SOLANGE REGINA DOS SANTOS

TRATAMENTO DA ÁGUA: MONITORAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL

CURITIBA

2007

SOLANGE REGINA DOS SANTOS

TRATAMENTO DA ÁGUA: MONITORAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências do Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia na área de concentração em Programação Matemática do Setor de Tecnologia, Departamento de Construção Civil e Setor de Ciências Exatas, Departamento de Matemática da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto

CURITIBA

2007

TERMO DE APROVAÇÃO

SOLANGE REGINA DOS SANTOS

"Tratamento da Água: Monitoramento das Características de Qualidade da Água Potável"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Área de Concentração em Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Anselmo Chaves Neto, D.Sc.
Departamento de Estatística da UFPR

Prof. Cleverson V. Andreoli, Dr.
SANEPAR

Prof. Reinaldo Castro Souza, Ph.D.
PUC/ Rio de Janeiro

Prof. Ney Augusto Nascimento, Ph.D.
Departamento de Construção Civil da UFPR

Curitiba, 23 de março de 2007.

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha mãe Aurora, por ter possibilitado a realização deste sonho e por ter ajudado a me tornar a pessoa que sou.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

A minha mãe Aurora, irmãs Sandra e Suellen, pela paciência, apoio, amor, confiança e incentivo.

Ao meu namorado Marcio, pela compreensão e ajuda prestada durante a realização do Mestrado.

Ao Professor Dr. Anselmo Chaves Neto, pela orientação, pela paciência nos momentos de dificuldades.

A todos os professores do curso de Métodos Numéricos e Engenharia, pelos ensinamentos ministrados e pela agradável convivência.

Aos colegas do curso, principalmente o grupo de Campo Mourão, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos Senhores Pedro Francisco Giuliane, Coordenador da Indústria e Cristóvão Macena, Técnico de Saneamento da Companhia Paranaense de Saneamento – Unidade de Produção de Campo Mourão, pela cordial acolhida, paciência e por colaborar para a realização deste trabalho.

E ao amigo Itamar Evaristo de Souza, por sua generosidade e ajuda.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS x
LISTA DE GRÁFICOS xii
LISTA DE QUADROS xiii
LISTA DE TABELAS xiv
RESUMO xvi
ABSTRACT xvii

1 INTRODUÇÃO 01
1.1 PROBLEMA 01
1.2 OBJETIVOS 03
1.2.1 Objetivo Geral 03
1.2.2 Objetivos Específicos 03
1.3 JUSTIFICATIVA 04
1.4 ESTRUTURA 05
1.5 CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO SANEPAR 06

2 REVISÃO DE LITERATURA 08
2.1 CONCEITOS DE QUALIDADE 09
2.1.1 Dimensão da Qualidade 11
2.1.2 Desenvolvimento Histórico da Qualidade 14
2.1.3 Gestão da Qualidade Total (GQT) 17
2.1.3.1 Atividades da Gestão da Qualidade Total 21
2.1.3.2 Estudo de Caso em TQM – Hewlett Packard, Reino Unido 22
2.1.4 Prêmios da Qualidade 24
2.1.4.1 Prêmio Nacional da Qualidade (PNQ) – Brasil 24
2.1.4.2 Prêmio da Qualidade nos EUA (Malcolm Baldrige National Quality Award) 25
2.1.4.3 Prêmio da Qualidade no Japão (Deming Prize) 26
2.1.4.4 Prêmio Europeu da Qualidade 26
2.1.4.5 Prêmio Britânico da Qualidade 27
2.1.4.6 Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento 27
2.1.5 Qualidade nos Serviços 28
2.1.6 O Controle Estatístico de Processo 31
2.1.7 Variabilidade 32
2.1.8 As Sete Principais Ferramentas do CEP 33
2.1.8.1 Histograma 33
2.1.8.2 Folha de Controle 34
2.1.8.3 Gráfico de Pareto 35

2.1.8.4 Diagrama de Causa e Efeito 35
2.1.8.5 Diagrama de Concentração de Defeito 37
2.1.8.6 Diagrama de Dispersão 37
2.1.9 Carta de Controle 37
2.1.9.1 Análise de Padrões em Cartas de Controle 40
2.1.9.2 Usos Básicos das Cartas de Controle 41
2.1.10 Limites de Controle, Limites de Especificação e Limites Naturais de Tolerância 42
2.1.11 Tipos de Cartas de Controle 43
2.1.12 Carta de Controle por Variáveis 43
2.1.12.1 Carta $\overline{X}$ 43
2.1.12.2 Carta R 47
2.1.12.3 Carta s 48
2.1.12.4 Carta de Controle para Medidas Individuais 51
2.1.13 Cartas de Controle para Variáveis com Tamanho de Amostra Variável 52
2.1.13.1 Carta de controle $\overline{x}$ com tamanho de amostra variável 52
2.1.13.2 Carta de controle s com tamanho de amostra variável 53
2.1.14 Carta de Controle por Atributos 54
2.1.14.1 Carta P 54
2.1.14.2 Carta NP 56
2.1.14.3 Carta C 56
2.1.14.4 Carta U 57
2.1.15 Carta de Controle para a Fração Não-Conformes (Defeituosos) com Tamanho Variável de Amostra 59
2.1.16 Carta de Controle para Não-Conformidades (Defeitos) com Tamanho Variável de Amostra 60
2.1.17 Tamanho e freqüência de amostragem 61
2.1.18 Curva Característica de Operação 65
2.1.18.1 Curva Característica de Operação para a Carta $\overline{x}$ 65
2.1.18.1.2 *ARL para a Carta* $\overline{x}$ 67
2.1.18.2 Curva Característica de Operação da Carta R 68
2.1.18.3 Curva Característica de Operação da Carta P 70
2.1.18.3.1 *ARL para a Fração de Não-Conforme* 72
2.1.18.4 Curva Característica de Operação para as Cartas C e U 73
2.1.19 Capacidade do Processo 75
2.1.19.1 Índice *Cp* (Capacidade Potencial) 76
2.1.19.2 Índice *Cpk* (Capacidade Real) 77
2.1.19.3 Índice *Cpkm* 79
2.1.19.4 Interpretação dos Índices de Capacidade 80
2.1.20 Ferramenta de Qualidade 5W1H 81
2.2 ÁGUA E SUA QUALIDADE 83
2.2.1 Doenças Relacionadas com a Água 85
2.2.2 A Normatização da Qualidade da Água para Consumo Humano 86

2.2.2.1 A Normatização da Qualidade da Água no Brasil 87
2.2.3 Características da Água 89
2.2.4.1 Características Físicas da Água 90
2.2.4.1.1 Cor 91
2.2.4.1.2 Turbidez 91
2.2.4.1.3 Sabor e Odor 92
2.2.4.1.4 Temperatura 92
2.2.4.1.5 Condutividade Elétrica 92
2.2.4.2 Características Químicas da Água 93
2.2.4.2.1 pH 93
2.2.4.2.2 Alcalinidade 94
2.2.4.2.3 Acidez 95
2.2.4.2.4 Dureza 95
2.2.4.2.5 Ferro e Manganês 95
2.2.4.2.6 Cloretos, Sulfatos e Sólidos Totais 95
2.2.4.2.7 Oxigênio Dissolvido 96
2.2.4.2.8 Compostos Orgânicos 96
2.2.4.3 Características Biológicas da Água 96
2.2.4.3.1 Exames Bacteriológicos 97
2.2.4.3.2 Exames Hidrobiológicos 97
2.2.4.4 Características Radioativas 97
2.2.5 Tratamento da Água 98
2.2.6 Processo Convencional de Tratamento de Água 99
2.2.6.1 Captação 99
2.2.6.2 Tratamento da água de captação superficial 99
2.2.6.3 Tratamento da água de captação subterrânea 102
2.2.7 Padrão de Potabilidade 102
2.2.8 Planos Mínimos de Amostragem 109
2.2.9 Trabalhos Relacionados 113
2.2.9.1 Ganhos com a utilização de Controle Estatístico de Processo (CEP) em estação de tratamento de água (ETA) **113**
2.2.9.2 Sistema de qualidade analítica em um laboratório de uma estação de tratamento de água 114

3 MATERIAIS E MÉTODOS 116
3.1 MATERIAIS 117
3.1.1 A Companhia de Saneamento do Estado do Paraná – Sanepar 117
3.1.2 Descrição Básica da Unidade Regional de Campo Mourão – URCM 117
3.1.3 Produtos e Processos 119
3.1.4 Força de Trabalho, Clientes, Mercado e Concorrência 120
3.1.5 Histórico da Busca da Excelência 122
3.2 MÉTODOS 124
3.2.1 Descrição do Problema 124
3.2.2 Definição da Implantação 126
3.2.3 Implantação Computacional 129

3.2.3.1 MD Cloro Residual Livre 130
3.2.3.2 Menu 130
3.2.3.3 Cronograma de análise 131
3.2.3.4 Carta de controle diária para valores individuais 132
3.2.3.5 Histórico mensal – Capacidade do Processo 134
3.2.3.6 Carta de controle mensal com tamanho de amostras variáveis 135
3.2.3.7 Cálculo dos limites de controle 137
3.2.3.8 Fluxograma de atividades 138
3.2.4 Elaboração do Plano de Ação – 5W1H 139

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 143
4.1 DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS 143
4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 144
4.2.1 Análise do Monitoramento da Característica Cloro Residual Livre 157
4.2.2 Análise do Monitoramento da Característica Flúor 161
4.2.3 Análise do Monitoramento da Característica Ph 164
4.2.4 Análise do Monitoramento da Característica Turbidez 167
4.3 ÍNDICES DE CAPACIDADE PARA A PRODUÇÃO DE ÁGUA TRATADA 170
4.3.1 Evolução da capacidade do processo de acordo com a característica Cloro Residual Livre 170
4.3.1.1 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Portaria 171
4.3.1.2 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Companhia de Saneamento 173
4.3.2 Evolução da capacidade do processo de acordo com a característica Flúor 175
4.3.2.1 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Portaria 175
4.3.2.2 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Companhia de Saneamento 178
4.3.3 Evolução da capacidade do processo de acordo com a característica pH 180
4.3.3.1 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Portaria 180
4.3.3.2 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Empresa 182
4.3.4 Evolução da capacidade do processo de acordo com a característica Turbidez 184
4.3.4.1 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Portaria 184
4.3.4.2 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Companhia de Saneamento 186
4.4 OS LIMITES DE CONTROLE 187
4.4.1 Resumo geral dos desvios padrão médio 189

4.5 CLASSIFICAÇÃO GERAL DAS AMOSTRAS ANALISADAS NO ANO DE 2006 191

5 CONCLUSÃO 195
5.1 RECOMENDACÕES PARA FUTURAS PESQUISAS 198
REFERÊNCIAS 199
APÊNDICES 202
ANEXOS 239

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Histograma para a média de flúor encontrado nas amostras do mês 05/2006 34
Figura 2.2 - Gráfico de Pareto para ocorrências de não conformidade bacteriológica da água coletada 35
Figura 2.3 - Diagrama de causa e efeito para ocorrência de não conformidade bacteriológica 36
Figura 2.4 - Carta de controle 38
Figura 2.5 - Carta de controle para a média de flúor encontrado nas análises das amostras coletadas no mês 05/2006 40
Figura 2.6 - Limites de controle, limites de especificação e limites naturas de controle 42
Figura 2.7 - Curva característica de operação a carta de controle $\bar{x}$ 63
Figura 2.8 - Curva característica de operação para a carta $\bar{x}$ com limite de 3 sigmas 67
Figura 2.9 - Curva característica de operação para a carta R com limite 3 sigmas 69
Figura 2.10 - Curva característica de operação para a carta de controle para a fração não-conforme com $\bar{p} = 0{,}20$, LIC=0,0303 e LSC=0,3697 72
Figura 2.11 - CCO de uma carta C, com LIC=6,48 e LSC= 33,22 74
Figura 2.12 - Dois processos com $Cpk = 1{,}0$ 78
Figura 2.13 - Etapas do tratamento de água convencionalmente adotado pela Sanepar 102
Figura 3.1 - Tela inicial do programa MD Cloro Residual Livre 130
Figura 3.2 - Tela do cronograma de análise 131
Figura 3.3 - Tela da carta de controle para medidas individuais (11/01/06) 132
Figura 3.4 - Tela da carta de controle para medidas individuais (05/01/06) 133
Figura 3.5 - Tela do histórico mensal da capacidade do processo 134
Figura 3.6 - Tela da carta de controle para médias com tamanho variável de amostra 136
Figura 3.7 - Tela da planilha cálculo dos limites de controle 137
Figura 4.1 - Carta de controle para medidas individuais da característica Cloro Residual Livre - 08/04/06 145
Figura 4.2 - Carta de controle para medidas individuais da característica Flúor 22/04/06 146
Figura 4.3 - Carta de controle para medidas individuais da característica pH 24/07/06 147
Figura 4.4 - Carta de controle para medidas individuais da característica Turbidez - 12/07/06 148

Figura 4.5 - Carta de controle para médias diárias com tamanho variável de amostras para a característica Cloro Residual Livre – abril/06..... 149
Figura 4.6 - Carta de controle para médias diárias com tamanho variável de amostras para a característica Flúor – abril/06 151
Figura 4.7 - Carta de controle para médias diárias com tamanho variável de amostras para a característica pH – julho/06 153
Figura 4.8 - Carta de controle para médias diárias com tamanho variável de amostras para a característica Turbidez – julho/06 155

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica Cloro Residual Livre de acordo com as especificações da Portaria – 2006 171
Gráfico 4.2 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica Cloro Residual Livre de acordo com as especificações da empresa – 2006 174
Gráfico 4.3 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica Flúor de acordo com as especificações da Portaria – 2006 176
Gráfico 4.4 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica Flúor de acordo com as especificações da empresa - 2006..... 178
Gráfico 4.5 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica pH de acordo com as especificações da Portaria – 2006 181
Gráfico 4.6 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica pH de acordo com as especificações da empresa 183
Gráfico 4.7 - Evolução do índice de capacidade *Cpk* mensal para a característica turbidez de acordo com as especificações da Portaria 185
Gráfico 4.8 - Evolução do índice de capacidade *Cpk* mensal para a característica turbidez de acordo com as especificações da empresa – 2006 187

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Definições de qualidade 10
Quadro 2.2 - As dimensões da qualidade 13
Quadro 2.3 - Vantagens aa implantação da Gestão da Qualidade Total (GQT) 23
Quadro 2.4 - Vencedores do Prêmio Nacional da Qualidade no Brasil – 1992 a 2005 25
Quadro 2.5 - O método 5W1H aplicado ou fluxo da atividade 82
Quadro 2.6 - Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano 105
Quadro 2.7 - Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção 106
Quadro 2.8 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde 106
Quadro 2.9 - Padrão de radioatividade para água potável 108
Quadro 2.10 -Padrão de aceitação para consumo humano 108
Quadro 2.11 -Número mínimo de amostras para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial 110
Quadro 2.12 -Freqüência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial 111
Quadro 2.13 -Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida 111
Quadro 2.14 -Número mínimo de amostras e freqüência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem 112
Quadro 3.1 - Procedimentos e responsabilidades para implantação e análise dos Gráficos de Controle para as características de qualidade da água potável (Método 5W1H) 141
Quadro 4.1 - Classificação geral das amostras coletadas em 2006 192
Quadro 4.2 - Quantidade de amostras que excederam os limites de especificação da Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 193

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Cálculos para a construção da CCO para uma carta de controle para a fração não-conforme com n=50, LIC=0,0303 e LSC=0,3697 71
Tabela 2.2 - Cálculos da CCO para a carta C com LSC=33,22 e LIC=6,48 74
Tabela 2.3 - Dois processos A e B com *Cpk* =1 79
Tabela 2.4 - Doenças mais comuns por transmissão hídrica 85
Tabela 3.1 - Coordenações, Processos e Produtos x Serviços 119
Tabela 3.2 - Histórico da Busca da Excelência 123
Tabela 3.3 - População abastecida 125
Tabela 3.4 - Plano de Controle Analítico da Unidade de Produção de Campo Mourão 126
Tabela 3.5 - Limites de Especificação para as características da água tratada estabelecido pela Portaria 128
Tabela 3.6 - Limites de especificação para as características da água tratada estabelecidos pela Empresa 128
Tabela 4.1 - Especificações da água tratada para a característica cloro residual livre 158
Tabela 4.2 - Número de amostras fora de controle de acordo com a característica Cloro Residual Livre 159
Tabela 4.3 - Número de amostras que ultrapassam LSC, LIC, LSE, LIE e faixa superior e inferior de operação 160
Tabela 4.4 - Especificações da água tratada para a característica Flúor 161
Tabela 4.5 - Número de amostras fora de controle de acordo com a característica Flúor 162
Tabela 4.6 - Número de amostras que ultrapassam LSC, LIC, LSE, LIE e faixa superior e inferior de operação 163
Tabela 4.7 - Especificações da água tratada para a característica pH 165
Tabela 4.8 - Número de amostras fora de controle de acordo com a característica pH 165
Tabela 4.9 - Número de amostras que ultrapassam LSC, LIC, LSE, LIE e faixa superior e inferior de operação 166
Tabela 4.10 - Especificações da água tratada para a característica turbidez 167
Tabela 4.11 - Número de amostras fora de controle de acordo com a característica turbidez 168
Tabela 4.12 - Número de amostras que ultrapassam LSC, LIC, LSE, LIE e faixa superior e inferior de operação 169
Tabela 4.13 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica cloro residual livre de acordo com as especificações da portaria – 2006 171

Tabela 4.14 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica Cloro Residual Livre de acordo com as especificações da empresa – 2006 173
Tabela 4.15 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica flúor de acordo com as especificações da Portaria – 2006 175
Tabela 4.16 - Valor médio das especificações da portaria e da empresa 177
Tabela 4.17 - Média e desvio padrão do processo de produção da água tratada de acordo a característica Flúor – 2006 177
Tabela 4.18 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica Flúor de acordo com as especificações da empresa – 2006 178
Tabela 4.19 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica pH de acordo com as especificações da Portaria – 2006 180
Tabela 4.20 - Valor médio das especificações da portaria e da empresa 181
Tabela 4.21 - Média do processo de produção da água tratada de acordo com a característica pH – 2006 182
Tabela 4.22 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica pH de acordo com as especificações da empresa 182
Tabela 4.23 - Histórico mensal do índice de capacidade *Cpk* para a característica turbidez de acordo com as especificações da Portaria – 2006 184
Tabela 4.24 - Média do processo de produção da água tratada de acordo a característica turbidez – 2006 186
Tabela 4.25 - Histórico mensal do índice de capacidade *Cpk* para o turbidez de acordo com as especificações da empresa 186
Tabela 4.26 - Limites de controle para a característica Cloro Residual Livre – 2006 188
Tabela 4.27 - Limites de controle para a característica Flúor – 2006 188
Tabela 4.28 - Limites de controle para a característica pH – 2006 189
Tabela 4.29 - Limites de controle para a característica Turbidez – 2006 189
Tabela 4.30 - Desvio padrão médio - Cloro Residual Livre 190
Tabela 4.31 - Desvio padrão médio – Flúor 190
Tabela 4.32 - Desvio padrão médio – pH 191
Tabela 4.33 - Desvio padrão médio – Turbidez 191

RESUMO

Diante de um mercado cada vez mais competitivo o consumidor passou a ser mais exigente e crítico em relação à aquisição de produtos e serviços. Desta forma, algumas companhias de saneamento, embora em alguns casos tenham o monopólio da produção de água potável, estão interessadas em utilizar métodos já comprovados na indústria, para proporcionar ao consumidor um produto com a mais alta qualidade. Neste contexto, este trabalho visa o emprego de algumas ferramentas estatísticas, denominadas de Controle Estatístico de Processos (CEP), tais como cartas de controle e índices de capacidade (Cp, Cpk e Cpkm) na Estação de Tratamento de Água (ETA) da Companhia de Saneamento do Paraná – Unidade de Campo Mourão, a fim de verificar se o processo de produção da água para consumo humano no período de 01/01/06 a 31/12/06, esteve em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, por meio da Portaria n° 518 de 25 de março de 2004 e também estabelecidos pela própria Companhia de Saneamento. Tal monitoramento do processo/produto é essencial por gerar vantagens para a Companhia, pois passa a considerar os limites de controle e os índices de capacidade calculados estatisticamente, além dos especificados pela Portaria. E por meio dos resultados obtidos a Companhia poderá estabelecer ações, sejam elas preventivas ou corretivas para melhorar o processo de tratamento da água. É necessário ressaltar, que o CEP é apenas uma ferramenta da Gestão da Qualidade, a qual dá subsídio para a tomada de decisões, visando melhoria contínua. Além disso, vale observar que este trabalho foi apenas o início da implantação de algumas destas ferramentas e, para a sua consolidação, há a necessidade da continuidade do uso destas técnicas, com a finalidade de que as metas de melhoria sejam atingidas pela Companhia de Saneamento, objeto de estudo.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processos, Companhia de Saneamento, Monitoramento do Processo.

ABSTRACT

Facing a highly competitive market the consumer is becoming more demanding in respect to services and products. Even for some kinds of service still restrict to almost just public companies in Brazil, such as water supply and sewage treatment, there is lot of pressure for the application of methods that may assure a better quality final product. Some well succeeded and broadly user similar control systems in the industry brought this idea to several other activities. In this scenario, the present work aimed to put into practice statistical tools and indexes called Statistical Process Control, such as control charts and capacity numbers (Cp, Cpk, Cpkm). They were tested at Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná) – Campo Mourão Water Treatment Plant, to check the potable water production during the period from January 1st to December 31st , 2006. The main objective was to know whether the water supplied to the population fits the standards set by the Ministry of Health (Portaria 518 – March 25, 2004) and by the Company also. This control system is considered of interest because the company can in a regular basis, take into account capacity indexes statistically computed, that go beyond the federal recommendations. And through the obtained results the Company can establish actions, be them preventive or corrective to improve the process of treatment of the water. It is important to emphasize that the Statistical Process Control is just a tool to obtain adequate data and orient decisions to be made, towards continuous improvement and better services and products. The present work was meant to be just the first step, helping to implement and test such a monitoring system, that should be applied, improved and maintained from now on in order to become really useful for Sanepar, either in Campo Mourão or anywhere else along time.

