 = 90\%.$$

## CAPITULO 5

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

## 5.1. Conclusões

Nesta dissertação foi proposto um modelo probabilístico de amostragem que atendesse aos objetivos no sentido de prevenir e de manter a rede de distribuição de água sob vigilância permanente, quanto à potabilidade da água (principalmente relativo a bacteriologia), desde a saída da ETA até às ligações domiciliares. Neste sentido, conclui-se que:

- O modelo atende eficientemente aos objetivos propostos, indicando setores realmente problemáticos numa rede de distribuição de água, além de fornecer critérios objetivos aos técnicos responsáveis pela rede de abastecimento no cadastramento dos pontos de coleta. Fornece, também, prioridades aos pontos de maior probabilidade de contaminação através das variáveis de maior significado sanitário, seguidas dos pontos de maior responsabilidade social. Nesse caso, dá-se maior importância aos lugares onde haja maior concentração da população.

- O modelo proposto é dinâmico, pois permite cadastrar novos pontos, bem como atribuir pesos a esses pontos, mantendo o sistema sob controle. Pode-se, também, alterar os pesos atribuídos aos pontos existentes, dependendo dos resultados obtidos e/ou da evolução da rede.

- Sempre que se for coletar amostras para exames bacteriológicos é importante determinar, no mesmo ponto, não só o número mais provável de coliformes totais (N.M.P.), mas também outros parâmetros relevantes para o monitoramento da qualidade da

água, tais como, o cloro residual livre, o pH e a turbidez.

Ao final de cada programa de amostragem, antes mesmo de conhecer os resultados referentes aos coliformes totais (que pela técnica de membrana filtrante demanda, pelo menos, 24 horas e pela técnica de tubos múltiplos, pelo menos, 48 horas) selecionar os resultados das amostras das ligações que tivessem apresentado cloro residual livre inferior a 0.20 mg/l e/ou turbidez superior a 5.0 NTU.

Os resultados anômalos juntamente com os valores do pH seriam colocados em uma tabela e enviados, ao final de cada programa de amostragem, para o responsável da rede de distribuição de água tomar as providências necessárias para normalizar a situação.

- Sempre que constatar que a água está fora de potabilidade (física, química e bacteriológica) estabelecida pela Portaria 36/GM, os Técnicos devem imediatamente verificar as causas, tomando as medidas corretivas tais como: descarga na rede de distribuição para eliminação dos problemas de água suja e, em alguns casos, reforço na cloração para estabilização dos níveis de cloro, e recoleta para verificação da potabilidade da água.

- O monitoramento do sistema de distribuição de água seria acompanhado, basicamente, através de gráficos de contaminações cumulativas e da Portaria 36/GM (para amostras pequenas) e, através de gráficos de controle da fração de contaminação e da Portaria 36/GM (para amostras grandes).

Os resultados obtidos dos exames bacteriológicos (por amostragem e por setores) seriam plotados em um dos gráficos supracitados. Conjuntamente, seria verificado o valor da fração de contaminação (P). Se, por qualquer motivo, a fração de contaminação apresentasse uma alteração significativa para pior, esse fato seria prontamente detectado por um dos gráficos em uso e/ou pela observância da Portaria 36/GM e comunicado ao responsável pela rede de distribuição para as providências cabíveis.

- O profissional responsável pela coleta das amostras de água deve estar bem treinado em técnicas de amostragem apropriadas, ou seja, deve conhecer todas as técnicas de coleta para exames físico-químicos e bacteriológicos. Além disso, deve ser um profissional objetivo e honesto, visto que recipientes mal preparados, pontos de amostragem sujos e execução desordenada podem acrescentar impurezas (contaminações) que normalmente não estão presentes na água.

## 5.2. Recomendações

Para o desenvolvimento de futuros trabalhos relacionados a planos de amostragem bem como potabilidade da água, recomenda-se:

- Estudos no sentido de discutir a utilização de concentração máxima de cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição, já que a concentração mínima é dada pela Portaria 36/GM.

- Estudos no sentido de discutir as variáveis relacionadas com a qualidade da água a serem mapeadas com as respectivas frequências relativas conforme seu significado sanitário.

- Estudos comparativos entre a qualidade da água do sistema distribuidor e a qualidade da água consumida pelos usuários. Os serviços de vigilância sanitária ou órgãos da saúde municipal deverão coletar amostras para serem analisadas nas ligações domiciliares (cavaletes), paralelamente, coletam-se amostras nas torneiras residenciais.

- Treinamentos adequados aos coletadores de amostras. Deve-se coletar as amostras, rigorosamente, nos pontos representativos e com critérios científicos.

## CAPITULO 6

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA

## 6.1. Referências bibliográficas

1. ACUÑA, J.E.A. Control de Calidad: um enfoque integral y estadístico. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1986.
2. BERZIN, G., FERNANDES, N.J., SANTOS, C.L. Descargas na rede para preservar a qualidade da água. Rev. DAE, v. 48, n. 152, p. 22-25, 1988.
3. BLOCK, J.C., EL-SHAARAWI, A.H., MAUL, A. Heterotrophic bacteria in water distribution systems. - II. Sampling design for monitoring Sci. of the Total Envir, v. 44, p. 215-224, 1985.
4. BOWKER, A.H., LIEBERMAN, G.J. Engineering Statistics. Englewood Cliffs: Prentice - Hall, 1959. p. 460-461.
5. BRASIL. Ministério do Estado da Saúde. Portaria n.º 36/GM, de 19 de janeiro de 1990. Normas e padrão de Potabilidade da Água destinada ao Consumo Humano, a serem observados em todo o território nacional. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p. 1651-1654.
6. BRULE MATOS, J.E.V.D., HALLACK, P.L.I., SILVA JR. R.J da C. Mapeamento da anamalias nas redes de distribuição. Rev. ABES, São Paulo, v. 2, p. 426-440, 1991.
7. BRULE MATOS, J.E.V.D., SILVA JR., R.J.C. Plano de amostragem para controle da qualidade de água na rede de distribuição do município de São Paulo. Rev. DAE, São Paulo, v. 47, n. 150, p. 255-256, 1987.
8. CASTORINA, A.R. Sampling techniques in the distribution system. New engl. Wat. Wks Ass., v. 92, p. 329-342, 1978.
9. CLARK, R.M., COYLE, J.A. Measuring and modeling variations in distribution system water quality. J. Amer. Wat. Wks. Ass., p. 46-53, 1990.
10. CONTROLE da potabilidade da água distribuída na capital. Rev. DAE, São Paulo, v. 31, n. 79, p. 99-111, 1971.