Key-words: Statistic Process Control, Water Treatment Plant, Process Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA

O ambiente em que as empresas estão inseridas está-se modificando continuamente. Acompanhando no tempo a direção das mudanças, verifica-se claramente que a competição tende a ficar cada vez mais acirrada.

Antigamente as empresas não necessitavam do aprimoramento contínuo da eficiência, pois o mercado, menos competitivo, absorvia as ineficiências e suportava preços razoavelmente altos. Neste contexto, segundo BORNIA (2002, p. 08) uma das principais preocupações das empresas, atualmente, é a busca incessante para melhoria da eficiência e da produtividade. Um meio para obter este alvo é evitar ao máximo a ineficiência decorrente de má-qualidade e o trabalho improdutivo. É preciso que as atividades que não colaborem efetivamente para a agregação de valor ao produto sejam reduzidas sistemática e continuamente, da mesma maneira que não se pode tolerar qualquer tipo de desperdício no processo produtivo.

Dessa forma, as empresas precisam concentrar esforços na busca constante de seu aprimoramento, não apenas com inovações tecnológicas, mas também com a eliminação de desperdícios existentes no processo, almejando sempre a disponibilização ao consumidor de produtos com qualidade.

Qualidade sempre foi parte integrante de praticamente todos os produtos e serviços. No entanto, a conscientização de sua importância e a introdução de métodos formais para o controle e melhoria da qualidade têm tido um desenvolvimento evolutivo. Tal afirmação pode ser confirmada segundo CROSBY (1990, p. 177), que há alguns anos atrás já estabeleceu a seguinte informação:

> Vivemos numa economia mundial e, no futuro, a qualidade não será apenas algo bonito de se ter. Será o preço necessário de admissão ao mercado. Os clientes já não precisarão pressionar para receber o que pediram. Considerarão isso um direito seu. Assim sendo, as empresas que têm ocupado o tempo aperfeiçoando a arte de explicar porque as coisas não estão nunca de acordo com o prometido, não terão futuro.

Sendo assim, a qualidade da água para consumo humano é uma questão extremamente importante e além do que é considerada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) um dos principais assuntos de saúde pública, uma vez que a água de má qualidade gera altos índices de doenças infecciosas.

O tratamento da água destinado ao consumo humano está tornando-se indispensável em função da intensificação da contaminação dos mananciais, causado na maioria das vezes pela industrialização e pelo o aumento populacional dos centros urbanos. Apesar de os mananciais superficiais estarem mais sujeitos à poluição e contaminação, também tem sido observado a deterioração da qualidade das águas subterrâneas, o que acarreta sérios problemas de saúde pública em localidade que carecem do tratamento e de sistema de distribuição de água adequado.

Em virtude desses fatos, o abastecimento de água potável requer um conjunto de esforços e cuidados, que vão desde a qualidade do manancial, o tipo de tratamento utilizado e a forma de distribuição da água tratada para a população. É possível notar que vários fatores podem influenciar na qualidade da água distribuída a população, como por exemplo a escassez da água gerada muitas vezes pela má qualidade da água disponível, sobretudo nas grandes cidades onde a poluição compromete os mananciais e acarreta inúmeros problemas.

Neste contexto, o monitoramento das características Cloro Residual Livre, Flúor, pH e Turbidez determinam à qualidade do produto ofertado à população. Considerando como exemplo o cloro, sua aplicação é realizada como meio de desinfecção, pois reduz consideravelmente a incidência de doenças infecciosas a um custo relativamente baixo. Apesar de todos os benefícios provenientes de sua aplicação, o uso deste produto deve ser feito de maneira controlada, atendendo às exigências da OMS que estabelece dosagens adequadas, não oferecendo riscos a saúde humana. Do mesmo modo deve ocorrer a aplicação controlada do flúor, produto químico utilizado para evitar a incidência de cárie dentária, uma vez que o excesso deste produto pode acarretar uma doença denominada fluorose, cujos principais problemas são as manchas nos dentes e a descalcificação dos ossos.

Desta forma, é notável que a qualidade tornou-se um dos fatores de extrema importância na tomada de decisão dos consumidores na escolha de determinado produto e serviços. Portanto, o uso de métodos estatísticos e outras técnicas de resolução de problemas para melhorar a qualidade dos produtos usados pela sociedade, aplicam-se a qualquer área de uma empresa, incluindo manufatura, desenvolvimento de processo, planejamento de engenharia, finanças, marketing e assistência técnica a produtos (MONTGOMERY, 2004, p. 01).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar uma análise da qualidade da água distribuída à população da cidade de Campo Mourão - PR, pela Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar no ano de 2006 e, além disso, avaliar o desempenho do processo de produção por meio da utilização de ferramentas estatísticas úteis na análise de problemas de qualidade e na melhoria do desempenho de processos de produção, tal qual: Controle Estatístico de Processo (CEP).

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Apresentar as fases que compõem o sistema de abastecimento público;
- Apresentar os parâmetros/características da água que devem ser controlados por meio de análises laboratoriais, nos termos da Portaria 518, de 25 de março de 2004, estabelecida pelo Ministério da Saúde, tais como: turbidez, pH, cor, cloro residual livre, flúor, coliformes totais, coliformes termotolerantes, dentre outros;

- Interpretar os dados gerados pelo responsável pela operação do sistema de controle de qualidade da companhia, em relação às características da água, sob a perspectiva da vulnerabilidade do abastecimento da água quanto aos riscos à saúde da população;

- Definir dimensões da qualidade da água distribuída por meio da aplicação de técnicas estatísticas do controle estatístico do processo;

- Avaliar a capacidade do processo em manter a qualidade da água dentro dos limites de especificação estabelecidos pelo Ministério da Saúde e estabelecidos pela própria Companhia de Saneamento do Paraná.

1.3 JUSTIFICATIVA

É crescente a preocupação do setor de saneamento em atender as expectativas de seus clientes, acionistas e colaboradores. Para tanto, fazem-se necessárias constantes transformações que visem o desenvolvimento de suas atividades de saneamento, a conservação ambiental e que contribuam para a melhoria da qualidade de vida da população.

Sendo assim, para conseguir ter sucesso neste mercado, é preciso dentre muitos fatores, que a companhia de saneamento se preocupe em melhorar constantemente os processos que geram impactos ambientais significativos, prevenir e reduzir os riscos e danos ambientais, atender à legislação ambiental aplicável em suas atividades, estabelecer, revisar e acompanhar os objetivos e metas ambientais, promover a comunicação com as partes interessadas e disseminar ações para educação ambiental.

Além disso, é primordial que este setor agregue aos seus princípios uma política que atenda os padrões mínimos de qualidade, estejam voltados para a melhoria constante dos processos, cumprimento das normas e disposições legais, promoção do autodesenvolvimento, competitividade da empresa no mercado e que atendam a programas de responsabilidade social e ainda tenham uma atuação ambiental

responsável. Com esta abordagem, o resultado de uma investigação a respeito da qualidade da água por meio do Controle Estatístico de Processo, método estatístico já reconhecido no mercado, servirá como uma ferramenta na obtenção do sucesso do trabalho realizado pela Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

A Sanepar tem grande preocupação com a qualidade dos recursos oferecidos à população, apesar de atender a maioria dos municípios do Estado do Paraná, ou seja, dos 399 municípios existentes no Estado, atende 342 municípios com o abastecimento de água tratada, coleta e tratamento de esgoto sanitário. Dos 57 municípios restantes, 56 são atendidos por autarquias municipais, e apenas um, Paranaguá, é atendido pela iniciativa privada.

1.4 ESTRUTURA

Além da introdução, esta dissertação consta de mais três capítulos. O capítulo dois destina-se a apresentação do referencial teórico, onde são abordados os principais conceitos de Controle Estatísticos do Processo e uma fundamentação teórica acerca da água utilizada para consumo humano. No capítulo três, são apresentados os materiais e métodos usados na elaboração da dissertação, bem como uma abordagem histórica referente à implantação da Companhia de Saneamento – Sanepar no Estado do Paraná e sua preocupação com a qualidade da água distribuída para consumo humano. Neste contexto, é feita uma implementação de CEP, abordando a aplicação das técnicas do Controle Estatístico de Qualidade.

O capítulo quatro é destinado à discussão do resultado obtido através da aplicação do instrumento de pesquisa. Além disso, são feitas algumas generalizações referentes à capacidade do processo de tratamento de água tratada em atender as especificações vigentes, e também uma análise referente à qualidade do produto. Finalizando, é apresentada a conclusão com algumas recomendações para futuras pesquisas.

1.5 CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO SANEPAR

A Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar - foi criada no dia 23 de janeiro de 1963 para cuidar das ações de saneamento básico em todo o Estado do Paraná. Ela é uma empresa estatal, de economia mista, cujo maior acionista é o governo do Estado, com 60% das ações. A Sanepar tem como parceiro estratégico o Grupo Dominó, formado pelas empresas Vivendi, Andrade Gutierrez, *Opportunity* e Copel, que, juntas, detêm 39,7% das ações. O estado do Paraná tinha um baixo índice de atendimento à população com água tratada e esgoto quando a Sanepar foi criada. Apenas 8,3% da população recebia água tratada e 4,1% tinha rede de esgoto. Das 221 sedes municipais existentes na época, 19 possuíam os serviços de água e esgoto e 37 recebiam somente água tratada. Trinta e quatro anos depois, em setembro de 1997, a Sanepar foi a primeira empresa de saneamento da América Latina a obter o certificado ISO 9002 para um sistema produtor de água: o Sistema Itaqui - Campo Largo, em função da política de qualidade adotada.

A Sanepar foi também a primeira empresa de saneamento das Américas a receber a certificação pelas normas da ISO (*International Standardization Organization)* 14001 para um sistema completo de água e esgoto, em novembro de 1999. O certificado é considerado um dos mais importantes e de maior reconhecimento em todo o mundo na área do meio ambiente e atesta que o sistema de Foz do Iguaçu é operado de forma ambientalmente responsável, desde a captação da água para tratamento até a destinação final do esgoto. A auditoria para indicação do ISO 14001 foi feita pela empresa americana *ABS Quality Evaluations*.

A Companhia de Saneamento do Paraná é hoje considerada como referência na América Latina, presta serviços de consultoria e promove intercâmbios e parcerias com outras companhias de saneamento. A Sanepar tem uma estreita relação com universidades e instituições científicas e desenvolve trabalhos que projetam seu domínio tecnológico e gerencial no Brasil e no exterior.

A Sanepar tem atualmente um foco social, e vai além da mera prestação de serviços públicos. Concentrando esforços na transmissão de informações, na educação e na conservação ambiental, presta serviços de abastecimento de água e de

esgotamento sanitário em 342 dos 399 municípios do Estado do Paraná, atendendo com água tratada aproximadamente 8,1 milhões de pessoas, cobrindo 98,63% da população urbana e, com serviços de esgoto sanitário 3,9 milhões de pessoas, cobrindo 47,1% da população urbana. Há 43 anos, a Companhia é a principal prestadora desses serviços no Estado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O setor de serviços, em geral, tem contato direto com o cliente que demanda o serviço. Mas, num ambiente de competitividade, as empresas do setor necessitam conhecer o perfil do consumidor: mais exigente, mais crítico, mais consciente de seus direitos e mais cioso do valor de seu dinheiro. O cliente de hoje sabe analisar a relação custo-benefício dos serviços que utiliza, mostrando ser seletivo em suas compras e exigindo qualidade. É por isso que a organização que não oferece qualidade compromete sua própria existência.

A qualidade deixou de ser uma opção e passou a ser uma obrigação e uma necessidade para todas as organizações, pois é extraordinário o aumento do número dos produtos, de bens e serviços, o conhecimento científico, a tecnologia e o nível de exigência dos consumidores. Dessa forma, surge a necessidade de buscar e de garantir a qualidade de forma planejada e em conformidade com o atual ambiente de mercado competitivo.

Na atualidade, qualidade tornou-se sinônimo de competitividade, pois os clientes procuram adquirir produtos ou serviços com características que atendam às suas necessidades de um modo geral, não deixando de lado o fator "preço acessível". Nesse contexto, FEIGENBAUM (1994, p.13) aborda a relação qualidade e competitividade de uma forma mais concisa:

> O modo de vida dos consumidores e a eficiência das empresas em negócios agora dependem do desempenho, confiável e consistente, de produtos e serviços, sem haver tolerância para perda de tempo e custos de falhas, sendo que, qualidade tornou-se estratégia básica para a atual competitividade.

Além disso, qualidade passou a ser o agente de mudança corporativa mais importante de nossa época e é, certamente, o mais importante desafio gerencial a ser enfrentado por muitas empresas.

2.1 CONCEITOS DE QUALIDADE

A qualidade vem sendo praticada desde o início da era industrial mesmo que somente como forma de conferir o trabalho artesão. Nas últimas décadas o conceito de qualidade vem sendo alterado, devido a competitividade entre as empresas e, mais recentemente, devido à globalização econômica, que faz com que o enfoque da qualidade passe a ser regido pelos clientes, ao invés daqueles que produzem, provocando mudanças em seu conceito.

É necessário observar que o termo qualidade não possui um conceito único. Segundo MONTGOMERY (2004, p.01), é possível definir qualidade de várias maneiras. A maioria das pessoas tem uma compreensão conceitual de qualidade como de algo relacionado a uma ou mais características desejáveis para um produto ou serviço. Embora essa compreensão conceitual seja um bom ponto de partida, uma definição segundo a Engenharia da Qualidade é que qualidade é uma característica de um processo de produção e assim deve ser medida pela proporção de bens (e serviços) produzidos que atingem as propriedades especificadas pelo projeto. Ou ainda, qualidade é função da proporção de bens (e serviços) defeituosos oriundos daquele processo de produção.

Nos últimos anos, vários autores têm definido o que significa qualidade. De acordo com MIGUEL (2001, p. 19) as definições são baseadas principalmente na abordagem do produto, na sua conformidade e, também, no cliente. Isto é mostrado a seguir, sob a perspectiva de vários autores:

Quadro 2.1 - Definições de qualidade

Enfoque	Autor	Conceito da Qualidade
Cliente	Juran	A qualidade consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes e, dessa forma, proporcionam a satisfação em relação ao produto.
	Deming	A qualidade é a perseguição às necessidades dos clientes e homogeneidade dos resultados do processo. A qualidade deve visar às necessidades do usuário, presentes e futuras.
	Feigenbaum	Qualidade é a combinação das características de produtos e serviços referentes a marketing, engenharia, fabricação e manutenção, através das quais o produto ou serviço em uso corresponderão às expectativas do cliente.
Conformidade	Crosby	Qualidade significa conformidade com as exigências, ou seja, cumprimento dos requisitos.
Produto	Abbot	As diferenças de qualidade correspondem a diferenças na quantidade de atributos desejadas em um produto ou serviço.

FONTE: MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: Enfoques e Ferramentas**. São Paulo: Artliber, 2001, p.19.

Uma empresa que implanta um programa de qualidade temporário, por meio de campanhas, reuniões com empregados, slogans, seminários, pouco pode fazer para melhorar a qualidade do produto ou serviço prestado. A qualidade só ocorre se houver comprometimento por parte de toda a empresa e não de esforços isolados de pessoas, departamentos ou divisões.

Para enfatizar a afirmação anterior, WILLIAMS (1995, p. 21) argumenta:

> A qualidade não é temporária e nem obra do acaso. [...] A qualidade é produto de uma cultura organizacional que orienta a melhoria contínua e a preocupação de produzir mercadorias e serviços de alta qualidade. Se os empregados acreditam que o programa da gerência é passageiro, eles o tratarão como tal. Depois de "instalado" um programa passageiro, a qualidade do produto pode até alcançar uma certa melhoria, mas ele não permanecerá nesse novo nível e certamente essa melhoria não irá além daquele ponto.

Portanto, a obtenção e a manutenção de níveis aceitáveis de satisfação do consumidor com a qualidade de produtos e serviços são, atualmente, determinantes fundamentais para a saúde, o crescimento e a viabilidade econômica dos negócios.

2.1.1 Dimensão da Qualidade

Como mencionado anteriormente (item 2.1), existem vários pontos de vista diferenciados do que significa qualidade. Seu conceito a princípio parece ser facilmente compreendido, mas na realidade é difícil defini-la. Para melhor entendimento da idéia de qualidade é necessário pensar que sua definição não parte de um conceito isolado, mas sim de um conjunto de técnicas e metodologias que se misturam.

A fim de chegar a um melhor entendimento são apresentadas, aqui sete dimensões abordadas por MIGUEL (2001, p.20) adaptadas da definição apresentada por um pesquisador conceituado de *Harward*, nos Estados Unidos, David Garvin. Essas dimensões são:

- Dimensão 1: Características/Especificações

Essa dimensão refere-se às características ou especificações que diferenciem um produto em relação aos seus concorrentes. Podem ser especificações de engenharia que envolva, por exemplo, o uso de alta tecnologia, ou características complementares que superem as funções básicas (características básicas) do produto.

- Dimensão 2: Desempenho

Para melhor compreensão desta dimensão de qualidade são apresentados exemplos de características de desempenho de dois produtos diferentes, automóvel e televisor. No caso de um automóvel, a dimensão desempenho pode ser entendida como as características de aceleração, retomada, estilo, acabamento, conforto, etc. No caso de um televisor, as características que se enquadram na dimensão desempenho são, por exemplo, qualidade de som, nitidez de imagem, entre outras. Portanto, o desempenho é uma dimensão de qualidade que pode ser definida como o aspecto operacional básico de qualquer produto.

- Dimensão 3: Conformidade

A dimensão conformidade reflete a visão mais tradicional da qualidade, isto é, o grau em que um produto está de acordo com as especificações (padrões) incluindo características operacionais. Existem duas abordagens distintas na dimensão conformidade. A primeira abordagem refere-se ao pensamento norte-americano, que associa a conformidade ao cumprimento de especificações. E, como todo produto envolve algum tipo de especificação, conseqüentemente, essa visão está associada a técnica de controle de processo. A segunda abordagem, está associada a industria japonesa e aos trabalhos de Genichi Taguchi[1]. Essa abordagem parte da idéia da "Função Perda", que objetiva medir a falta de qualidade em função das perdas que o produto pode provocar a partir do momento em que ele sai da empresa. Tais perdas incluem custos e freqüência de reparos na garantia, clientes insatisfeitos e outros problemas decorrentes de falhas de desempenho.

- Dimensão 4: Confiabilidade

Essa dimensão da qualidade está associada ao grau de isenção de falhas de um produto. Ou seja, a confiabilidade é a probabilidade de que um item possa desempenhar sem falhas sua função requerida por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso. A crescente importância dessa dimensão é atribuída ao sucesso da indústria japonesa, cuja superioridade nessa dimensão é bastante significativa, como por exemplo, na produção de câmeras fotográficas, produtos eletrônicos, máquinas, ferramentas, robôs industriais, dentre outros bens duráveis.

- Dimensão 5: Durabilidade

A durabilidade consiste numa medida da vida útil de um produto, analisada tanto por aspectos técnicos quanto econômicos. Tecnicamente, a durabilidade está relacionada com a quantidade de tempo de uso que pode ser obtida de um produto, antes deste deteriorar-se fisicamente.

---

[1] Engenheiro japonês responsável pela introdução na Engenharia da Qualidade de algumas técnicas que contribuíram para o aperfeiçoamento desta Ciência. Genichi Taguchi foi o criador do chamado Projeto Robusto, que é um método de engenharia que usa as técnicas estatísticas de Planejamento de Experimentos.

- Dimensão 6: Imagem

A definição dessa dimensão partiu da junção de duas outras: Estética e Qualidade Observada. Entende-se que essas duas dimensões, Estética e Qualidade Observada, refletem uma imagem imediata e outra ao longo do tempo, respectivamente. Uma imagem direta refere-se ao grau que um produto provoca de reação inicial positiva ou negativa no mercado ao qual se destina. É estritamente relacionada ao cliente e realmente reflete preferências individuais.

- Dimensão 7: Atendimento ao cliente

O atendimento ao cliente objetiva assegurar a continuidade dos serviços (além das funções) oferecidos pelo produto após a sua venda, podendo ser, em certos casos, considerado como sinônimo de Assistência Técnica. A organização deve disponibilizar canais de acesso aos clientes, para que possam solicitar assistência, comunicar suas sugestões ou reclamações, ou mesmo adquirir produtos.

GARVIN[2] (1988) apud MIGUEL (2001, p.30) mostra um resumo das dimensões da qualidade.

Quadro 2.2 - As dimensões da qualidade

Dimensão	**Descrição**
Características	Atributos dos produtos
Desempenho	Características operacionais básicas de um produto
Confiabilidade	Probabilidade de ocorrência de falhas
Conformidade	Grau de concordância com as especificações
Durabilidade	Medida da vida útil do produto
Estética	Reação inicial positiva ou negativa
Qualidade Observada	Percepção do cliente sobre o produto
Atendimento ao Cliente	Apoio ao cliente, continuidade do uso do produto

FONTE: MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: Enfoques e Ferramentas**. São Paulo: Artliber, 2001, p.19.

[2] GARVIN, D. *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*. New York: The Free Press, 1988.

2.1.2 Desenvolvimento Histórico da Qualidade

Há poucas décadas, a qualidade deixou de incorporar somente aspectos de inspeção de produtos dentro das empresas, mas agregou funções que vão desde engenharia até marketing. Assim, o conceito de qualidade passou formalmente para a função de gerenciamento.

Muitos fatos enfatizaram o desenvolvimento da qualidade na sociedade. Segundo MIGUEL (2001, p. 33), a ordem cronológica recapitula os principais eventos no desenvolvimento histórico da qualidade ao longo do século XX e alguns dos principais eventos foram:

- 1917: Publicação do primeiro artigo sobre qualidade *The Control of Quality, Engineering Magazine*, por G. S. Radford P., em outubro.

- 1922: Publicação do primeiro livro sobre qualidade *The Control of Quality in Manufacturing*, Ronald Press, New York, por G. S. Radford P.

- 1924: O matemático Walter A. Shewhart introduz o conceito de Controle Estatístico da Qualidade (*Statistical Quality Control*).

- 1931: Publicação do livro de Walter A. Shewhart: Economic Control of *Quality of Manufactured Product*, D. Van Nostrand Company, New York.

- 1943: O Diagrama de Causa e Efeito (Espinha de Peixe) é introduzido por Ishikawa.

- 1946: A ASQS (*Americam Society for Quality Control*) é fundada – hoje denominada ASQ (*American Society for Quality*).

- 1950: Deming é convidado pela JUSE (*Japonese Union of Scientists and Engineers* – União Japonesa de Cientistas e Engenheiros) para ministrar palestras no Japão.

- 1951: Publicação do livro de Joseph M. Juran, *Quality Control Handbook*, que logo se tornaria um trabalho de referência internacional.

- 1955: A técnica de Planejamento de Experimentos (Design of Experiments) é introduzida.

- 1956: Publicação do artigo de Armand V. Feigenbaum, *Total Quality Control*, pela *Harvard Business Review*.

- 1957: Publicação do relatório *Reliability of Military Electronic Equipament*, relatório do grupo de consultores sobre confiabilidade de equipamentos eletrônicos.

- 1961: O livro *Total Quality Engineering and Management* de Armand V. Feigenbaum é publicado.

- 1961-62: Desenvolvimento do primeiro programa de Zero Defeitos na *Martin Company*, EUA.

- 1962: O primeiro Círculo de Controle da Qualidade (CCQ) é registrado no Japão, e é realizada a primeira conferência sobre o tema para encarregados em empresas japonesas.

- 1968: O CWQC (*Company – wide Quality Control* – Controle da Qualidade por Toda Empresa) é introduzido no Japão.

- 1970: É criada a *Japanese Society fo Quality Control* (Sociedade Japonesa para Controle da Qualidade).

- 1972: Os estaleiros da Mitsubishi em Kobe no Japão, implantam a metodologia de QFD (*Quality Function Deployment* - Desdobramento da Função Qualidade).

- 1979: A marca de cem mil Círculos de Controle da Qualidade é alcançada no Japão.

- 1979: Publicação da norma britânica BS 5750: *Part 1, 2 and 3* pelo *British Standards Commitee* (BSI).

- 1979: Publicação do livro de Philip Crosby *Quality is Free*, Mentor/ New American Library, New York.

- 1986: O conceito de TQM (*Total Quality Management* – Gestão da Qualidade Total) é introduzido.

- 1987: Publicação das normas da série ISO 9000 pela *International Standardization Organization.*

- 1994: Publicação da primeira versão da QS 9000, documento elaborado pelos três grandes fabricantes automotivos dos EUA (Chrysler, Ford e General Motors). Versões revisadas surgem posteriormente em 1995 e 1998.

- 1996: Publicação das normas da série ISO 14000 pela *International Standardization Organization.*

- 2000: Publicação da revista da série ISO 9000 que traz alterações substanciais em relação à versão de 1994.

De acordo com as etapas mostradas anteriormente, o desenvolvimento histórico pode ser dividido em quatro fases distintas: Inspeção, Controle Estatístico da Qualidade, Qualidade Assegurada e Gestão da Qualidade.

Neste contexto, a preocupação com a qualidade iniciou-se em 1917, marcada pela publicação do primeiro artigo sobre qualidade. Os primeiros grupos relacionados à qualidade nas empresas eram integrantes dos Departamentos de Inspeção. Por volta de 1940, os grupos de inspeção transformaram-se em Departamentos de Controle de Qualidade, onde a qualidade definida como conformidade às especificações era controlada em todos os estágios da produção. A partir da década de 50, o Controle da Qualidade evoluiu para o que foi denominado Qualidade Assegurada, com o objetivo de garantir a qualidade do produto e do processo através de auditorias, treinamento, análises técnicas, incentivando e pressionando as áreas operacionais com relação à melhoria da qualidade. Mais tarde, por volta de 1986, passaram a ser utilizadas as ferramentas e técnicas da Gestão de Qualidade Total nas empresas.

2.1.3 Gestão da Qualidade Total (GQT)

TQM é uma sigla que significa *Total Quality Management*. E em português significa, Gestão da Qualidade Total (GQT). Em qualquer organização atualmente, a Gestão da Qualidade Total é tema obrigatório na indústria e nos negócios.

Segundo MIGUEL (2001, p.153) o conceito de Gestão da Qualidade Total é entendido como:

> [...] uma série de ações que uma empresa deve realizar para alcançar a melhor qualidade possível e diferenciar-se no mercado. Pode ainda ser definido como um sistema estruturado que visa satisfazer clientes internos e externos, além dos fornecedores, integrando o ambiente de negócios com melhoria contínua, através de ciclos de desenvolvimento, melhoria e manutenção aliados a uma mudança cultural na organização.

FEIGENBAUM (1994, p. 06) a define como:

> Sistema eficiente que visa integrar esforços para desenvolvimento, manutenção e aperfeiçoamento da qualidade, de vários grupos numa organização, de forma a permitir marketing, engenharia, produção e assistência dentro dos níveis mais econômicos e que possibilitem satisfação integral do consumidor.

Sendo assim é possível dizer que a Gestão da Qualidade Total nada mais é do que "[...] uma estratégia para implantação das atividades de melhoria da qualidade em toda organização" (MONTGOMERY, 2004, p. 14).

De acordo com WILLIAMS (1995, p. 33), são três os elementos principais que compõem a TQM:

Ferramentas: são recursos que identificam e melhoram a qualidade;

Técnicas: são as formas de se usar as ferramentas;

Treinamento: é o processo de formação e comunicação que melhora a capacidade do funcionário entender e usar essas ferramentas e técnicas;

A Gestão de Qualidade Total (GQT) é uma criação norte-americana, mas teve a sua origem a partir da criação japonesa denominada "círculos da qualidade". Sua filosofia e seus princípios básicos foram desenvolvidos pelos norte americanos

Shewart, W. Edwards Deming, Juran e outros. A idéia embutida nesses círculos era reunir os trabalhadores em encontros semanais para discutir formas de melhorar o ambiente e a qualidade de seu trabalho. Os trabalhadores eram estimulados a identificar os problemas potenciais da qualidade e, a seguir, discuti-los e apresentar sugestões próprias de soluções (WILLIAMS, 1995, p.07).

Os círculos de qualidade são grupos de estudo para aperfeiçoamento da qualidade e para auto-aperfeiçoamento. O círculo é geralmente composto por operários (não mais do que dez) e por seu supervisor, que funciona como líder. O surgimento dos círculos foi uma conseqüência natural de um processo de educação [...] Uma das principais contribuições dos círculos de qualidade no Japão, foi o de melhorar o conhecimento e as habilidades dos operários e desenvolver o interesse pelo trabalho, fornecendo oportunidades para planejamento e para tomada de decisão que não estão presentes na rotina diária (JURAN; GRYNA, 1991, p. 65).

Esses círculos foram levados para os Estados Unidos em 1970 e nos anos 80 estavam bem difundidos. O incontestável sucesso no Japão fez com que fossem introduzidos nas empresas norte-americanas. Aí, todos esperavam resultados imediatos e em grande escala. No entanto, nos Estados Unidos, seu sucesso foi bastante limitado e, em determinadas situações, seu efeito sobre a qualidade chegou, mesmo, a ser negativo. No final dos anos 80 sua aplicação tornou-se, em grande parte, praticamente esquecida, para depois desaparecer tão rapidamente como surgiu.

De acordo com MONTGOMERY (2004, p. 14) várias razões foram responsáveis pela falta de sucesso do TQM nas empresas norte-americanas, entre elas destacam-se:

> "[...] (1) falta de atuação, compromisso e envolvimento de cima para baixo, da gerência de alto nível; (2) uso inadequado dos métodos estatísticos e reconhecimento insuficiente da redução da variabilidade como objetivo primário; (3) objetivos difusos, em oposição a enfoques específicos; e (4) ênfase excessiva em treinamento em larga escala, em oposição à educação técnica enfocada.

É necessário observar que os "círculos da qualidade" quando usados adequadamente não apenas melhoram a qualidade dos produtos/serviços, mas também

criam um envolvimento e participação do empregado com espírito inovador. Neste contexto, WILLIAMS (1995, p. 08) afirma que "o segredo, entretanto, é que o líder do círculo de qualidade deve usar técnicas para determinar e manter o foco e a direção do grupo, com excepcional experiência e capacidade de interação".

Uma das figuras mais citadas quando se aborda controle da qualidade é o norte-americano W. Edwards Deming (Engenheiro Industrial). Deming reconheceu que os trabalhadores eram as únicas pessoas cuja posição realmente tornava possível o controle do processo da produção. Embora os métodos de melhoria da qualidade fizessem com que Deming se tornasse altamente conceituado, no início dos anos 40 ele era praticamente ignorado pelos líderes da indústria norte-americana. Ao contrário dos norte-americanos, os japoneses rapidamente adotaram os princípios do controle de qualidade de Deming e desenvolveram uma cultura fundamentada na qualidade da produção (WILLIAMS, 1995, p. 09).

Muitas pessoas contribuíram para a metodologia estatística da melhoria da qualidade. Entretanto, em termos de implantação e filosofia de gerenciamento, três pessoas se destacam como líderes: W. E. Deming, J. M. Juran e A. V. Feigenbaum, sendo que os dois primeiros são considerados os responsáveis pelo desenvolvimento do Japão após o período da segunda guerra mundial.

Embora a qualidade seja responsabilidade de todos, Deming enfatizou em sua filosofia que ela deve ser liderada por gerentes. Ele desenvolveu uma lista de 14 pontos, que acreditava serem as responsabilidades chaves dos gerentes. Abaixo um resumo dos princípios de Deming:

1º) Crie uma constância de finalidade focalizada na melhoria de produtos e serviços;

2º) Adote uma nova filosofia de rejeitar acabamento pobre, produtos defeituosos ou serviços ruins;

3º) Não confie na inspeção em massa para controlar a qualidade;

4º) Não faça negócios com fornecedores com base somente no preço, mas também considere a qualidade;

5º) Focalize a melhoria contínua;

6º) Pratique os métodos modernos de treinamento e invista no treinamento para todos os empregados;

7º) Pratique métodos modernos de supervisão;

8º) Expulse o medo;

9º) Quebre as barreiras entre as áreas funcionais do negócio;

10º) Elimine alvos, slogans e objetivos numéricos para a força de trabalho;

11º) Elimine cotas numéricas e padrões de trabalho;

12º) Remova as barreiras que desencorajam os empregados de fazer os seus trabalhos;

13º) Institua um programa continuado de treinamento e de educação para todos os empregados;

14º) Crie uma estrutura na gerência, estrutura esta que defenderá vigorosamente os 13 primeiros pontos.

É possível dizer que qualidade é o resultado da cultura de uma organização e por ela deve ser norteada. E por sua vez, a cultura de uma organização é o conjunto de valores e crenças partilhados por todos os funcionários de uma empresa. Os gerentes e dirigentes são os protagonistas deste processo, pois são eles que expressam os valores e as crenças por meio de suas atitudes e de seu comportamento.

Neste contexto WILLIAMS (1995, p. 29) argumenta que:

> Com o passar do tempo, a maioria dos membros da empresa adota as atitudes e passa a reproduzir os comportamentos de gerentes e dirigentes, especialmente quando se trata de fabricar produtos de qualidade [...] para que a TQM (*Total Quality Management*) funcione em uma empresa, a qualidade deve ser claramente identificada e adotada com um dos valores fundamentais da organização.

Em uma cultura organizacional na qual a Gestão da Qualidade Total funciona efetivamente, funcionários e gerência devem tomar as decisões conscientes de fornecer aos seus clientes produtos e serviços de qualidade.

2.1.3.1 Atividades da Gestão da Qualidade Total

As atividades de TQM são bastante amplas, e envolvem planejamento, organização, motivação e controle na busca da qualidade em toda atividade da empresa. Um passo importante e necessário para implantação de um Programa ou Sistema da Qualidade é a adoção de uma política da qualidade, descrita a seguir segundo as idéias de MIGUEL (2001, p. 166).

A política da qualidade pode ser definida como o conjunto de intenções, objetivos e operações com relação à qualidade, definido pela alta gerência da empresa. Cada empresa deve desenvolver e estabelecer sua política da qualidade e tornar possível sua implantação. O conteúdo da política da qualidade deve ser divulgado para todos os funcionários, sendo desejável que eles tenham participado de sua elaboração, mesmo que de forma limitada. Sua implantação e contínuo monitoramento viabilizam produtos e serviços com maior uniformidade, com redução de erros e defeitos e menor desperdício, acarretando, maior qualidade.

Em geral, ainda segundo MIGUEL (2001, p. 167), seis princípios regem a adoção de uma política da qualidade, que são:

- Deve ser um firme propósito da organização atender às necessidades dos clientes e demais partes interessadas;
- A organização deve identificar e atuar em um mercado definido (local, regional, nacional ou internacional);
- A força de trabalho deve ser continuamente desenvolvida, com suporte e meios necessários para realização eficaz e eficiente de seu trabalho;

- A melhoria contínua deve fazer parte das atividades diárias da organização;
- A prevenção de falhas deve ser um dos objetivos primários das áreas funcionais da organização.

De acordo com estes princípios é possível observar que a política da qualidade deve ser preocupação de todos os funcionários da empresa, mas o suporte e treinamento devem ser fornecidos quando necessário para que a implantação da política de qualidade seja bem sucedida.

A seguir, apresenta-se um caso de implantação de TQM de acordo com MIGUEL (2001, p. 169).

2.1.3.2 Estudo de Caso em TQM – Hewlett Packard, Reino Unido

A Hewlett Packard (HP) projeta, fabrica e distribui componentes eletrônicos e periféricos para muitas empresas. Sua política consiste em projetar produtos com desempenho acima dos concorrentes ou que tenham função totalmente nova. Desde 1957, a empresa tem discutido como deve operar para manter seus clientes e sua fatia no mercado, sendo que alguns pontos devem ser ressaltados, pois são conhecidos como "a maneira HP":

- Credo nas pessoas - liberdade;
- Respeito e dignidade – automotivação;
- Reconhecimento – senso de meta atingida;
- Segurança – desempenho e desenvolvimento das pessoas;
- Divisão de benefícios e responsabilidades – ajudar um ao outro;
- Gestão por objetivos;
- Informalidade – canais de comunicação aberta;
- Educação e treinamento;

- Chance de aprendizado com os próprios erros.

Conforme CONTI[3] apud MIGUEL (2001, p. 171) a reputação da empresa HP desde a implantação da Gestão da Qualidade Total melhorou sensivelmente, passou de uma das 200 maiores empresas no mundo para ser uma das 40 maiores. A qualidade de seus produtos melhorou e em 1982 obteve o *Deming Prize* pela sua qualidade.

Observando a literatura são várias as ferramentas que uma empresa pode utilizar para se enquadrar como uma que têm TQM, tais como: gerenciamento de processo, liderança, gestão de fornecedores, sistemas da qualidade, controle estatístico de processo, políticas da qualidade, programa zero defeitos, treinamento, planejamento, determinação dos custos da qualidade e *benchmarking.*

Benchmarking é definido como uma técnica que consiste em acompanhar processos de organizações concorrentes ou não, que sejam reconhecidas como representantes das melhores práticas administrativas. É um processo de pesquisa, contínuo e sistemático, para avaliar produtos, serviços e métodos de trabalho, com o propósito de melhoramento organizacional, procurando a superioridade competitiva.

O quadro a seguir mostra alguns indicadores que explicitam as diferenças entre empresas que implantaram GQT e uma empresa tradicional.

Quadro 2.3 - Vantagens da implantação da Gestão da Qualidade Total (GQT)

	EMPRESA	
	TRADICIONAL	COM TQM (1)
Clientes Satisfeitos (%)	70 a 80	Mais de 99
Sugestões de Melhorias (% de funcionários)	5 a 10	95 a 100
Propostas de Melhorias (funcionário/ano)	0,5 a 1	30 a 100
Melhorias Implementadas (%)	15 a 25	85 a 95
Treinamento (% horas)	0 a 1	Mais de 10
Não-Conformidade (peças)	1 a 2%	Menos que 34 ppm (2)
Não-conformidade (% das vendas)	20 a 50	Menos que 5
Turnover de Funcionários	5 a 40	Menos que 2
Absenteísmo por Doença (%)	3 a 7	1 a 2

FONTE: MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: Enfoques e Ferramentas**. São Paulo: Artliber, 2001, p.176.
(1) TQM – Total Quality Management
(2) ppm (partes por milhão)

[3] CONTI, T. Building total quality – a guide for management. Londres: Chapman & Hall, 1993.

2.1.4 Prêmios da Qualidade

Visando promover o uso de técnicas de melhoria da qualidade para todos os tipos de produtos e serviços, foram instituídos os prêmios da qualidade, que são atribuídos a organizações que buscam altos níveis de qualidade, utilizando métodos para monitorar e manter a qualidade.

Os prêmios da qualidade são utilizados para avaliar a qualidade nas empresas. É claro que existem alguns níveis em que a qualidade em uma empresa pode ser avaliada. Existem alguns critérios ou requisitos a serem atendidos. Um dos principais prêmios referentes à qualidade é o Premio Nacional da Qualidade. Esse é um instrumento importante para avaliação de empresas que buscam alcançar excelência em qualidade naquilo que produzem ou comercializam. Existem atualmente edições nos Estados Unidos, Japão, Reino Unido e também no Brasil.

2.1.4.1 Prêmio Nacional da Qualidade (PNQ) – Brasil

Este prêmio é administrado pela Fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade com sede em São Paulo. Nove categorias podem concorrer ao prêmio: manufaturas, prestadoras de serviços, médias empresas (51 a 500 funcionários), pequenas e microempresas (até 50 funcionários trabalhando em tempo integral), órgão da administração pública, associações, institutos e fundações de direito privado e sem fins lucrativos. O prêmio é entregue pelo Presidente da República em cerimônia realizada no Palácio do Planalto, geralmente no mês de novembro.

O PNQ é um reconhecimento a excelência na gestão das organizações sediadas no Brasil. De 1992 a 2005, 23 organizações foram reconhecidas com o PNQ, como mostrado no quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Vencedores do Prêmio Nacional da Qualidade no Brasil – 1992 a 2005

Ano	Empresa
1992	IBM - Unidade de Sumaré, na categoria Manufaturas
1993	Xerox do Brasil, na categoria Manufaturas
1994	Citibank - Unidade Global Consumer Bank, na categoria Prestadoras de Serviços
1995	Serasa S.A., na categoria Prestadoras de Serviços
1996	Alcoa - Unidade Poços de Caldas, na categoria Manufaturas
1997	Citibank - Unidade Corporate Banking, na categoria Prestadoras de Serviços Copesul Companhia Petroquímica do Sul, na categoria Manufaturas Weg - Unidade Motores, na categoria Manufaturas
1998	Siemens - Unidade de Telecomunicações, na categoria Manufaturas
1999	Caterpillar Brasil Ltda., na categoria Manufaturas Cetrel S.A. - Empresa de Proteção Ambiental, na categoria Médias Empresas
2000	Serasa S.A., na categoria Grandes Empresas
2001	Bahia Sul Celulose S.A., na categoria Grandes Empresas
2002	Gerdau Aços Finos Piratini, na categoria Grandes Empresas Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre, na categoria Organizações sem Fins Lucrativos Politeno Indústria e Comércio S.A., na categoria Médias Empresas
2003	Dana Albarus - Divisão de Cardans, Gravataí, na categoria Grandes Empresas Escritório de Engenharia Joal Teitelbaum, na categoria Médias Empresas
2004	Belgo Juiz de Fora, na categoria Grandes Empresas
2005	Companhia Paulista de Força e Luz na categoria Grandes Empresas Petroquímica União S.A. na categoria Grandes Empresas Serasa S.A. na categoria Grandes Empresas Suzano Petroquímica S.A. na categoria Médias Empresas

FONTE:FUNDAÇÃO PRÊMIO NACIONAL DA QUALIDADE< http://www.fnq.org.br/site/407/default.aspx> Acesso em: 21/12/2006.

2.1.4.2 Prêmio da Qualidade nos EUA (*Malcolm Baldrige National Quality Award*)

Em 1987, o Congresso Americano criou a lei pública 107, o Ato Nacional de melhoria da Qualidade Malcolm Baldrige. O prêmio Baldrige é dado anualmente para empresas americanas com excelência em qualidade. Este prêmio ajudou os gerentes a reconhecerem que melhorar qualidade dos serviços e qualidade dos produtos é o desafio mais crítico que suas companhias enfrentam. Ganhadores do prêmio Malcolm Baldrige incluem Motorola, IBM, Xerox e Federal Express.

2.1.4.3 Prêmio da Qualidade no Japão (*Deming Prize*)

O Prêmio da Qualidade no Japão, denominado Deming Prize foi instituído logo após as palestras proferidas por Deming. Durante os primeiros anos, os prêmios foram concedidos através de recursos advindos da venda de materiais elaborados por Deming, e direitos de tradução de seus livros. Atualmente os prêmios são patrocinados pela JUSE – *Japanese Union of Scientists and Engineers*. Este prêmio é concedido em quatro categorias: Indivíduo (é concedido para uma pessoa que tenha feito notável contribuição para aplicação de métodos de controle de qualidade), Prêmio de Aplicação Deming (destinado a empresas que aplicaram com sucesso o Controle da Qualidade por toda empresa), Prêmio Japonês de Controle de Qualidade, instituído em 1970, que contempla as empresas que apresentam práticas e padrões elevados de qualidade durante pelo menos cinco anos e o Prêmio Deming Estrangeiro, concedido para empresas não japonesas interessadas no processo de exame na implantação do Controle da Qualidade Total. O prêmio Deming foi aberto para organizações não-japonesas em 1984, e a empresa *Florida Power and Light Company*, uma das maiores companhias de eletricidade dos EUA, foi a ganhadora do prêmio em 1989.

> Para aqueles que querem implantar um sistema de gerência da Qualidade Total, já não é necessário ir ao Japão. Em 1984, quando a FLP decidiu implementar a GQT, vi que tínhamos de ir ao Japão, mas agora, mais empresas americanas estão se tornando experientes nas suas próprias aplicações de GQT (HUDIBURG, 1992, p.x).

2.1.4.4 Prêmio Europeu da Qualidade

Este prêmio foi criado em 1991 pela Fundação Européia para Gestão da Qualidade com o apoio da Comissão Européia e Organização Européia para a Qualidade. O prêmio é dividido em cinco categorias: grandes empresas, unidades operacionais de empresas, organizações do setor público, médias e pequenas empresas com subcategorias de independentes e subsidiárias. Este prêmio é atribuído a

organizações que demonstrem excelência na gestão da qualidade, como processo fundamental para melhoria contínua.