11. CONTROLE de potabilidade da água do sistema distribuidor de São Paulo. São Paulo: CETESB, [197\_?].
12. EKKERS, G.H., HETTING, F.A.M., HULSMANN, A.D. Water quality in distribution networks. AQUA - The J. of the Int. Wat. Sup. Ass., n. 6, p. 312-317, 1986.
13. GUIAS para la calidad del agua potable. Washington: Organizacion Panamericana de la Salud, v. 3, p. 131, 1988.
14. HUITSON, A., KEEN, J., Control charts for qualitative data. Essentials of Quality Control. London, W. Heinemann, 1965, p. 60-77.
15. HULSMANN, A.D. Sampling for Water quality control. AQUA - The J. of the Int. Wat. Sup. Ass., n. 2, p. 98-101, 1987.
16. IGLESIAS, R. Controle de qualidade de água: Plano de amostragem. Rev. DAE, São Paulo, v. 31, n. 79, p. 120-129, 1971.
17. LOURENÇO FILHO, R. de C.B. Controle Estatístico de Qualidade. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1971.
18. BLUM, J.R.C., MANCUSO, P.C.S., SANCHES, C.R.B. Plano de amostragem de rede para controle de qualidade bacteriológica da água - PLANAR 1001. Rev. DAE, São Paulo, v. 42, n. 129, p. 61-66, 1982.
19. MATTOS, A.C.M. Um modelo de amostragem para o controle de potabilidade de um sistema de distribuição de água. Rev. DAE, São Paulo, v. 34, n. 97, p. 30-42, 1974.
20. McCOY, W.F., OLSON, B.H. Relationship among turbidity, particle counts and bacteriological quality within water distribution lines. Wat. Res., v. 20, n. 8, p. 1023-1029, 1986.
21. PALADINI, E.P. Controle de Qualidade: Uma Abordagem Abrangente. São Paulo: Atlas, 1990.
22. PALMER, C.F. Controle Total de Qualidade. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.
23. PROGRAMA de vigilância da qualidade da água para consumo humano. São Paulo: CETESB/SABESP, 1986.
24. URURAY, S.C. Manual de Controle de Qualidade na Indústria Mecânica. Rio de Janeiro: V. 2.

25. ZUGMAM, J. Parâmetros para controle de qualidade de água. Rev. DAE, São Paulo, v. 31, n. 79, p. 297-313, 1971.
26. TTTI - MADRAS: Teachers Training Tecnology Institute Controle da Qualidade. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.
27. RATTMANN, A.C. et al Controle da Qualidade na Rede de Distribuição. SANEPAR, 1992.

## 6.2. Bibliografia

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5425: Guia para Inspeção por Amostragem no Controle e Certificação da Qualidade. Rio de Janeiro, 1977.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5426: Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Atributos. Rio de Janeiro, 1977.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5427: Guia para Utilização da Norma NBR 5426 - Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Atributos. Rio de Janeiro, 1977.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5428: Procedimentos Estatísticos para Determinação da Validade da Inspeção por Atributos feita pelos Fornecedores. Rio de Janeiro, 1977.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5429: Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Variáveis. Rio de Janeiro, 1977.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5430: Guia de Utilização da Norma NBR 5429 - Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Variáveis. Rio de Janeiro, 1977.
7. BATALHA, B.L., PARLATORE, A.C. Controle da Qualidade das Águas para Consumo Humano: Bases Conceituas e Operacionais. São Paulo: CETESB, 1977.
8. BROWN, M.P., OUTTRAM, D.R. A different approach to water quality sampling. Wat. Pollut. Control, v. 82, p. 309-314, 1983.

9. CLARK. R.M., GRAYMAN, W.M., MALES, R.M. Modeling Water Quality in Distribution Systems. *J. of Wat. Res. Plan. and Manag.*, n. 114, p. 197-209, 1988.
10. CLARK. R.M., GRAYMAN, W.M., MALES, R.M. Modeling Distribution System Water Quality: Dynamic Approach. *J. of Wat. Res. Plan. and Manag.*, n. 114 p. 295-312, 1988.
11. COYLE. J.A., GRAYMAN. W.M., MALES, R.M. Modeling Contaminant Propagation in Drinking Water Distribution Systems. *AQUA - The J. of the Int. Wat Sup. Ass.*, n. 3, p. 137-151, 1988.
12. GRANT, E.L *Statistical Quality Control*. McGraw-Hill Book Company, 1964.
13. GUAZZELLI, M.R. *Sistema para o Controle Estatístico da Qualidade de Água de Abastecimento Público*. Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 1985.
14. MANCUSO, P.C.S. Gráficos assimétricos de controle de qualidade e suas aplicações em controle de ETAs. *Rev. DAE, São Paulo*, v. 38, n. 119, p. 294-299, 1978.