2.1.4.5 Prêmio Britânico da Qualidade

Este prêmio foi instituído em 1984 pela *British Quality Association* (Associação Britânica para Qualidade). Ele é concedido a companhias públicas e privadas, associações profissionais e de classe, estabelecimentos educacionais e de pesquisa, podendo ser concedido um ou mais prêmios (ou nenhum) por ano. O Prêmio Britânico da Qualidade tem como principal finalidade a busca da melhoria da qualidade em organizações comerciais, industriais e prestadoras de serviços no Reino Unido.

2.1.4.6 Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento

O Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento é uma iniciativa da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES, que por meio do Comitê Nacional da Qualidade ABES - CNQA instituiu esta ação. A primeira edição deste prêmio foi realizada em 23 de maio de 1997 com o apoio da Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano - SEDU. O PNQS é uma iniciativa instituída para:

- Estimular a busca e a aplicação de boas práticas de gestão pelas organizações envolvidas com o setor de saneamento ambiental no país;
- Reconhecer aquelas organizações que se destacam pela utilização dessas práticas e que apresentem resultados superiores de desempenho;
- Divulgar as práticas das organizações reconhecidas, em seminários e publicações de relatórios;
- Promover eventos de capacitação gerencial para essas organizações.

O objetivo principal deste prêmio é estimular a prática de modelos gerenciais compatíveis com as tendências mundiais, reconhecer experiências bem-sucedidas e promover o intercâmbio das melhores práticas, possibilitando a melhoria da qualidade de vida e saúde da população brasileira.

2.1.5 Qualidade nos Serviços

O objetivo de toda empresa é um retorno financeiro ou de desenvolvimento social para seu investimento. Em geral desejam ampliar sua participação no mercado e sobreviver em longo prazo. Mas tudo isto depende da qualidade do serviço que prestam à sociedade e esses fatores definem e caracterizam a missão das organizações: criar e executar serviços (produzir produtos) que, por sua qualidade, atendam efetivamente às necessidades de seus clientes.

Segundo MEZOMO (1995, p.120), para que as organizações possam cumprir de maneira eficaz suas funções, é necessário que as mesmas:

- Conheçam seus clientes e suas necessidades;
- Melhorem sempre a qualidade de seus produtos/serviços;
- Reduzam seus custos;
- Cumpram as normas dos órgãos reguladores;
- Permaneçam competitivas, pela criatividade e pela inovação;
- Melhorem sua imagem.

E como conseguir isto? Através:

- Do efetivo comprometimento da direção superior;
- Da constância de propósitos;
- Do desenvolvimento (educação) das pessoas;

- Da criação de uma cultura de qualidade;
- Da melhoria continuada;
- Da formação de parcerias internas e externas;
- Da administração participativa;
- Do *benchmarking* (para superação das marcas);
- Do planejamento estratégico da qualidade; e,
- Da visão de futuro.

Trata-se, evidentemente, de um trabalho sério e de longo prazo e não de uma simples declaração de princípios, ou seja, trata-se de uma prática e não apenas de uma teoria. Tal constatação pode ser ressaltada de acordo com as afirmações de PALADINI (1995, p. 29):

> A qualidade apesar de uma variedade muito ampla de conceitos com a qual é definida, entendida ou praticada, compromete e requer esforços de quem pretende adotá-la [...]. A qualidade pode ser definida como o compromisso de sempre atender ao consumidor da melhor forma possível e como o esforço de otimizar todas as ações de um processo. Mas a qualidade é também, uma fonte de benefícios para a empresa, manter (e até ampliar) a faixa de atuação no mercado é a principal delas.

Ainda, segundo MEZONO (1995, p.121), as organizações que forem capazes de adotar, de verdade, a qualidade como sua base de sustentação é que terão garantido seu futuro. Pois as vantagens da qualidade são muito amplas, podendo ser dividida por ganhos internos e ganhos externos:

Dentre os ganhos internos é possível citar:

- A melhoria do moral das pessoas;
- O clima organizacional (positivo);
- A redução dos custos e do desperdício;
- O aumento da produtividade;
- O aumento da eficiência e da eficácia;

- A maior adequação às normas e as expectativas dos clientes; e,
- O aumento da responsabilidade pessoal.

Dentre os ganhos externos é possível citar:

Aumento da demanda;

- Aumento da participação no mercado;
- Aumento da credibilidade e confiabilidade;
- Aumento da satisfação do cliente;
- Aumento do retorno (lucro);
- Possibilidade de novos investimentos; e,
- Melhor serviço à sociedade, que é o verdadeiro sentido e a razão de ser da organização.

A qualidade, no entanto, que produz ganhos tão significativos, é resultado de um conjunto de esforços e tomada de decisões, que precisa ser planejada e gerenciada de forma estratégica, dia-a-dia. Não bastam esforços fragmentados e setoriais visando a melhoria de certos aspectos da estrutura, dos processos e dos resultados. A qualidade supõe uma nova cultura organizacional que deve ser embutida e infundida no produto/serviço através de meios sistemáticos (MEZOMO, 1995, p. 122).

Assegurar qualidade refere-se a todo sistema de políticas, procedimentos e pautas estabelecidas por uma organização para alcançar e manter a qualidade. Segundo ANDERSON, SWEENEY e WILLIAMS (2003, p. 124), "assegurar qualidade consiste de duas funções principais: engenharia e controle de qualidade".

O objetivo da engenharia da qualidade é incluir qualidade no desenvolvimento de produtos/processos e identificar problemas potenciais de qualidade devido à produção. O controle da qualidade consiste em fazer uma série de inspeções e medidas para determinar se os padrões da qualidade estão sendo atingidos. Se os padrões da qualidade não estiverem sendo atingidos, ações corretivas e/ou preventivas podem ser tomadas para alcançar e manter a conformidade.

Sendo assim, para o estabelecimento e o desenvolvimento de procedimentos para melhorar a eficiência e a eficácia dos processos e atividade em um ciclo de produção, há a necessidade de implantar o uso das ferramentas do Controle Estatístico de Processo (CEP).

2.1.6 O Controle Estatístico de Processo

O Controle Estatístico de Processo (CEP) pode ser definido como um método que se constitui basicamente de um conjunto de técnicas e ferramentas estatísticas, organizadas de modo a proporcionar, através de suas aplicações, a manutenção e a melhoria dos níveis de qualidade de um processo. O CEP pode ser considerado uma ferramenta ou estratégia da qualidade dentre as diversas existentes, sendo, portanto, um dos caminhos para se atingir alguns resultados importantes para a organização.

Segundo BARTMAN[4] (1986) apud KURCREVSKI (2003, p. 29):

> O Controle Estatístico de Processo pode ser definido como: um conjunto de ferramentas usadas para conseguir estabilizar o processo e reduzir a variabilidade, proporcionando significativos retornos às companhias que o programam. O envolvimento do administrador e do comitê de melhoria do processo de qualidade é um componente potencial para o sucesso do CEP.

De acordo com MONTEIRO (1991, p. 39):

> O Controle Estatístico de Processo – CEP se constitui numa poderosa ferramenta de trabalho. O CEP possibilita a análise dos dados e das informações sobre cada uma das etapas do processo. É possível prever problemas de manutenção e de qualidade e identificar as causas dos problemas.

O Controle Estatístico de Processo é, sem dúvida, uma das mais poderosas metodologias desenvolvidas, visando auxiliar no controle eficaz da qualidade do produto e seus processos produtivos, usando a estatística como ferramenta para analisar a capacidade e as limitações do processo.

---

[4] BARTMAN, F.C. **Idéias básicas do controle moderno de qualidade**. UFISINAPE – UNICAMP (1986).

No Brasil, o CEP vem sendo implantado em um número cada vez maior de empresas. Várias indústrias instaladas em território nacional, tais como as montadoras de veículos, utilizam o CEP em suas matrizes e nas suas fábricas no exterior. Por intermédio destas experiências, sua eficácia ficou comprovada no monitoramento e redução de problemas nestas unidades. Contudo ainda há muito por fazer, em razão da potencialidade do CEP não ter sido ainda totalmente explorada. Vários exemplos de desenvolvimento de novas aplicações do CEP, tanto no setor industrial, agrícola e pecuário, como também em outros setores de serviços, podem ser citados para o monitoramento da qualidade.

2.1.7 Variabilidade

Em geral, as características de um produto apresentam variabilidade. Isto é causado principalmente devido a flutuações na qualidade dos materiais usados e de variações nas condições de operação do processo de produção.

Diversos fatores podem contribuir para a variação no nível de defeitos encontrados num processo. Esses fatores podem ser classificados de duas maneiras:

- *Fatores Particulares ou Causas Especiais de Variação*: são fatores que causam variação no processo de produção sendo possível determinar a sua causa, ou seja, a origem do problema. Em geral, as variações ocorrem devido a problemas relacionados com: máquina, mão-de-obra, matéria-prima, meio ambiente, método de trabalho e meios de medição. Em razão disso, este tipo de fator de variação é denominado de "6M".

- *Fatores inerentes ao processo*: são fatores aleatórios que causam variação no processo de produção, mas não é possível identificar as suas causas.

É necessário destacar que, mesmo eliminando-se todos os fatores particulares, o processo poderá ainda produzir artigos defeituosos. Isto ocorre devido à existência dos fatores inerentes ao processo (os quais não são identificáveis).

2.1.8 As Sete Principais Ferramentas do CEP

As sete principais ferramentas de resolução de problemas de CEP devem ser amplamente ensinadas para toda a organização e usadas rotineiramente para identificar oportunidades de melhoria e para ajudar na redução da variabilidade e na eliminação das perdas. Para MONTGOMERY (2004, p. 109) as sete principais ferramentas do CEP são:

- Histograma;
- Folha de Controle;
- Gráfico de Pareto;
- Diagrama de Causa e Efeito;
- Diagrama de Concentração de Defeito;
- Diagrama de Dispersão;
- Carta de Controle.

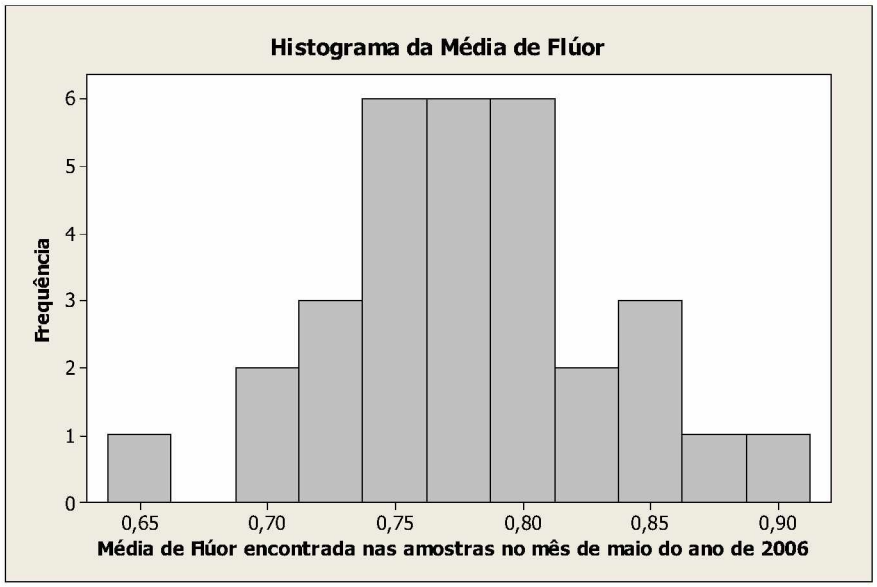
2.1.8.1 Histograma

É uma forma de descrição gráfica de dados quantitativos, agrupados em classes de freqüência. O histograma permite verificar a forma da distribuição, o valor central e a dispersão dos dados. Trata-se de um gráfico formado por retângulos contíguos com base nas faixas de valores da variável em estudo, e com altura definida pela freqüência de ocorrência de dados no intervalo definido pela base do retângulo.

Por exemplo, considerando-se os valores médios de flúor encontrado na água tratada por uma empresa de saneamento básico nas amostras coletadas durante o mês de maio do ano de 2006: 0,75; 0,84; 0,71; 0,75; 0,74; 0,78; 0,75; 0,77; 0,79; 0,74; 0,72; 0,83; 0,86; 0,74; 0,77; 0,82; 0,80; 0,77; 0,80; 0,77; 0,79; 0,73; 0,80; 0,66; 0,85; 0,71; 0,72; 0,87; 0,79; 0,89 e 0,77. A figura 2.1, mostra a construção do histograma

para estes valores.

Figura 2.1 - Histograma para média de flúor encontrado nas amostras do mês 05/2006



FONTE: A autora

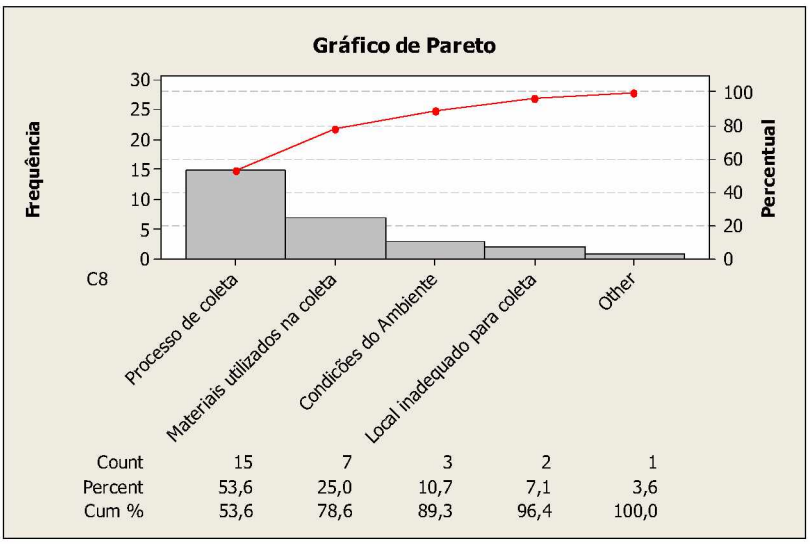
2.1.8.2 Folha de Controle

Nos estágios iniciais da implantação do CEP, é necessário coletar dados operacionais históricos ou atuais sobre o processo que está sob investigação. Uma folha de controle pode ser muito útil nessa atividade de coletar dados. Em geral, ela é desenvolvida por um engenheiro responsável em investigar os vários tipos de defeitos que surgem nos componentes do produto, com o objetivo de melhorar o processo. A folha de controle é planejada para facilitar o resumo de todos os dados históricos disponíveis sobre defeitos relativos aos componentes do produto. Ao planejar esta folha de controle, é importante especificar claramente os tipos de dados a serem coletados, o número da parte ou operação, a data, o analista, e quaisquer outras informações úteis ao diagnóstico da causa de um fraco desempenho.

2.1.8.3 Gráfico de Pareto

O Gráfico de Pareto é um gráfico utilizado para indicar qual problema relacionado com a variabilidade de dados deve ser solucionado primeiro, a fim de se eliminar defeituosos e melhorar o processo. Ele não identifica automaticamente os defeitos mais importantes, mas apenas aqueles que ocorrem mais freqüentemente.

Figura 2.2 - Gráfico de Pareto para ocorrências de não conformidade bacteriológica da água coletada



FONTE: A autora

2.1.8.4 Diagrama de Causa e Efeito

Uma vez que um defeito, erro ou problema, tenha sido identificado, é necessário começar a analisar as causas potenciais desse efeito indesejável. Em situações em que as causas não são óbvias, o diagrama de causa e efeito é uma ferramenta formal freqüentemente útil na eliminação de causas potenciais. Os passos para a construção deste gráfico são os seguintes:

1)Defina o problema ou efeito a ser analisado;

2)Forme a equipe para realizar a análise. Em geral, a equipe descobrirá causas potenciais em sessões de *brainstorming* (são reuniões com o pessoal envolvido com o

problema em estudo a fim de se coletar opiniões sobre causas, bem como soluções possíveis);

3)Especifique as principais categorias de causas potenciais e coloque-as em caixas ligadas à linha central;

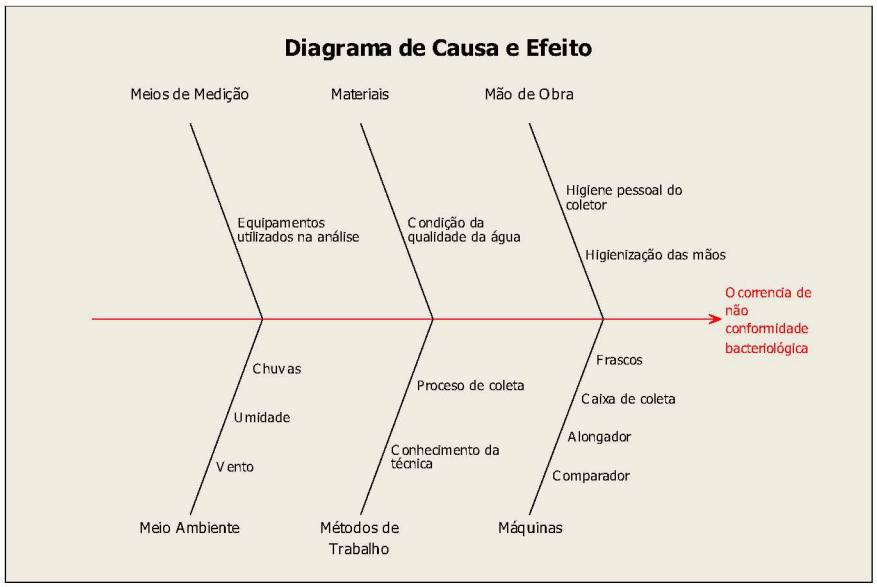
4)Identifique as causas possíveis e classifique-as nas categorias do passo 3. Crie novas categorias, se necessário;

5)Ordene as causas para identificar aquelas que parecem mais prováveis de causar impacto sobre o problema;

6)Adote ações corretivas.

A análise de causa e efeito é uma ferramenta muito poderosa. Um diagrama de causa e efeito bem detalhado pode servir como um eficiente auxiliar para localizar e reparar defeitos, além disso, a construção deste diagrama como uma experiência de grupo tende a levar as pessoas envolvidas a resolver o problema sem ficar atribuindo culpa aos envolvidos no processo. Um exemplo para construção do diagrama de causa e efeito é análise da ocorrência de não conformidade bacteriológica, mostrado na figura 2.3.

Figura 2.3 - Diagrama de causa e efeito para ocorrência de não conformidade bacteriológica



FONTE: A autora

2.1.8.5 Diagrama de Concentração de Defeito

Um diagrama de concentração de defeito é uma figura do produto, mostrando todas as vistas relevantes. Então, os vários tipos de defeitos são desenhados na figura e o diagrama é analisado para determinar a localização dos defeitos do produto e assim fornecer alguma informação útil sobre as causas potenciais dos defeitos.

Estes diagramas são importantes ferramentas para resolução de problemas em várias indústrias, incluindo chapeamento, pintura e revestimento, operações de fundição, maquinaria e montagem eletrônicas, pois quando os dados sobre defeitos são retratados sobre um número suficiente de produtos, freqüentemente surgem padrões, e as localizações desses padrões contêm, em geral, muita informação sobre as causas dos defeitos.

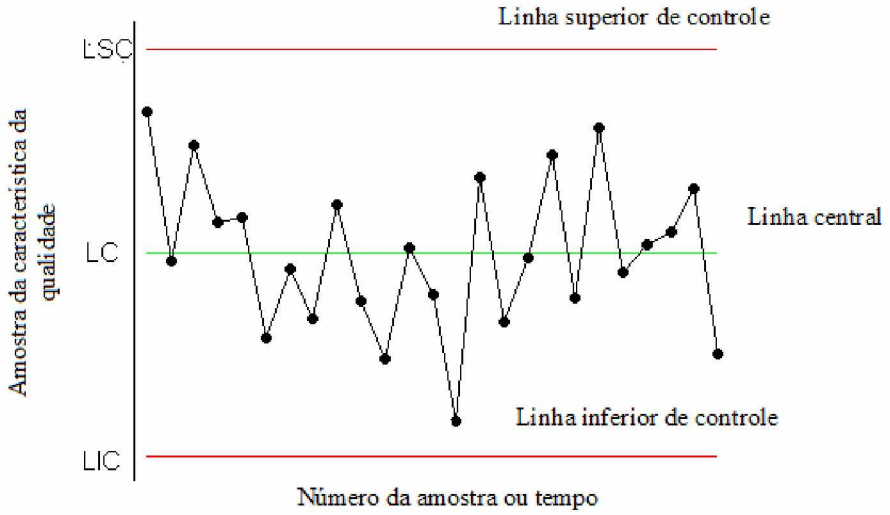
2.1.8.6 Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é um gráfico útil para a identificação de relações potenciais entre duas variáveis. Os dados são coletados aos pares com observações das duas variáveis (X_i, Y_i), com $i = 1,2,\cdots,n$. Esses n pares de pontos (X_i, Y_i) são grafados e o possível relacionamento entre as variáveis X e Y aparece no gráfico.

2.1.9 Carta de Controle

É uma das principais técnicas do controle estatístico de processo ou CEP. A carta de controle é uma apresentação gráfica de uma característica da qualidade que foi medida ou calculada a partir da amostra versus o número da amostra ou tempo. A carta de controle contém uma linha central, representando o valor médio da característica da qualidade que corresponde ao estado sob controle (isto é, apenas as causas aleatórias estão presentes), duas outras linhas horizontais, chamadas o limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC), como mostrado na figura 2.4.

Figura 2.4 - Carta de controle



FONTE: A autora

Esses limites de controle são escolhidos de modo que, se o processo está sob controle, praticamente todos os pontos amostrais estarão entre eles. Se os pontos estiverem entre os limites de controle, o processo é considerado sob controle, e não é necessária qualquer ação. No entanto, um ponto que caia fora dos limites de controle é interpretado como evidência de que o processo está fora de controle, sendo necessárias investigação e ação corretiva para encontrar e eliminar a causa ou causas responsáveis por esse comportamento. É costume unir os pontos amostrais na carta de controle por segmentos de reta, de modo a facilitar a visualização da evolução da seqüência de pontos ao longo do tempo.

Considere um processo onde a característica a ser controlada tenha média fixada em μ e desvio padrão igual a σ. Supondo que o processo esteja sob controle, a média amostral $\overline{X}$ (variável aleatória a ser controlada) é tal que:

$$P\left(LIC \leq \overline{X} \leq LSC\right) = 1 - \alpha \qquad (2.1)$$

Onde: LIC é o limite inferior de controle;

LSC é o limite superior de controle;

α é uma fração arbitrária e pequena.

A forma mais comum de cartas de controle é fixar limites de controle que estão entre ± 3 desvios padrões da medida estatística de interesse (seja a média, a proporção, etc). De maneira geral, isso pode ser afirmado como:

LSC: média do processo mais 3 desvios padrões;

LIC: média do processo menos 3 desvios padrões.

Os limites LIC e LSC são chamados de limites probabilísticos e a probabilidade de uma observação da variável aleatória situar-se fora desses limites é muito pequena dado o valor de α. Como mencionado anteriormente, uma alternativa para se construir os limites de controle é defini-los em termos de múltiplos do desvio padrão da variável aleatória plotada no gráfico (no caso está-se considerando $\overline{X}$).

$$LIC = \mu_{\overline{X}} - K\sigma_{\overline{X}} \tag{2.2}$$

$$LSC = \mu_{\overline{X}} + K\sigma_{\overline{X}} \tag{2.3}$$

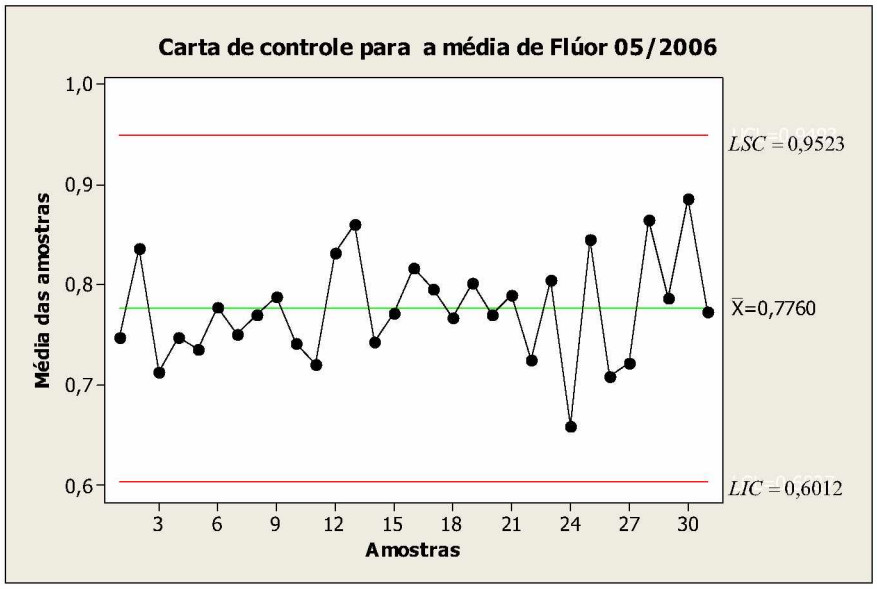
Onde: K é uma constante positiva e um valor muito usado para K é 3.

Logo, tem-se então os limites a 3 desvios padrões. Assim:

$$LIC = \mu_{\overline{X}} - 3\frac{\sigma_{\overline{X}}}{\sqrt{n}} \tag{2.4}$$

$$LSC = \mu_{\overline{X}} + 3\frac{\sigma_{\overline{X}}}{\sqrt{n}} \tag{2.5}$$

Figura 2.5 - Carta de controle para a média de flúor encontrado nas análises das amostras coletadas no mês 05/2006



FONTE: A autora

2.1.9.1 Análise de Padrões em Cartas de Controle

A carta de controle é uma ferramenta muito útil no aperfeiçoamento de um processo e a sua utilização e interpretação deve ser feita cuidadosamente, pois a mesma pode indicar uma condição fora de controle quando um ou mais pontos se localizam fora dos limites de controle, ou, além disso, quando os pontos exibem um comportamento não-aleatório (MONTGOMERY, 2004, p. 106).

Em geral, há uma razão pela qual um padrão não-aleatório particular aparece em uma carta de controle, e se puder ser descoberto e eliminado, o desempenho do processo pode ser melhorado.

O reconhecimento de ocorrência de padrões em uma carta de controle se dá pela existência de uma seqüência de pontos, ou seja, por uma fila de observações do mesmo tipo, podendo ser estabelecidos em ordem crescente ou em ordem decrescente. Embora as seqüências sejam uma medida importante de comportamento não-aleatório em uma carta de controle, outros tipos de padrões podem, também indicar uma condição fora de controle. A habilidade para interpretar um padrão particular requer experiência e conhecimento do processo.

2.1.9.2 Usos Básicos das Cartas de Controle

As cartas de controle são aplicadas para:

a) Verificar se em determinado período um processo estava sob controle.

b) Orientar a Administração na manutenção do processo sob controle, verificando com atenção à ocorrência de uma tendência em alguma direção ou padrões sistemáticos.

Há pelo menos cinco razões para a popularidade das cartas de controle:

1ª) a carta de controle é uma técnica para melhorar a produtividade, pois reduz desperdício de insumos, reduz o retrabalho e conseqüentemente aumenta a produtividade, diminui os custos e finalmente a capacidade de produção aumenta (medida em números de artigos bons por hora);

2ª) a carta de controle é eficaz na prevenção de defeituosos, pois ajuda a manter o processo sob controle e, portanto coerente com a filosofia "faça certo na primeira vez". Se a empresa não tem um processo eficiente, o cliente está pagando alguém para produzir artigos inadequados;

3ª) a carta de controle impede ajustamentos desnecessários no processo, pois distingue entre ruído aleatório e variação anormal. Nenhum outro meio, inclusive o operador humano é eficiente nesta distinção. Se o processo é ajustado sem base na carta de controle, freqüentemente, o que ocorre é um aumento da variância do ruído aleatório e isto pode resultar na deterioração do desempenho do processo. Assim, a carta de controle é coerente com a filosofia "se ele não está quebrado, não o conserte";

4ª) a carta de controle fornece informações para que o operador faça um diagnóstico sobre o processo, podendo conduzir à implantação de uma mudança que melhore o desempenho do processo;

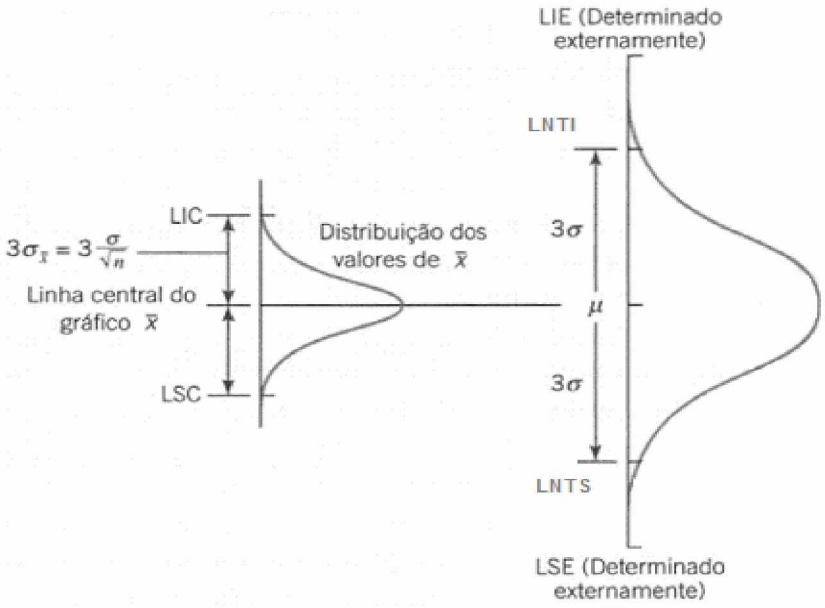
5ª) a carta de controle fornece informação sobre a capacidade do processo, revelando o valor de importantes parâmetros do processo e sua estabilidade no tempo e, assim, uma estimativa da capacidade do processo pode ser feita. Esta informação é muito útil para quem projeta o produto e o processo.

As cartas de controle estão entre as mais importantes ferramentas de controle e gerenciamento, sendo tão importantes quanto os controles de custo e de material.

2.1.10 Limites de Controle, Limites de Especificação e Limites Naturais de Tolerância

É necessário enfatizar que não há qualquer conexão ou relação entre os limites de controle nas cartas e os limites de especificação do processo, pois os limites de controle (LIC e LSC) são gerados pela variabilidade natural do processo (medida pelo desvio padrão σ do processo), isto é, pelos limites naturais de tolerância, que são os limites 3σ acima e abaixo da média do processo, que por sua vez, são representados por LNTS (limite natural de tolerância superior) e LNTI (limite natural de tolerância inferior). Já os limites de especificação (LIE e LSE) são determinados externamente, ou seja, pela gerência, pelos engenheiros de produção, pelos designers, etc (MONTGOMERY, 2004, p. 137).

Figura 2.6 - Limites de controle, limites de especificação e limites naturais de controle



FONTE: Adaptado de MONTGOMERY,D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: 2004, p.138.

2.1.11 Tipos de Cartas de Controle

Vários tipos de cartas de controle são utilizados com o objetivo de monitorar o processo e, conseqüentemente, verificar se variações de fatores particulares estão presentes no processo. Uma carta de controle varia conforme os dados que ela contenha:

- Se os dados são contínuos (geralmente medidas físicas) ela deverá ser construída com a média amostral $\bar{x}$ e com amplitude amostral R ou desvio padrão s.
- Se os dados são discretos ela deverá ser construída com as estatísticas amostrais: número de defeituosos ou com a fração de defeituosos ou ainda com o número de defeitos por unidade do produto.

As cartas de controle podem ser classificadas como:

- Carta de controle por variáveis;
- Carta de controle para atributos.

2.1.12 Carta de Controle por Variáveis

É utilizada quando a Administração está interessada na evolução de uma característica quantitativa contínua. Este tipo de carta controla tanto o valor médio do desempenho do processo, por meio da Carta $\overline{X}$, como a variabilidade do processo, por meio da Carta S ou o que é mais comum, pela Carta da Amplitude R.

2.1.12.1 Carta $\overline{X}$

É utilizada quando um processo de produção é medido em termos do valor médio de uma variável. Para encontrar os limites de controle para esta carta supondo-se que a característica da qualidade que está sendo analisada seja normalmente

distribuída com média μ e desvio padrão σ, sendo ambos os valores μ e σ conhecidos, tomam-se amostras aleatórias de tamanho n e faz-se a estimativa de μ para cada amostra da forma:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \tag{2.6}$$

Sabe-se que se $\bar{x}$ é normalmente distribuída com média μ e desvio padrão $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

Além disso, há uma probabilidade $1-\alpha$ de que qualquer média amostral caia entre os limites:

$$\mu + Z_{\frac{\alpha}{2}}\alpha_{\bar{x}} = \mu + Z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\alpha}{\sqrt{n}} \tag{2.7}$$

$$\mu - Z_{\frac{\alpha}{2}}\alpha_{\bar{x}} = \mu - Z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\alpha}{\sqrt{n}} \tag{2.8}$$

Então, se μ e σ são conhecidos as equações acima podem ser usadas como limites de controle superior e inferior em um gráfico de controle para médias amostrais. Em engenharia de qualidade é comum substituir $Z_{\alpha/2}$ por 3, de modo que os limites a três sigmas são empregados. Se uma média amostral cai fora desses limites, isso é uma indicação de que a média do processo não é mais igual a μ.

$$\text{LSC} = \mu + 3\sigma_{\bar{x}} = \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{2.9}$$

$$\text{LC} = \mu \tag{2.10}$$

$$\text{LIC} = \mu - 3\sigma_{\bar{x}} = \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{2.11}$$

Na prática, em geral, os parâmetros μ e σ não são conhecidos. Então eles devem ser estimados a partir de amostras ou subgrupos preliminares, retirados quando o processo está supostamente sob controle. Essas estimativas geralmente são baseados em amostras aleatórias de 20 a 25 itens amostrais.

Suponha-se que m amostras estejam disponíveis, cada uma com n observações da característica da qualidade em questão. Tipicamente, n será pequeno, freqüentemente, 3, 4, 5 ou 6. Esses pequenos tamanhos de amostra são utilizadas em geral pelo fato de que os custos associados à amostragem e inspeção de medidas de variáveis são relativamente altos.

Sejam $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \cdots, \bar{x}_m$ as médias de cada uma das m amostras. Então, o melhor estimador de μ, a média do processo, é a média geral, isto é:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \cdots + \bar{x}_m}{m} \tag{2.12}$$

Assim, $\bar{\bar{x}}$ deve ser usado como a linha central na carta $\bar{x}$ e para construir os limites de controle, é necessário uma estimativa do desvio padrão σ. É possível estimar σ, através da estatística amostral s (desvio padrão amostral) ou das amplitudes das m amostras. Neste trabalho, será utilizado o método da amplitude.

Se $x_1, x_2, \cdots, x_n$ é uma amostra de tamanho n, então a amplitude da amostra é a diferença entre a maior e a menor observação, isto é:

$$R = x_{máx} - x_{mín} \tag{2.13}$$

A razão entre amplitude da amostra R e o desvio padrão σ, é representada por W e denominada de amplitude relativa:

$$W = \frac{R}{\sigma} \tag{2.14}$$

A média da distribuição de W é representada por d_2. Assim, um estimador do desvio padrão σ é dado por:

$$\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2} \tag{2.15}$$

O valor de d_2 é função do tamanho da amostra. Agora, tomando-se as amostras de tamanho n, disponíveis, obtém-se a amplitude amostral média $\bar{R}$.

Sejam $R_1, R_2, \cdots, R_m$ as amplitudes das m amostras. A amplitude média é:

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_m}{m} \tag{2.16}$$

Uma boa estimativa de σ é o $\hat{\sigma}$ encontrado em (2.15).

Detalhes sobre a obtenção da média e do desvio padrão da variável aleatória R, encontram-se no Apêndice 1.

A razão para usar o estimador de σ, $\hat{\sigma} = \frac{\overline{R}}{d_2}$, ao invés da estatística s é em função da simplicidade dos cálculos e também em função da eficiência de $\hat{\sigma} = \frac{\overline{R}}{d_2}$ ser praticamente a mesma de s (desvio padrão da amostra) quando o tamanho da amostra é pequeno $(n < 10)$.

Finalmente, com as estimativas de todos os parâmetros têm-se os limites de controle:

$$LSC = \overline{x} + \frac{3\overline{R}}{d_2\sqrt{n}} \tag{2.17}$$

$$LC = \overline{x} \tag{2.18}$$

$$LIC = \overline{x} - \frac{3\overline{R}}{d_2\sqrt{n}} \tag{2.19}$$

A quantidade $A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$ é uma constante que depende apenas da amostra n, logo pode também ser tabelado como d_2, resultando nos seguintes limites de controle:

$$LSC = \overline{x} + A_2\overline{R} \tag{2.20}$$

$$LC = \overline{x} \tag{2.21}$$

$$LIC = \overline{x} - A_2\overline{R} \tag{2.22}$$

2.1.12.2 Carta R

É utilizada quando o processo de produção é medido em termos da amplitude de uma variável. Como a amplitude R está relacionada com o desvio padrão do processo, a variabilidade do processo pode ser controlada por meio do gráfico dos valores da amplitude amostral R, para sucessivas amostras. Uma carta deste tipo é denominada Carta R.

Para se construir os limites de controle há necessidade de se conhecer o desvio padrão de R, σ_R. Um estimador de σ_R pode ser construído a partir da distribuição da amplitude relativa $W = R/\sigma$ (Apêndice 1), supondo que a característica que se queira controlar tenha distribuição Gaussiana. O desvio padrão de W é denotado por d_3 e é uma função conhecida do tamanho da amostra n. Então, já que $R = W \cdot \sigma$ o desvio padrão de R é dado pela expressão:

$$\sigma_R = d_3 \cdot \sigma \tag{2.23}$$

E como σ é desconhecido se usa o estimador construído anteriormente $\hat{\sigma} = \overline{R}/d_2$, de modo que se tem:

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\overline{R}}{d_2} \tag{2.24}$$

Portanto, os limites de controle a 3 desvios padrões são dados por:

$$LSC = \overline{R} + 3\hat{\sigma}_R = \overline{R} + 3d_3 \frac{\overline{R}}{d_2} = \overline{R}\left(1 + 3\frac{d_3}{d_2}\right) = \overline{R} \cdot D_4 \tag{2.25}$$

$$LC = \overline{R} \tag{2.26}$$

$$LIC = \overline{R} - 3\hat{\sigma}_R = \overline{R} - 3d_3 \frac{\overline{R}}{d_2} = \overline{R}\left(1 - 3\frac{d_3}{d_2}\right) = \overline{R} \cdot D_3 \tag{2.27}$$

A quantidade entre parênteses pode ser facilmente tabelada de modo que se tem:

$$D_3 = \left(1 - 3\frac{d_3}{d_2}\right) \tag{2.28}$$

$$D_4 = \left(1 + 3\frac{d_3}{d_2}\right) \tag{2.29}$$

2.1.12.3 Carta s

Embora as cartas $\bar{x}$ e R sejam bastante usadas, algumas vezes torna-se desejável estimar diretamente o desvio padrão do processo em vez de indiretamente através do uso da amplitude R.

Em geral as cartas $\bar{x}$ e s são preferidos aos seus semelhantes $\bar{x}$ e R por duas razões:

1) O tamanho da amostra n é moderadamente grande, ou seja, $n > 10$, pois o método da amplitude para estimar σ perde a eficiência estatística para tamanhos de amostra moderados ou grandes;

2) O tamanho da amostra n é variável.

A construção da carta de controle s requer aproximadamente a mesma seqüência de etapas que a das cartas $\bar{x}$ e R, exceto que, para cada amostra é necessário calcular a média amostral $\bar{x}$ e o desvio padrão s.

Se σ^2 é a variância desconhecida de uma distribuição de probabilidade, então um estimador não-viciado para σ^2 é a variância amostral, dada por:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{2.30}$$

De acordo com MONTGOMERY (2004, p. 148) o desvio padrão s não é um estimador não-viesado para σ, isto é, o valor esperado do estimador deve ser igual ao parâmetro que está sendo estimado. Além disso, quando a distribuição é normal, então s na verdade estima $c_4\sigma$, onde:

$$c_4 = \left(\frac{2}{n-1}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \tag{2.31}$$

que depende do tamanho da amostra n. Detalhes sobre as distribuições amostrais da variância e do desvio padrão, estão no Apêndice 2.

E o desvio padrão de s é $\sigma\sqrt{1-c_4^{\,2}}$. Essas informações são utilizadas para definir a carta de controle *s*.

A construção da carta de controle s pode ser realizada considerando-se duas situações:

a) Primeiro o caso onde um valor padrão é conhecido para σ:

Como abordado anteriormente o valor esperado do estimador *s* é:

$$E(s) = c_4\sigma \tag{2.32}$$

Assim a linha central para a carta *s* é:

$$LC = c_4\sigma \tag{2.33}$$

Logo os limites de controle 3 sigmas são:

$$LSC = c_4\sigma + 3\sigma\sqrt{1-c_4^{\,2}} = \sigma\left(c_4 + 3\sqrt{1-c_4^{\,2}}\right) \tag{2.34}$$

$$LIC = c_4\sigma - 3\sigma\sqrt{1-c_4^{\,2}} = \sigma\left(c_4 - 3\sqrt{1-c_4^{\,2}}\right) \tag{2.35}$$

Costuma-se definir duas constantes:

$$B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-c_4^{\,2}} \tag{2.36}$$

$$B_6 = c_4 + 3\sqrt{1-c_4^{\,2}} \tag{2.37}$$

Conseqüentemente, os parâmetros da carta para σ conhecido são dados por:

$$LSC = B_6\sigma \tag{2.38}$$

$$LC = c_4\sigma \tag{2.39}$$

$$LIC = B_5\sigma \tag{2.40}$$

b) Segundo o caso onde o valor de σ é desconhecido:

Neste caso é necessário estimar o valor de σ através de dados passados. Suponha que *m* amostras preliminares estejam disponíveis, cada uma de tamanho *n*, e seja, S_i o desvio padrão da i-ésima amostra. A média dos *m* desvios padrão é:

$$\overline{S} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} S_i \tag{2.41}$$

A estatística $\frac{\overline{S}}{c_4}$ é um estimador não-viesado de σ. Então os parâmetros para a carta s são:

$$LSC = \overline{S} + 3\frac{\overline{S}}{c_4}\sqrt{1-c_4{}^2} = \overline{S}\left(1+\frac{3}{c_4}\sqrt{1-c_4{}^2}\right) \tag{2.42}$$

$$LC = \overline{S} \tag{2.43}$$

$$LIC = \overline{S} - 3\frac{\overline{S}}{c_4}\sqrt{1-c_4{}^2} = \overline{S}\left(1-\frac{3}{c_4}\sqrt{1-c_4{}^2}\right) \tag{2.44}$$

É usual definir as constantes:

$$B_3 = \left(1-\frac{3}{c_4}\sqrt{1-c_4{}^2}\right) \tag{2.45}$$

$$B_4 = \left(1+\frac{3}{c_4}\sqrt{1-c_4{}^2}\right) \tag{2.46}$$

Conseqüentemente, os limites de controle são:

$$LSC = B_4 \overline{S} \tag{2.47}$$

$$LC = \overline{S} \tag{2.48}$$

$$LIC = B_3 \overline{S} \tag{2.49}$$

2.1.12.4 Carta de Controle para Medidas Individuais

Existem casos onde o tamanho da amostra para o monitoramento do processo é $n = 1$, ou seja, a amostra consiste de uma unidade individual. Como por exemplo, toda a unidade fabricada é inspecionada de modo que não há razão para formar subgrupos, a taxa de produção é muito lenta, entre outras. Em tais situações, a carta de controle para unidades individuais é útil.

Nesse tipo de carta de controle, é comum utilizar a amplitude móvel de duas observações consecutivas como base para estimar a variabilidade do processo.

A amplitude móvel e os limites de controle são definidos como:

$$\text{Amplitude Móvel} \rightarrow MR_i = |x_i - x_{i-1}| \tag{2.50}$$

$$LSC = \overline{x} + 3 \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2} \tag{2.51}$$

$$LC = \overline{x} \tag{2.52}$$

$$LIC = \overline{x} - 3 \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2} \tag{2.53}$$

É necessário observar que $\overline{MR}$ é a média das amplitudes móveis de duas observações e $\overline{x}$ é a média amostral. Além disso, se uma amplitude móvel de $n = 2$ observações é usada, então $d_2 = 1{,}128$.

2.1.13 Cartas de Controle para Variáveis com Tamanho de Amostra Variável

As cartas de controle $\bar{x}$ e s são relativamente simples de usar nos casos onde os tamanhos das amostras são variáveis. Nesta situação, é necessário aplicar a abordagem da média ponderada no cálculo de $\bar{x}$ e $\bar{s}$.

2.1.13.1 Carta de controle $\bar{x}$ com tamanho de amostra variável

Para calcular os limites de controle para a carta $\bar{x}$ com tamanho de amostra variável é necessário tomar *m* amostras, onde n_i é o número de observações na i-ésima amostra, logo:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i} \tag{2.54}$$

$$\bar{S} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m} (n_i - 1) S_i^{\,2}}{\sum_{i=1}^{m} n_i - m} \right] \tag{2.55}$$

Os limites de controle são dados por:

$$LSC = \bar{x} + 3\frac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} \tag{2.56}$$

$$LC = \bar{x} \tag{2.57}$$

$$LIC = \bar{x} - 3\frac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} \tag{2.58}$$

Como $A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}}$ é um valor tabelado de acordo com o tamanho da amostra, os parâmetros do gráfico se tornam:

$$LSC = \bar{x} + A_3\bar{S} \tag{2.59}$$

$$LC = \bar{x} \tag{2.60}$$

$$LIC = \bar{x} - A_3\bar{S} \tag{2.61}$$

2.1.13.2 Carta de controle s com tamanho de amostra variável

Para a construção dos limites de controle da carta s com tamanho de amostra variável é necessário calcular a média $\bar{S}$. Assim, sendo *m* o número de amostras e n_i o número de observações na i-ésima amostra, então:

$$\bar{S} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m} (n_i - 1) S_i^{\,2}}{\sum_{i=1}^{m} n_i - m} \right] \tag{2.62}$$

Os limites de controle são dados por:

$$LSC = B_4\bar{S} \tag{2.63}$$

$$LC = \bar{S} \tag{2.64}$$

$$LIC = B_3\bar{S} \tag{2.65}$$

Onde:

$$B_3 = \left(1 - \frac{3}{c_4}\sqrt{1 - c_4^{\,2}} \right) \tag{2.66}$$

$$B_4 = \left(1 + \frac{3}{c_4}\sqrt{1 - c_4^{\,2}} \right) \tag{2.67}$$

2.1.14 Carta de Controle por Atributos

Há situações em que se tem um atributo do produto. O atributo pode ser "defeituoso" ou "não defeituoso". As quatro cartas de controle por atributos mais utilizadas segundo MONTGOMERY (2004, p. 177) são:

2.1.14.1 Carta P

Considera como medida de qualidade a fração de defeituosos produzidos pelo processo, ou seja, considera a razão entre o número de itens defeituosos e o total de itens. Segundo KURCREVSKI (2003, p. 45) esses itens podem apresentar várias características distintas que são examinadas concomitantemente, se no teste de qualquer destas características o item em consideração falhar este será classificado como defeituoso.

A construção da carta de controle para a proporção de defeituosos é feita com base na distribuição Binomial.

Suponha que o processo produtivo esteja operando sob controle, ou seja, todas as causas particulares de variação foram eliminadas. Então, a probabilidade de que um item qualquer seja classificado como defeituoso é $\theta = p$. Esta probabilidade é constante e os itens produzidos são v.a's i.i.d, ou seja, variáveis aleatórias independentes identicamente distribuídas, com distribuição Bernoulli $X_i \sim b(1, p)$. O parâmetro da distribuição Bernoulli é p. Quando se toma uma amostra de n unidades do processo e elas são inspecionadas em um dado instante e fixando-se $Y = \sum_{i=1}^{n} X_i$ como sendo o número de defeituosos existentes na amostra, então Y tem uma distribuição Binomial, $Y \sim b(n, p)$, com parâmetros n e p.

A fração de defeituosos $\hat{\theta} = \hat{p} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} = \frac{Y}{n}$ é uma estatística amostral muito importante. A média e do desvio padrão são dados por:

Média: $\mu_{\hat{p}} = E(\hat{\theta}) = E(\hat{p}) = E\left(\frac{Y}{n}\right) = \frac{1}{n}E(Y) = \frac{1}{n} \cdot \frac{np}{n} = p$ (2.68)

Desvio padrão: $\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{V(\hat{\theta})} = \sqrt{V\left(\frac{Y}{n}\right)} = \sqrt{\frac{1}{n^2}V(Y)} = \sqrt{\frac{1}{n^2} \cdot np(1-p)} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$ (2.69)

A carta de controle para a proporção de defeituosos pode ser construída das seguintes formas:

a) Se a verdadeira fração de defeituosos, p, do processo é conhecida:

$$LSC = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \tag{2.70}$$

$$LC = p \tag{2.71}$$

$$LIC = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \tag{2.72}$$

b) Se a verdadeira fração de defeituosos, p, do processo é desconhecida deve-se estimá-la a partir de dados observados nos períodos iniciais do processo. Neste caso deve-se estimar amostras de tamanho n. O valor de m (quantidade de amostras) em geral, é de 20 a 25. Então se há Y_i unidades não –conformes na amostra *i*, calculamos a fração não-conforme na i-ésima amostra como:

$$\hat{p}_i = \frac{Y_i}{n}, \qquad i=1,2,..., m \tag{2.73}$$

e a média dessas frações não-conformes das amostras individuais é:

$$\overline{p} = \frac{\sum_{i=1}^{m} y_i}{m \cdot n} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \frac{y_i}{n} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \hat{p}_i \tag{2.74}$$

A estatística $\overline{p}$ estima a fração não-conforme desconhecida, p. A linha central e os limites de controle para a fração não-conforme são definidos a seguir:

$$LSC = \overline{p} + 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n}} \tag{2.75}$$

$$LC = \overline{p} \tag{2.76}$$

$$LIC = \overline{p} - 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n}} \tag{2.77}$$

2.1.14.2 Carta NP

É similar a Carta P, com a diferença que o que se deseja é marcar o número de itens defeituosos na amostra. Se não se dispõe de um valor padrão para p, então $\overline{p}$ pode ser usado para estimar p.

$$LSC = n\overline{p} + 3\sqrt{n\overline{p}(1-\overline{p})} \tag{2.78}$$

$$LC = n\overline{p} \tag{2.79}$$

$$LIC = n\overline{p} - 3\sqrt{n\overline{p}(1-\overline{p})} \tag{2.80}$$

2.1.14.3 Carta C

De acordo com KURCREVSKI (2003, p. 54), um artigo é considerado defeituoso quando não satisfaz uma ou mais especificações; dessa forma, um artigo irá conter pelo menos um defeito. Em várias situações é perfeitamente possível que uma unidade contenha vários pontos onde as especificações não sejam satisfeitas, sendo assim, necessário a consideração do número de defeitos numa unidade do produto do que a simples classificação de perfeito ou defeituoso.

A construção da carta de controle para o número de defeitos segue a distribuição de Poisson com parâmetro $\theta = c$ para o número de defeitos X observado por unidade do produto é:

$$P(X = k) = \frac{c^k e^{-c}}{k!}, k = 0,1,2,... \tag{2.81}$$

A média da v.a. X é o parâmetro c e a variância também é c, logo o desvio padrão é $\sqrt{c}$ e os limites de controle a 3 desvios padrão, são:

$$LSC = c + 3\sqrt{c} \tag{2.82}$$

$$LC = c \tag{2.83}$$

$$LIC = c - 3\sqrt{c} \tag{2.84}$$

Caso o limite inferior de controle especificado acima se torne negativo assume valor zero.

Se o número médio de defeitos por unidade for desconhecido deve-se estimá-lo usando o período inicial de produção. Neste caso, a carta de controle terá como linha central o parâmetro dado por:

$$\overline{c} = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_i}{k} \tag{2.85}$$

onde k é a quantidade total de amostras e x_i o número de defeitos observado na i-ésima amostra.

2.1.14.4 Carta U

Supondo que cada ponto da carta de controle foi obtido com base em n unidades de inspeção, tem-se que a variável aleatória Y (número de defeitos nas n unidades) terá distribuição de Poisson com parâmetro nc (soma de variáveis aleatórias Poisson com parâmetro θ é Poisson com parâmetro igual a $n\theta$). Desta forma a distribuição de $Y \sim P(nc)$ tem função de probabilidade dada por:

$$P(Y = k) = \frac{(nc)^k e^{-nc}}{k!} \tag{2.86}$$

E constrói-se a carta da mesma forma que o anterior. Porém, existe uma outra abordagem para o problema. É possível trabalhar-se com o número médio de defeitos por unidade de inspeção. Se Y é o número de defeitos presentes nas n unidades, então o número médio de defeitos por unidade é:

$$U = \frac{Y}{n}, \text{ Y} \sim \text{P(nc)} \tag{2.87}$$

Conseqüentemente os parâmetros da v.a. U são:

$$\mu = E(U) = E\left(\frac{Y}{n}\right) = \frac{1}{n}E(Y) = \frac{1}{n}nc = c \tag{2.88}$$

$$\sigma^2 = V(U) = V\left(\frac{Y}{n}\right) = \frac{1}{n^2}V(Y) = \frac{nc}{n^2} = \frac{c}{n} \tag{2.89}$$

O estimador do parâmetro é:

$\bar{u} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} u_i$ média do número médio por unidade em m amostras de tamanho n. (2.90)

Os limites de controle desta carta:

$$LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \tag{2.91}$$

$$LC = \bar{u} \tag{2.92}$$

$$LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \tag{2.93}$$

A carta construída desta forma é chamada de carta de controle do número de defeitos por unidade e denotado por Carta U.

2.1.15 Carta de Controle para a Fração Não-Conformes (Defeituosos) com Tamanho Variável de Amostra

As cartas de controle para a fração não-conformes com tamanho variável de amostra podem ser construídas por meio da determinação de limites de controle para cada amostra individual que se baseiam no tamanho específico da amostra. Isto é, se a i-ésima tem tamanho n_i, então os limites de controle superior e inferior são:

$$p \pm 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_i}} \tag{2.94}$$

No entanto, se a verdadeira fração de defeituosos, p, do processo é desconhecida deve-se estimá-la a partir de dados observados nos períodos iniciais do processo. Neste caso:

$$\overline{p} = \frac{\sum_{i=1}^{m} D_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i} \tag{2.95}$$

onde: $\sum_{i=1}^{m} D_i$ indica a quantidade de não-conformes encontrados nas m amostras.

Portanto, pode-se construir esta carta utilizando a linha central fixada em $\overline{p}$ e os seguintes limites:

$$LSC = \overline{p} + 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n_i}} \tag{2.96}$$

$$LC = \overline{p} \tag{2.97}$$

$$LIC = \overline{p} - 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n_i}} \tag{2.98}$$

2.1.16 Carta de Controle para Não-Conformidades (Defeitos) com Tamanho Variável de Amostra

As cartas de controle para não-conformidades são ocasionalmente formadas usando inspeção de 100% do produto. Quando esse método de amostragem é usado, o número de unidades de inspeção em uma amostra será, usualmente, não-constante. Por exemplo, a inspeção de rolos de tecidos ou papel em geral leva a uma situação em que o tamanho da amostra varia, porque nem todos os rolos são exatamente do mesmo comprimento ou largura.

Se uma carta de controle para não-conformidades (Carta C) for utilizada nesta situação, tanto a linha central como os limites de controle variarão com o tamanho da amostra, o que tornaria sua interpretação muito difícil. O procedimento adequado seria utilizar uma carta de controle para não-conformidades por unidade (carta u), pois este gráfico terá uma linha central constante, entretanto os seus limites de controle variarão inversamente com a raiz quadrada do tamanho da amostra *n* (MONTGOMERY, 2004, p. 199).

Então, seus limites de controle são:

$$LSC = \overline{u} + 3\sqrt{\frac{\overline{u}}{n_i}} \tag{2.99}$$

$$LC = \overline{u} = \frac{\text{número total de não - conformidades encontrados nas } m \text{ amostras}}{\text{número total de unidades de inspeção}} \tag{2.100}$$

$$LIC = \overline{u} - 3\sqrt{\frac{\overline{u}}{n_i}} \tag{2.101}$$

2.1.17 Tamanho e freqüência de amostragem

MONTGOMERY (2004, p.103), argumenta o fato de que num planejamento de carta de controle deve-se especificar tanto o tamanho da amostra quanto a freqüência de amostragem. Em geral, a utilização de amostras maiores torna mais fácil a detecção de pequenas variações no processo, e em caso contrário, com pequenas amostras se detecta grandes variações. Portanto, quando se escolhe o tamanho da amostra, deve-se levar em conta qual o tamanho da mudança que se quer detectar.

É necessário observar que a escolha do tamanho da amostra e da freqüência do processo de amostragem é um problema de alocação de esforços, pois na maioria das vezes, tem-se à disposição uma quantidade limitada de recursos para o processo de amostragem. Dessa forma, a escolha é baseada em selecionar pequenas amostras em intervalos curtos ou selecionar amostras maiores em intervalos maiores.

Afirmar qual estratégia será sempre a melhor é uma tarefa difícil. Mas, a prática corrente hoje na indústria é selecionar amostras menores com maior freqüência. Isso ocorre, devido ao fato de que se o intervalo entre as amostras é muito grande, corre-se o risco de produzir muitos artigos defeituosos antes de surgir uma oportunidade de detectar uma mudança nos níveis de operação do processo. Nesta situação, se o custo associado à fabricação de produtos defeituosos for relativamente elevado, as considerações econômicas favorecem a seleção de amostras menores.

Outra maneira de avaliar as decisões relativas ao tamanho da amostra e freqüência de amostragem é através da ARL da carta de controle. Essencialmente ARL (*average run lenght*) é a média do número de pontos que devem ser plotados antes de um ponto indicar uma condição de fora de controle. A ARL foi estabelecida considerando-se o problema do número de amostras a serem tomadas do processo até detectar a ocorrência de um ponto fora dos limites de controle. Portanto se a probabilidade do ponto situar-se fora dos limites é p, então se tem ao retirarem-se as amostras uma seqüência de Bernoulli do tipo $X \sim b(1, p)$. Assim, o número de amostras aleatórias necessárias até a ocorrência do primeiro sucesso (ponto fora dos limites) tem uma distribuição geométrica com parâmetro p.

A função de probabilidade da distribuição geométrica com parâmetro p é dada por:

$$P(X = x) = p \cdot (1-p)^{x-1}, \quad x = 1,2,3,\ldots \tag{2.102}$$

Portanto, a sua média é o número esperado de amostras aleatórias. Então tem-se que:

$$E(X) = \sum_{x=1}^{\infty} x \cdot P(X = x)$$

$$E(X) = \left[p + p(1-p) + p(1-p)^2 + p(1-p)^3 + \cdots\right]$$

$$E(X) = p \cdot \left[1 + (1-p) + (1-p)^2 + (1-p)^3 + \cdots\right]$$

$$E(X) = p \cdot \left[\frac{1}{1-(1-p)} + \frac{(1-p)}{1-(1-p)} + \frac{(1-p)^2}{1-(1-p)} + \cdots\right]$$

$$E(X) = p \cdot \left[\frac{1}{p} + \frac{(1-p)}{p} + \frac{(1-p)^2}{p} + \cdots\right]$$

$$E(X) = \left[1 + (1-p) + (1-p)^2 + \cdots\right]$$

Considerando – se a soma de uma série geométrica infinita, tem-se que:

$$E(X) = \left[\frac{1}{1-(1-p)}\right]$$

$$E(X) = \frac{1}{p} \tag{2.103}$$

Logo $\frac{1}{p}$ = ARL, ou seja, é o número de pontos que devem ser marcados antes que um ponto indique uma condição fora de controle.

A título de ilustração, considere um processo onde são fabricados anéis de pistão para motor dos quais extraem-se amostras a cada hora MONTGOMERY (2004, p. 104). Então se para uma carta $\bar{x}$ com 3 sigmas, $p = 0{,}0027$, ou seja, a probabilidade de que um ponto esteja fora do limite quando o processo está sob controle.

Logo: $ARL = \frac{1}{p} = \frac{1}{0{,}0027} = 370$

Isso significa que se o processo está sob controle, só haverá um indicativo de processo fora da média, após 370 amostras, em média, isto é, mesmo que o processo

permaneça sob controle, um sinal de fora de controle será emitido a cada 370 amostras.

Ocasionalmente, é conveniente expressar o desempenho da carta de controle em termos de seu tempo médio para alerta (TMA). Se as amostras são tomadas a intervalos fixo de tempo h horas, então:

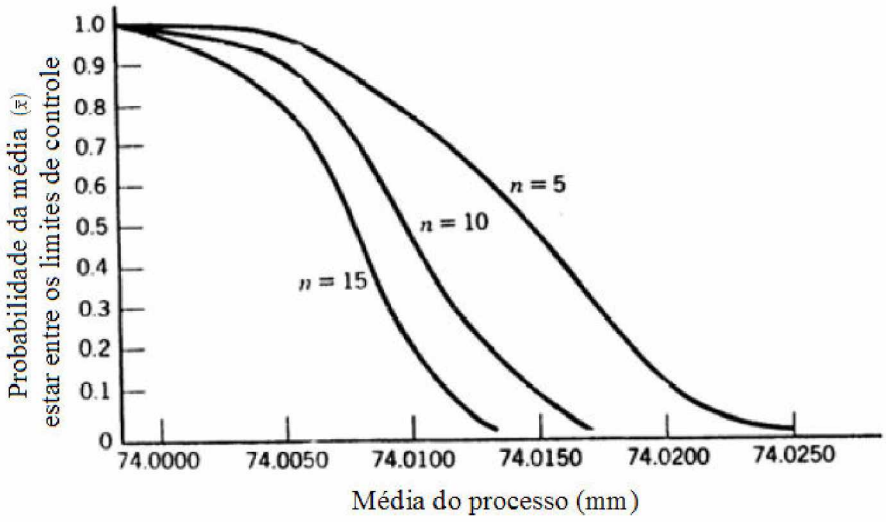
$$TMA = ARL \times h \tag{2.104}$$

Considere-se o mesmo processo de anel de pistão. Supondo-se que se estivesse usando uma amostra de tamanho $n = 5$ e que o processo tornar-se-ia fora de controle quando a média ultrapassasse $74{,}015mm$. Na Curva Característica a seguir, vê-se que quando a média do processo é $74{,}015mm$ a probabilidade de x estar entre o limite de controle é aproximadamente $0{,}5$. Portanto, p na equação acima é $0{,}5$ e a ARL é:

$$ARL = \frac{1}{p} = \frac{1}{0{,}5} = 2 \tag{2.105}$$

Figura 2.7 - Curva característica de operação da carta de controle $\bar{x}$

Adaptado Montgomery (1985, p. 111)



FONTE: KURCREVSKI, C. (2003, p. 43)

Assim, a carta de controle requer duas amostras para detectar que há mudança no processo, ou seja, $TMA = 2 \times 1 = 2$, duas horas é o intervalo entre primeira mudança e sua detecção.

Supondo-se agora que esse período (2 horas) seja inaceitável, tendo em vista que a produção de pistões com média de $74{,}015mm$ resulta em um excessivo custo de escrapeamento e atraso na montagem das máquinas. Como se pode reduzir o tempo para detectar a condição de fora de controle? Uma alternativa é tomar amostras com maior freqüência. Por exemplo, se fossem tomadas amostras a cada meia hora, então o tempo médio para sinalização seria de $TMA = 2 \times {}^{1}\!/_{2} = 1$, ou seja, haveria um intervalo de apenas uma hora entre a ocorrência do problema e a sua detecção. Uma outra alternativa é aumentar o tamanho da amostra. Por exemplo, tomando-se $n = 10$, então na Curva Característica, demonstra-se que a probabilidade de x estar entre os limites de controle quando a média do processo é $74{,}015mm$ é aproximadamente $0{,}1$. Assim, $p = 0{,}9$ e a ARL seria calculado por:

$$ARL = \frac{1}{p} = \frac{1}{(1-0{,}1)} = \frac{1}{0{,}9} = 1{,}11 \qquad (2.106)$$

Logo, o aumento do tamanho da amostra permitiu a detecção da mudança duas vezes mais rápida do que o processo anterior. Isto é importante para detectar mudança na primeira hora após a ocorrência. Neste caso, dois planejamentos de carta de controle seriam:

Planejamento 1	**Planejamento 2**
Tamanho da amostra: n =5	Tamanho da amostra: n = 10
Freqüência da amostra: meia hora	Freqüência da amostra: a cada hora

Para responder a questão de qual freqüência da amostra é mais precisa, devem-se considerar vários fatores em conjunto, incluindo o custo da amostragem, as perdas associadas à operação do processo fora de controle, a taxa de produção e a probabilidade com que ocorrem os vários tipos de mudanças do processo.

2.1.18 Curva Característica de Operação

A seguir serão apresentadas a definição e a construção das curvas características de operação para as cartas de controle $\bar{x}$, R, P, C e U, de acordo com MONTGOMERY (2004).

2.1.18.1 Curva Característica de Operação para a Carta $\bar{x}$

A capacidade da carta $\bar{x}$ detectar mudanças na qualidade de um processo é descrita pela respectiva curva característica de operação. A construção desta curva pode ser feita da seguinte forma:

Considere-se em primeiro lugar a curva característica da operação CCO para uma carta $\bar{x}$ com desvio padrão σ, conhecido e constante. Se a média do processo muda de um valor μ_0, onde o processo esta sob controle, para um outro valor $\mu_1 = \mu_0 + k\sigma$, a probabilidade da carta de controle não detectar esta mudança na primeira amostra após esta ocorrência é chamada de risco β (ou erro β) e, é dada por:

$$\beta = P\left[LIC \leq \bar{x} \leq LSC \middle| \mu = \mu_1 = \mu_0 + k\sigma\right] \tag{2.107}$$

Então, como $\bar{X} \sim N\left(\mu, \sigma^2/n\right)$ e os limites de controle são dados por:

$$LSC = \mu_0 + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{2.108}$$

$$LIC = \mu_0 - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{2.109}$$

é possível escrever:

$$\beta = \phi\left[\frac{LSC - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \phi\left[\frac{LIC - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right]$$

$$\beta = \phi\left[\frac{\mu_0 + 3\sigma/\sqrt{n} - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \phi\left[\frac{\mu_0 - 3\sigma/\sqrt{n} - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right]$$

$$\beta = \phi\left[\frac{\mu_0 + 3\sigma/\sqrt{n} - \mu_0 - k\sigma}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \phi\left[\frac{\mu_0 - 3\sigma/\sqrt{n} - \mu_0 - k\sigma}{\sigma/\sqrt{n}}\right]$$

$$\beta = \phi\left[\frac{3\sigma/\sqrt{n} - k\sigma}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \phi\left[\frac{-3\sigma/\sqrt{n} - k\sigma}{\sigma/\sqrt{n}}\right]$$

$$\beta = \phi\left[3 - k\sqrt{n}\right] - \phi\left[-3 - k\sqrt{n}\right] \tag{2.108}$$

onde ϕ representa a função de distribuição da normal padrão.

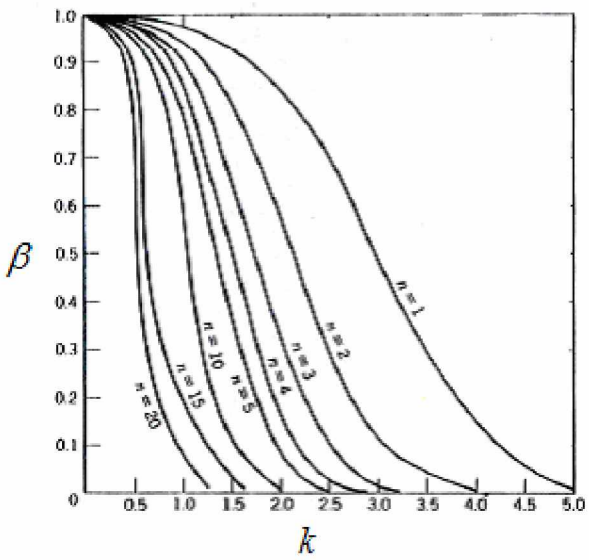
Assim, supondo que o tamanho da amostra é que $n = 5$, então a chance da carta não detectar uma mudança de 2σ, ou seja, a média saltou de μ_0 para $\mu_1 = \mu_0 + 2\sigma$, é de:

$$\begin{aligned} \beta &= \phi\left(3 - 2\sqrt{5}\right) - \phi\left(-3 - 2\sqrt{5}\right) \\ \beta &= \phi(-1{,}47) - \phi(-7{,}37) \\ \beta &= 0{,}071 \end{aligned} \tag{2.109}$$

Esse é o risco β, ou a probabilidade de não detectar de uma mudança no valor do desempenho do processo de magnitude igual a 2σ . E é claro, a probabilidade de detectar tal mudança, na primeira amostra subseqüente é 1 - β = 0,929. E para detectar a mudança na segunda amostra, se tem: $\beta \cdot (1 - \beta) = 0{,}071 \cdot (0{,}929) = 0{,}065$.

Para construir a curva característica de operação da carta $\bar{x}$ é necessário *plotar* o risco β *versus* a grandeza da mudança k, para diversos tamanhos de amostras *n*.

Figura 2.8 - Curva característica de operação para a carta $\bar{x}$ com limite de 3 sigmas β= P(não se detectar um deslocamento de $k\sigma$ na média na primeira amostra depois do deslocamento)



FONTE: MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: LTC, 2004, p. 146.

Por meio da figura 2.8 é possível observar que para tamanhos de amostras menores que 10, a carta $\bar{x}$ não é particularmente eficiente para detectar pequenos deslocamentos na primeira amostra após o deslocamento, por exemplo, de k=1,5 ou menos.

2.1.18.1.2 ARL para a Carta $\bar{x}$

A variável aleatória correspondente ao número de amostras que se toma até se detectar a mudança segue uma distribuição Geométrica com parâmetro $\theta = 1-\beta$ e como visto anteriormente tem a seguinte função de probabilidade:

$$P(X = x) = \beta^{x-1}(1-\beta), \text{ com } x = 1,2,3,\cdots \text{ e } 0 < \beta < 1 \tag{2.110}$$

Assim, para qualquer carta de controle a ARL pode ser expressa por:

$$ARL = \frac{1}{P(\text{pontos fora dos limites de controle})} \tag{2.111}$$

Ou ainda: $ARL = \frac{1}{1-\beta}$ quando o processo está fora de controle e (2.112)

$$ARL = \frac{1}{\alpha} \text{ nos processos sob controle.} \quad (2.113)$$

Para melhor entendimento, será abordado um exemplo encontrado em MONTGOMERY (2004, p. 145). Supondo que o deslocamento é $1{,}0\sigma$ e $n = 5$, então pela curva característica de operação, obtém-se β=0,75 aproximadamente. Logo o comprimento médio da corrida (ARL), ou seja, o número de amostras necessárias para detectar este deslocamento será:

$$ARL = \frac{1}{1-\beta} = \frac{1}{1-0{,}75} = \frac{1}{0{,}25} = 4 \quad (2.114)$$

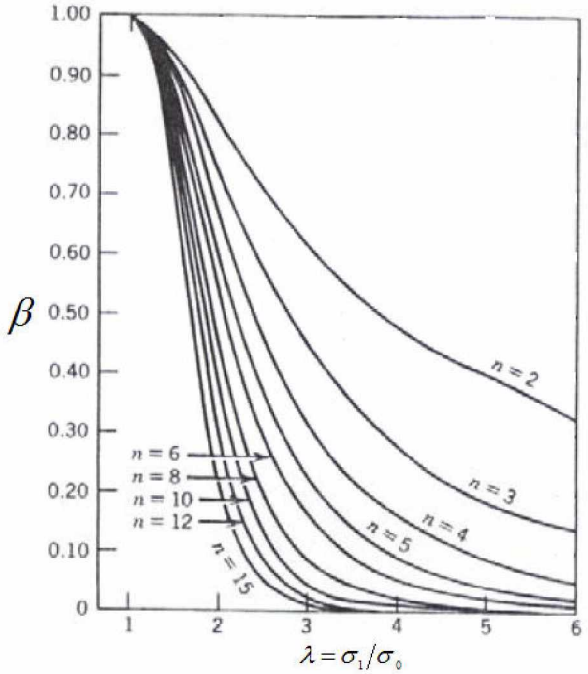
Tal fato fornece um argumento que suporta o uso de pequenos tamanhos de amostras na carta $\bar{x}$. Ainda que pequenos tamanhos de amostras resultem em valores relativamente grandes para o risco β, como as amostras são coletadas e testadas periodicamente, há uma chance muito boa de que o deslocamento seja detectado rapidamente, embora talvez, não na primeira amostra subseqüente ao deslocamento.

2.1.18.2 Curva Característica de Operação da Carta R

Para construir a curva característica de operação CCO para a carta R, emprega-se a distribuição da amplitude relativa $W = R/\sigma$. Suponha que o valor sob controle do desvio padrão seja σ_0. Então a CCO representa a probabilidade de não se detectar o deslocamento para um novo valor de σ, ou seja, $\sigma_1 > \sigma_0$, na primeira amostra depois do deslocamento.

A CCO plota β (probabilidade de não detectar mudança após o deslocamento na primeira amostra) *versus* $\lambda = \frac{\sigma_1}{\sigma_0}$ (a razão do novo para o antigo desvio padrão) para vários valores de *n*. Não cabe aqui a computação desta probabilidade.

Figura 2.9 - Curva característica de operação para a carta R com limite 3 sigmas



FONTE: MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: LTC, 2004, p. 146.

Observando a figura, e possível perceber que a carta R não é muito eficiente para detectar deslocamento no processo para pequenos tamanhos de amostras.

MONTGOMERY (2004, p. 146), mostra tal fato por meio do seguinte exemplo: Se o desvio padrão dobra, isto é, $\lambda = \frac{\sigma_1}{\sigma_0} = 2$, que é um deslocamento bastante grande, então amostras de tamanho 5, tem um valor para $\beta = 0{,}60$, ou seja, uma probabilidade aproximadamente de 40% de detectar a mudança em uma amostra subseqüente. Por essa razão é que a maioria dos analistas de controle de qualidade acha que a carta R é insensível a pequenos ou moderados deslocamentos para tamanhos usuais de amostras, tais como n = 4, 5 e 6.

2.1.18.3 Curva Característica de Operação da Carta P

A função característica de operação da carta de controle para a fração não-conforme pode ser construída por meio da visualização gráfica da probabilidade de aceitação incorreta da hipótese de controle estatístico (erro tipo II: aceita a probabilidade de que o processo está sob controle, quando na verdade não está) *versus* a fração não-conforme do processo.

Em síntese, a CCO fornece a capacidade de detectar uma mudança na fração não-conforme do processo, do valor nominal $\overline{p}$ para qualquer outro valor p.

A probabilidade do erro tipo II para a carta de controle para a fração não-conforme pode ser calculado por:

$$\beta = P\{\hat{p} < LSC|p\} - P\{\hat{p} \leq LIC|p\}, \text{ como } \hat{p} = \frac{x}{n} \text{ então:}$$
$$\beta = P\{x < nLSC|p\} - P\{x \leq nLIC|p\} \tag{2.115}$$

Como x é uma variável aleatória binomial com parâmetros n e p, o erro β definido na equação anterior pode ser obtido da distribuição binomial acumulada, pois:

$$P\{x \leq na\} = \sum_{x=0}^{[na]} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \tag{2.116}$$

Supondo que $p = 0{,}01$ e $n = 50$, o valor de $P\{x \leq 1|p\} = 0{,}9106$, pois:

$$P\{x \leq 1|00{,}1\} = \sum_{x=0}^{[1]} \binom{50}{x} 0{,}01^x (1-0{,}01)^{n-x} =$$
$$P\{x \leq 1|00{,}1\} = \binom{50}{0} 0{,}01^0 (1-0{,}01)^{50-0} + \binom{50}{1} 0{,}01^1 (1-0{,}01)^{50-1}$$
$$P\{x \leq 1|00{,}1\} = 0{,}9106$$

Conforme apresentado na tabela 2.1 a seguir.

Tabela 2.1 - Cálculos para a construção da CCO para uma carta de controle para a fração não-conforme com n=50, LIC=0,0303 e LSC=0,3697

p	$P\{x \leq 18 \mid p\}$	$P\{x \leq 1 \mid p\}$	$\beta = P\{x \leq 18 \mid p\} - P\{x \leq 1 \mid p\}$
0,01	1,0000	0,9106	0,0894
0,03	1,0000	0,5553	0,4447
0,05	1,0000	0,2794	0,7206
0,10	1,0000	0,0338	0,9662
0,15	0,9999	0,0291	0,9708
0,20	0,9975	0,0002	0,9973
0,25	0,9713	0,0001	0,9712
0,30	0,8594	0,0000	0,8594
0,35	0,6216	0,0000	0,6216
0,40	0,3356	0,0000	0,3356
0,45	0,1273	0,0000	0,1273
0,50	0,0325	0,0000	0,0325
0,55	0,0053	0,0000	0,0053

FONTE: MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: LTC, 2004, p. 192.

A tabela ilustra os cálculos efetuados para gerar a CCO para a carta de controle para a fração de não-conforme, com parâmetros n=50, LIC= 0,0303 e LSC= 0,3697.

Com estes parâmetros a equação se torna:

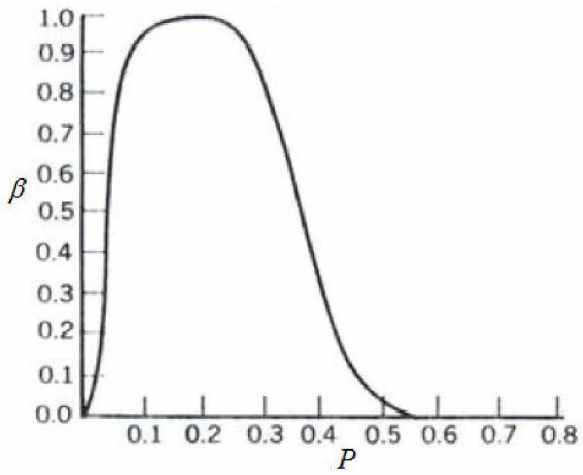
$$\beta = P\{x < nLSC \mid p\} - P\{x \leq nLIC \mid p\} =$$
$$\beta = P\{x < (50)(0,3697) \mid p\} - P\{x \leq (50)(0,0303) \mid p\}$$
$$\beta = P\{x < 18,49 \mid p\} - P\{x \leq 1,52 \mid p\}$$

No entanto, x (número de itens defeituosos em uma amostra) deve ser inteiro, então:

$$\beta = P\{x \leq 18 \mid p\} - P\{x \leq 1 \mid p\}$$

Assim a CCO é esboçada como mostrada na Figura 2.10 a seguir:

Figura 2.10 - Curva característica de operação para a carta de controle para a fração não-conforme com $\bar{p} = 0{,}20$, LIC=0,0303 e LSC=0,3697



FONTE: MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: LTC, 2004, p. 192.

2.1.18.3.1 ARL para a Fração de Não-Conforme

Conforme MONTGOMERY (2004, p. 191) é possível calcular o comprimento médio da corrida (ARL) para a fração não-conforme da seguinte maneira:

$$ARL = \frac{1}{P(\text{pontos fora dos limites de controle})} \tag{2.117}$$

Se o processo estiver sob controle, então:

$$ARL = \frac{1}{\alpha} \tag{2.118}$$

E caso esteja fora de controle: $ARL = \frac{1}{1-\beta}$ (2.119)

Essas probabilidades (α, β) podem ser calculadas diretamente da distribuição binomial ou lidas na CCO. Para representar esta situação, será ilustrado com um exemplo retirado de MONTGOMERY (2004, p.191). Considerando a carta de controle para a fração não conforme usada nos cálculos da CCO. Essa carta tem parâmetros n=50, LIC = 0,0303 e LSC = 0,3697 como mostrado anteriormente, e a linha central é $\bar{p} = 0{,}20$. Por meio da tabela 2.1, observa-se que o processo está sob controle com

$p = \overline{p}$, a probabilidade de um ponto ser plotado sob controle é 0,9973. Neste caso, $\alpha = 1 - \beta = 0{,}0027$ e o valor de ARL é: $ARL = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0{,}0027} = 370$

Assim, se o processo está realmente sob controle ocorrerá um falso alarme de fora de controle a cada 370 amostras aproximadamente. Suponha, agora, que o processo passa para fora de controle com $p = 0{,}3$. A tabela 2.1, citada acima mostra que se $p = 0{,}3$ então $\beta = 0{,}8594$. Assim: $ARL = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0{,}8594} = 7$

Portanto, serão necessárias em média, sete amostras para detectar essa mudança, com um ponto fora dos limites de controle. Se isso não é satisfatório, deve-se então aumentar o tamanho da amostra, resultando em um menor valor de β e um menor ARL. Outra opção seria a redução do intervalo entre as amostras, ou seja, ao invés de extrair amostras a cada 1 hora, por exemplo, deve-se extrair amostras a cada meia hora, assim, será preciso 3,5 horas em média para detectar a mudança.

2.1.18.4 Curva Característica de Operação para as Cartas C e U

As curvas características de operação CCO, tanto para a carta C quanto para a carta U, podem ser obtidas da distribuição de Poisson.

Para a carta C, a CCO plota a probabilidade β de um erro tipo II (aceitação incorreta de controle estatístico) *versus* o verdadeiro número médio de defeitos c.

A expressão β é:

$$\beta = P\{x < LSC|c\} - P\{x \leq LIC|c\} \tag{2.118}$$

onde x é uma variável aleatória de Poisson com parâmetro c.

Tomando um exemplo, extraído de MONTGOMERY (2004, p. 202), com LIC=6,48 e LSC= 33,22, a equação se torna:

$$\beta = P\{x < 33{,}22|c\} - P\{x \leq 6{,}48|c\}$$

Como o número de defeitos deve ser inteiro, isso equivale a:

$$\beta = P\{x \leq 33|c\} - P\{x \leq 6|c\}$$

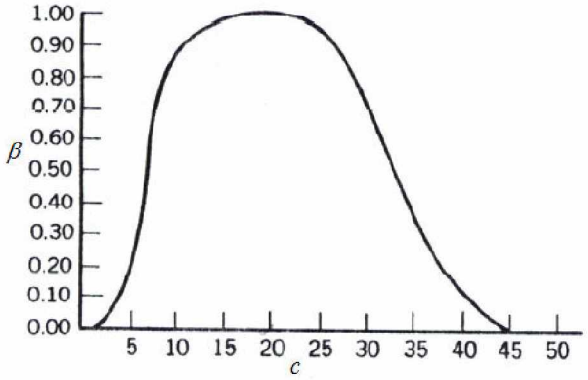
Estas probabilidades são calculadas na tabela abaixo para os valores de c e mostradas também na CCO:

Tabela 2.2 - Cálculos da CCO para a carta C com LSC=33,22 e LIC=6,48

c	$P\{x \leq 33\|c\}$	$P\{x \leq 6\|c\}$	$\beta = P\{x \leq 33\|c\} - P\{x \leq 6\|c\}$
1	1,000	0,999	0,001
3	1,000	0,966	0,034
5	1,000	0,762	0,238
7	1,000	0,450	0,550
10	1,000	0,220	0,780
15	0,999	0,008	0,991
20	0,997	0,000	0,997
25	0,950	0,000	0,950
30	0,744	0,000	0,744
33	0,546	0,000	0,546
35	0,410	0,000	0,410
40	0,151	0,000	0,151
45	0,038	0,000	0,038

FONTE: MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: LTC, 2004, p. 203.

Figura 2.11- CCO de uma carta C, com LIC=6,48 e LSC= 33,22



FONTE: MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: LTC, 2004, p. 202.

Para a carta U, é possível obter a CCO a partir da seguinte maneira, conforme abordado por MONTGOMERY (2004, p.202).

$$\begin{aligned} \beta &= P\{x < LSC|u\} - P\{x \leq LIC|u\} \\ \beta &= P\{c < nLSC|u\} - P\{c \leq nLIC|u\} \\ \beta &= P\{nLIC < x \leq nLSC|u\} \\ \beta &= \sum_{x=<nLIC>}^{[nLSC]} \frac{e^{-nu}(nu)^x}{x!} \end{aligned} \tag{2.119}$$

Onde: $< nLIC >$: menor inteiro maior ou igual a $nLIC$;

$nLSC$: maior inteiro menor ou igual a $nLSC$.

Os limites do somatório decorrem do fato de que o número total de não-conformidades observadas em uma amostra de n unidades inspecionadas deve ser um inteiro.

2.1.19 Capacidade do Processo

Os estudos de capacidade de processos têm por objetivo verificar a capacidade de um processo em fabricar um produto que atenda às especificações de engenharia. Segundo SLACK et al. (2002, p. 344) a definição da capacidade de uma operação "é o máximo nível de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo em que o processo pode realizar sob condições normais de operação".

Para COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI (2005, p. 124), os índices de capacidade de processo "são parâmetros adimensionais que indiretamente medem quanto o processo consegue atender às especificações". Não há uma relação fixa entre o seu valor e a porcentagem de itens que o processo é capaz de produzir dentro das especificações.

Existem diversas técnicas para a análise da capacidade do processo, dentre eles os índices *Cp, Cpk* e *Cpkm* que serão abordados a seguir.

2.1.19.1 Índice Cp (Capacidade Potencial)

A razão da capacidade de um processo (RCP) Cp é uma forma de expressar quantitativamente a capacidade de um processo. E sua fórmula é dada por:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \tag{2.120}$$

onde: LSE e LIE são os limites superior e inferior de especificação, respectivamente.

Como σ normalmente não é conhecido, tem-se a sua estimativa dada por:

$$\hat{Cp} = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \tag{2.121}$$

A razão da capacidade de um processo Cp e outras razões são amplamente utilizadas nas indústrias. De acordo com COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI (2005, p. 125) "o índice Cp é insensível a mudanças na média do processo, portanto, só deve ser utilizado quando a média do processo permanece centrada no ponto médio das especificações".

A interpretação do resultado do calculo do Cp é a seguinte:

Se $Cp \geq 1$ o processo é dito capaz;

Se $Cp < 1$ o processo é dito incapaz;

Para enfatizar o conceito do índice Cp, KURCREVSKI (2003, p. 82) menciona que o Cp mede a dispersão do processo em relação aos limites de especificação sem levar em conta a localização da média do processo, sendo possível que se tenha uma porcentagem de itens fora das especificações, mesmo com um Cp alto, devido a uma localização da média do processo suficientemente próxima do limite de especificação.

2.1.19.2 Índice Cpk (Capacidade Real)

MONTGOMERY (2004, p.227) argumenta que a razão da capacidade de um processo Cp, como dito anteriormente não leva em conta onde a média do processo está localizada em relação às especificações, mede simplesmente a dispersão das especificações em relação à dispersão seis-sigma no processo.

Neste contexto, uma forma de refletir a capacidade de um processo com mais precisão é utilizar uma nova razão da capacidade do processo que leve em conta a centralização do mesmo.Tal grandeza é denotada por Cpk e nada mais e do que a RCP unilateral, ou seja, razão da capacidade de um processo unilateral que indicará o valor da capacidade de acordo com o limite de especificação mais próximo da média do processo. Sua fórmula é dada por:

$$Cpk = Min\{Cps, Cpi\} \tag{2.122}$$

onde:

$$Cpi = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \tag{2.123}$$

$$Cps = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \tag{2.124}$$

Se o processo está descentrado $Cpi \neq Cps$. Assim:

- Se $Cpi > Cps$ o processo é dito incapaz superiormente, ou seja, produz itens acima da média do processo, estando descentrado à direita;

- Se $Cps > Cpi$ o processo é dito incapaz inferiormente, ou seja, produz itens abaixo da média do processo, estando descentrado à esquerda.

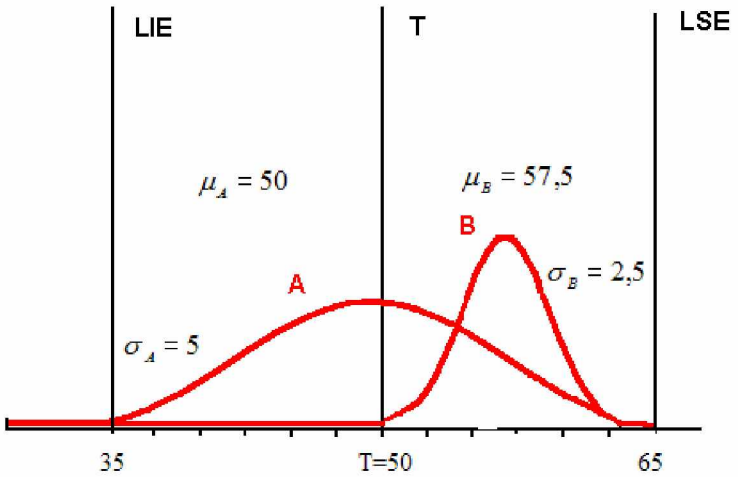
De um modo geral, se a média do processo não pertencer ao intervalo das especificações o índice Cpk assumirá valores negativos. Além disso, se $Cp = Cpk$, o processo está centrado no ponto médio das especificações, e quando $Cpk < Cp$, o processo está descentrado.

A magnitude de *Cpk* em relação à *Cp* é uma medida direta de quão fora do centro o processo está operando. Por esta razão, é possível dizer que *Cp* mede a capacidade potencial no processo, enquanto que *Cpk* mede a capacidade efetiva.

De acordo com BOYLES[5] (1991) apud KURCREVSKI (2003, p. 84) o índice *Cpk* não mede adequadamente a centralização do processo; para confirmar esta afirmação o autor dispõe de técnicas gráficas, onde através de comparações dos índices demonstra que *Cpk* pode falhar na distinção de processos fora do alvo e dentro do alvo.

MONTGOMERY (2004, p. 229) menciona tal situação por meio do seguinte exemplo.

Figura 2.12 - Dois processos com $Cpk = 1{,}0$
(Adaptado de MONTGOMERY – 2004)



FONTE: MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: LTC, 2004, p. 229.

Neste exemplo, são apresentados dois processos A e B, com seus respectivos valores para média, limites de especificação e desvio padrão:

[5] BOYLES, R. A.. **"The Taguchi Capability Index"**. Journal of Quality Technology, volume 23, 17-26, (1991).

Tabela 2.3 - Dois processos A e B com $Cpk = 1$
(Adaptado de Montgomery, 2004)

	LIE	LSE	μ	T (alvo)	σ	Cp	Cpk
Processo A	35	65	50	50	5	1	1,0
Processo B	35	65	57,5	50	2,5	2	1,0

FONTE: Adaptado de MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico do processo**. São Paulo: LTC, 2004, p. 227.

Ambos os processos A e B têm $Cpk = 1{,}0$, mas sua centralização é nitidamente diferente. Para o processo A, $Cp = Cpk = 1{,}0$ o que implica que o processo está centrado, enquanto para o processo B, $Cp = 2{,}0 > Cpk = 1{,}0$, o que implica que o processo está descentrado. Para qualquer valor fixo de μ no intervalo de LIE e LSE, Cpk depende inversamente de σ e aumenta quando σ tende a zero. Esta característica pode tornar Cpk inadequado como medida de centralização, pois um grande valor de Cpk nada nos diz sobre a localização da média no intervalo de LIE e LSE.

Uma forma de contornar esta dificuldade consiste em utilizar uma razão de capacidade do processo que seja um melhor indicador de centralização. Este indicador é dado por $Cpkm$.

2.1.19.3 Índice *Cpkm*

O índice $Cpkm$ é definido de forma análoga ao Cp com a diferença de que ao invés do desvio padrão σ usa-se a raiz quadrada do erro quadrático médio. Assim, sua expressão é dada por:

$$Cpkm = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{EQM}} \tag{2.125}$$

Onde: $EQM = E(x-T)^2 = V(x-T) + [E(x-T)]^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2$, pois $V(T) = 0$.

Sendo $T =$ alvo (média dos limites das especificações) e μ a média do processo, que é geralmente estimada por $\bar{x}$. Assim, é possível escrever:

$$Cpkm = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \tag{2.126}$$

Caso o desvio padrão não seja conhecido é possível estimá-lo por s, assim $Cpkm$ pode ser dado por:

$$Cpkm = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{E\hat{Q}M}} \tag{2.127}$$

onde o erro quadrático médio $E\hat{Q}M = s^2 + (\bar{x} - T)$

O índice de capacidade $Cpkm$ é considerado muito superior aos demais por levar em consideração tanto a variabilidade dos dados por meio do desvio padrão σ, como também a localização da média do processo em relação a média das especificações, medida por (μ − T).

2.1.19.4 Interpretação dos Índices de Capacidade

A utilização adequada dos índices de capacidade requer uma análise cuidadosa das características de cada um.

- Cp: Este índice não considera a média do processo $(\bar{x})$, sendo portanto insensível a desvio da média do processo em relação à média nominal das especificações $T = \frac{LSE + LIE}{2}$. Sua utilização é recomendada quando a média do processo permanece centrada na média das especificações.

- Cpk: Este índice considera o valor da média do processo $(\bar{x})$, permitindo verificar se o processo está sendo capaz de atingir o valor nominal das especificações (T). Seu valor é obtido com relação ao limite de especificação mais próximo de $\bar{x}$.

- *Cpkm*: Assim como o *Cpk*, o *Cpkm* considera o afastamento da média do processo em relação à média das especificações (T) e além disso avalia a variabilidade dos dados por meio do desvio padrão σ. Sendo assim, quanto maior o afastamento da média do processo em relação à média das especificações, menos capaz o processo, e maior é o prejuízo sofrido pela sociedade em conseqüência do desvio do desempenho do produto (serviço) daquele especificado pelo projeto (valor nominal T).

2.1.20 Ferramenta de Qualidade 5W1H

De acordo com HEIDEMANN (2001, p.51), o 5W1H é um documento que tem como finalidade definir quais as metas necessárias para alcançar os resultados propostos, possibilitando por meio de um questionamento a identificação de problemas e o planejamento de ações, que deverão ser implantadas com o objetivo de melhorar o processo produtivo.

Esta ferramenta fornece um detalhamento objetivo da forma com que se deve implantar a melhoria dos processos na resolução dos conflitos. A fim de propor estas melhorias é possível identificar e planejar a implantação de mudanças, definindo quem, quando, quanto, e quais os recursos necessários para a sua viabilização.

Segundo Oliveira[6] (1996) citado por HEIDEMANN (2001, p.52), 5W1H deve ser estruturado para permitir uma rápida identificação dos elementos necessários a implantação do projeto. Os elementos podem ser descritos como:

- WHAT – O que será feito?
- WHY – Por que fazer?
- WHERE – Onde será feito?
- WHEN – Quando fazer?

---

[6] OLIVEIRA, Sidney. T. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Pioneira, 1996.

- WHO – Quem deve fazer?
- HOW – Como deve ser feito?

Segundo AGUIAR (2004, p. 36), o 5W1H é um tipo de lista de verificação utilizada para informar e assegurar o cumprimento de um conjunto de ações, diagnosticar um problema e planejar soluções. Ultimamente, tem-se incluído mais um H de *How much* (quanto custa). Deste modo, o quadro a seguir apresenta esta técnica que consiste em equacionar o problema, descrevendo-o por escrito, da forma como é sentido naquele momento particular: como afeta o processo, as pessoas, que situação desagradável o problema causa.

Quadro 2.5 - O método 5W1H aplicado ou fluxo da atividade

5W	WHAT	O que?	Que atividade é esta? Qual é o assunto?
	WHO	Quem?	Quem conduz esta atividade? Qual é o setor responsável?
	WHERE	Onde?	Onde a atividade será conduzida? Em que lugar?
	WHEN	Quando?	Quando esta atividade será conduzida? A que horas? Com que periodicidade?
	WHY	Por que?	Por que esta atividade é necessária? Ela pode deixar de ser realizada?
1H	HOW	Como?	Como conduzir esta operação? De que maneira? Qual o método?

Fonte: Adaptado de SANTOS (2002)

SANTOS (2002, p.24) afirma que a ferramenta 5W1H pode ser entendida como um método que permite definir um problema, uma causa ou uma solução de forma simples, assegurando que as informações básicas fundamentais sobre o assunto estudado, funcionem como uma lista de verificação. Esta técnica é extremamente valiosa na elaboração de planos de ação, quando as questões apresentadas no quadro acima são respondidas de forma completa.

2.2 ÁGUA E SUA QUALIDADE

A água constitui um dos elementos fundamentais para a existência do homem. Suas várias utilizações, tais como abastecimento público, industrial e agropecuário, na preservação da vida aquática, na recreação e no transporte demonstram essa importância vital (VENDEMIATTI, 2003, p. 06).

DASHEFSKY[7] apud STACCIARINI (2002, p. 10) afirma que a água é o recurso mais abundante do nosso planeta. As estimativas revelam que a quantidade total de água em todas as formas na biosfera seja de 1,362 sextilhão de litros. Assim, não é por acaso que a Terra é chamada de planeta água. Porém, somente 5% do total correspondem à água doce.

Segundo DI BERNARDO e DI BERNARDO DANTAS (2005, p. 01), na natureza encontra-se a seguinte situação em termos de porcentagem de disponibilidade de água: 95% de água salgada e 5% de água doce. Desses 5%, aproximadamente 99,7% encontram-se nas geleiras e 0,3% constituem as águas superficiais e subterrâneas. O Brasil possui grande quantidade de água em seu território, contendo cerca de 8% da água doce disponível no mundo. Desses 8%, a Amazônia, com apenas 5% da população brasileira, possui 80% da água doce, enquanto o restante do país, com 95% da população, dispõe de somente 20% da água doce.

Ao contrário de que muitos pensam, a água é uma substância muito complexa. Pois, quimicamente e sem impurezas, a água é composta de uma mistura de 33 substâncias distintas. São inúmeras as impurezas que se apresentam nas águas, várias delas inócuas, poucas desejáveis e algumas extremamente perigosas. Entre as impurezas nocivas encontram-se vírus, bactérias, parasitos, substâncias tóxicas e, até mesmo, elementos radioativos (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1995, p. 01).

De acordo com CARMO, PRIANTI JÚNIOR e LACAVA (1997, p. 03) a abertura de mercado aumentou a concorrência interna em todos os segmentos e o setor de saneamento não fugiu à regra, ocorrendo casos concretos de participação da

[7] DASHEFSKY, H. S. **Dicionário de ciência ambiental**. São Paulo: Gaia, 1997.

iniciativa privada, quando algumas cidades colocaram em licitação as suas concessões dos serviços de água e esgoto. Institui-se desta forma, a concorrência entre as concessionárias públicas e privadas, nacionais e internacionais, nesse importante segmento de serviço prestado à sociedade.

Atualmente, diante de um mercado cada vez mais competitivo, e com clientes a cada dia mais exigentes, as empresas para se manterem, devem procurar o seu diferencial, e um dos grandes diferenciais está na qualidade que o produto e serviços agregam, de forma que muitas companhias de distribuição de água tornaram-se interessadas em qualidade de serviços e começaram a adaptar soluções já aplicadas nas indústrias.

A qualidade da água é definida por sua composição química, física e bacteriológica. As características desejáveis dependem de sua utilização. Para o consumo humano há a necessidade de uma água pura e saudável, isto é, livre de matéria suspensa visível, cor, gosto e odor, de quaisquer organismos capazes de provocar enfermidades de quaisquer substâncias orgânicas ou inorgânicas que possam produzir efeitos fisiológicos prejudiciais (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1995, p. 25).

Neste contexto, a qualidade da água produzida e distribuída num sistema de abastecimento público resulta do somatório dos esforços concentrados ao longo da cadeia de produção, ou seja, começa com a escolha da fonte da matéria-prima (manancial) e passa pelas fases de projeto, execução, operação e manutenção dos processos produtivos e distributivos do sistema, tendo como suporte uma gestão ágil e integrada. A estes processos agregam-se uma série de atividades que visam manter a conformidade aos padrões de potabilidade estabelecidos na legislação sanitária vigente de água potável. Tais atividades constituem os limites necessários aos eventuais ajustes destes processos sempre que seu funcionamento conduzir a uma qualidade diferente dos padrões estabelecidos. Basicamente, estas atividades são apoiadas e subdisiadas em dados laboratoriais de análises físico-químicos, bacteriológicas e hidrobiológicas ao longo dos processos produtivos e distributivos da água, que podem

por sua vez, ser feitos pelas empresas de saneamento, por entidades que se ocupam do meio ambiente e, também, por alguns laboratórios particulares.

2.2.1 Doenças Relacionadas com a Água

De acordo com RITCHER e AZEVEDO NETTO (1995, p. 04) a Organização Mundial de Saúde, OMS, estabelece que cerca de 80% de todas as doenças que se alastram nos paises em desenvolvimento são provenientes de água de má qualidade. As doenças mais comuns de transmissão hídrica são as seguintes:

Tabela 2.4 - Doenças mais comuns por transmissão hídrica

Doenças	Agentes Causadores
Febre tifóide	Salmonela tifóide
Febres paratifóides	Salmonelas paratifoides (A, B, C)
Disenteria bacilar	Bacilo disentérico
Disenteria amebiana	Entamoeba histolítica
Cólera	Vibrião da cólera
Diarréia	Enterovírus, E. Coli
Hepatite infecciosa	Vírus tipo A
Giardios	Giárdia Lamblia

FONTE: RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, F. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1995.

De acordo com DI BERNARDO e DI BERNANDO DANTAS (2005, p. 05) estima-se que no Brasil 60% das internações hospitalares estejam relacionadas às deficiências do saneamento básico. Esta situação gera outras conseqüências de impacto extremamente negativo na qualidade e na expectativa de vida da população, havendo estudos que indicam que cerca de 90% dessas doenças se devem à ausência de água em quantidade satisfatória ou à sua qualidade imprópria para consumo.

2.2.2 A Normatização da Qualidade da Água para Consumo Humano

A qualidade da água para consumo humano tornou-se uma questão de saúde pública no final do século XIX e início do século XX. Mas para o efetivo controle sanitário, fez-se necessária a implantação de um processo de normatização e regulamentação, abordando os principais desafios e perspectivas da vigilância da qualidade da água para o consumo humano.

Conforme estudos revelados por USEPA[8] (1999) apud FREITAS, M. B. e FREITAS, C. M. (2005, p. 995), anteriormente ao século XIX, a qualidade da água era associada apenas a aspectos estéticos e sensoriais, tais como a cor, o gosto e o odor. Métodos para melhorar o aspecto estético e sensorial da água já foram encontrados há 4000 anos a.C. em documentos escritos em sânscrito. Na Grécia antiga, os povos utilizavam técnicas como filtração, a exposição ao sol e a fervura para melhorar a aparência turva da água e, além disso, mesmo que empiricamente, apontavam para a existência de relações casuais entre água e enfermidade.

No início do século XX, em função dos estudos epidemiológicos, foi descoberto que o surto de cólera estava associado a poços de abastecimento público contaminados por esgoto e que os organismos microscópios poderiam transmitir doenças por meio da água, por essa razão, foram construídos vários sistemas de tratamento de água nos Estados Unidos. Em 1914, uma norma federal americana elaborada pelo serviço de saúde pública da época, estabelecia um padrão de qualidade microbiológica da água. Os valores máximos permitidos ou os limites máximos de contaminação foram sendo estabelecidos em função de estudos e bioensaios toxicológicos e de componentes químicos e físico-químicos, capazes de alterar as propriedades da água, que além de causar rejeição de consumo podem diminuir a vida útil de toda aparelhagem hidráulica (FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M., 2005, p. 995).

---

[8] USEPA (United States Environmental Protection Agency) 1999. 25 years of the safe drinking water act: history and trends. Disponível em http://www.epa.gov/safewater/consumer/trendrpt.pdf >Acessado em 15 de abril de 2004.

A partir de estudos e levantamentos da situação da maioria dos sistemas de abastecimento de água, que apresentavam uma qualidade fora dos padrões de potabilidade, nos anos 70 foi criada nos Estados Unidos uma norma de potabilidade de água para consumo humano, a *Safe Drinking Water Act*, que estabelecia que toda a água captada e tratada pelas companhias de abastecimentos não deveria ser capaz de provocar nenhum dano à saúde humana. Atualmente este órgão está submetido ao controle ambiental americano, *United States Environmental Protection Agency* (USEPA).

Segundo EC[9] apud FREITAS, M. B. e FREITAS, C. M. (2005, p. 995), na Europa, a atual norma de qualidade de água para consumo humano é estabelecida pelo órgão a *Drinking Water Directive (DWD)*, que tem como principal objetivo definir estratégicas relativas à gestão do sistema de produção de água potável, no sentido de propor a inclusão de novos parâmetros químicos ou biológicos. Tal órgão tem abrangência em todos os países da comunidade européia.

Na atualidade, a Organização Mundial de Saúde (OMS) é a instituição que acompanha e recomenda os valores máximos permitidos, a partir de estudos toxicológicos realizados em todo mundo.

Os órgãos de fiscalização e vigilância do setor de saúde das empresas de abastecimento de água utilizam as normas de potabilidade como um instrumento técnico que imprime um padrão de qualidade da água.

2.2.2.1 A Normatização da Qualidade da Água no Brasil

No Brasil, a normatização da qualidade da água para consumo humano foi iniciada na década de 1970. A primeira norma de potabilidade foi criada no Brasil pelo decreto federal n° 79.367 de 9 de março de 1977, que estabeleceu a competência do Ministério da Saúde sobre a definição do padrão de potabilidade da água para consumo humano, a ser observado em todo território nacional, através da portaria n°

[9] EC (Europe Community) 2003. Scientific syntheis report drinking water seminar. 27 and 28 october 3003, Brussels, Belgium. Disponível em <http://euroa.eu.int/>. Acessado em 15 de abril de 2004.

56 Bsb, publicada em 14 de março de 1977 (FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M., 2005, p. 995).

Esta primeira norma não trata sobre a necessidade de fluoretação da água de sistemas de abastecimento provenientes de estação de tratamento.

Em 24 de maio de 1974, foi publicada no Diário Oficial a lei federal n° 6050 que delegou às Secretarias de Saúde dos Estados as tarefas de fiscalização e controle do cumprimento das normas e do padrão de potabilidade.

De acordo com FORMAGGIA[10] et al. apud FREITAS, M. B.; FREITAS C. M. (2005, p. 996), o Ministério da Saúde, através da extinta Divisão da Ecologia Humana e Saúde Ambiental, efetuou em 1986 um levantamento das atividades exercidas pelas Secretarias Estaduais de Saúde (SES) e constatou que, com exceção do Paraná, os demais estados não exerciam nenhuma atividade relacionada à vigilância da qualidade da água, ou, se exerciam não o faziam de forma sistemática e planejada. O Ministério da Saúde decidiu então criar em 1986 o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, que pretendia prestar auxílio técnico e financeiro às SESs para que em conjunto pudessem: iniciar um programa de vigilância da qualidade da água; efetivar a revisão da legislação; capacitar tecnicamente os profissionais das SESs para atuarem na vigilância da qualidade da água e definir estratégicas para garantir apoio laboratorial necessário à verificação do cumprimento da legislação quanto ao padrão físico-químico e bacteriológico da água.

Em 1990, foi realizada a primeira revisão da portaria até então vigente dando subsídios para a elaboração da nova portaria, que é a 36 GM publicada em 19/01/1990. Tal portaria estabelece algumas inovações, tais como: definição de controle e vigilância da qualidade; definição de serviço e sistema de abastecimento de água e a inclusão e revisão de alguns parâmetros químicos e microbiológicos. Posteriormente, em 29 de dezembro de 2000, foi publicada a portaria n° 1469 (MS, 2000),

[10] FORMAGGIA, D. M. E. et al. **Portaria 36 GM de 19/01/1990: necessidade de revisão**. Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 5-10.

estabelecendo o controle e a vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Conforme FREITAS, M. B.; FREITAS C. M. (2005, p. 997) a principal inovação trazida pela portaria 1469 foi a classificação dos tipos de sistemas de abastecimento de água em:

- *Sistema coletivo*: constitui-se de uma instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e a distribuição canalizada de água potável para as populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão;

- *Sistema ou solução alternativa de abastecimento de água*: que se constitui de toda a modalidade de abastecimento coletivo de água, distinta do sistema coletivo, incluindo, por exemplo, fontes, poços comunitários, distribuição por veículos transportadores, instalações de condomínios horizontal e vertical.

Em 25 de março de 2004, a Portaria n° 1469 foi revogada e substituída pela Portaria n° 518, que reproduz inteiramente o conteúdo da anterior.

2.2.3 Características da Água

Segundo DI BERNARDO[11] apud STACCIARINI (2002, p. 10) a água pura é um conceito limite, cuja existência é considerada hipotética. A molécula da água é composta de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio.

A água pura é um liquido incolor, inodoro, insípido e transparente e dos 103 elementos químicos conhecidos, a maioria é encontrada de uma ou outra forma nas águas naturais. As impurezas adicionais que a água apresenta são determinadas pela natureza e pela composição do solo, pois é por meio deste que a água escoa. Tal fato também é agravado pelo aumento da população e das atividades econômicas, fazendo

[11] DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v.1. Rio de Janeiro: ABES, 1993, p. 496.

com que nenhuma fonte de água superficial seja considerada segura, sendo necessária alguma forma de tratamento de água para consumo humano.

De acordo com RICHTER e AZEVEDO NETTO (1995, p. 24) as impurezas mais comuns, os estados em que se encontram e seus efeitos são:

- *Em suspensão*: algas e protozoários (que podem causar sabor, odor, cor e turbidez), areia e argila (turbidez), resíduos industriais e domésticos;

- *Em estado coloidal*: bactérias e vírus (muitos são patogênicos, algumas podendo causar prejuízo às instalações), substâncias de origem vegetal (cor, acidez, sabor) e argilas (turbidez);

- *Dissolvidas*: compreende uma grande variedade de substâncias de origem mineral, como sais de cálcio e magnésio, compostos orgânicos e gases (dão origem a alterações na qualidade da água, cujos efeitos dependem da sua composição e concentração e de reações químicas com outras substâncias).

As características da água podem ser classificadas em cinco categorias (características físicas, características químicas, características biológicas, características hidrobiológicas e características radioativas), que serão descritas a seguir de acordo com RITCHER e AZEVEDO NETTO (1995, p. 26) e DI BERNARDO e DI BERNARDO DANTAS (2005, p. 12).

2.2.4.1 Características Físicas da Água

Apesar das características físicas da água ter importância relativamente pequena do ponto de vista sanitário, elas podem ser determinantes na escolha da tecnologia de tratamento ou condicionantes dos processos e operações nas estações existentes.

Vários fatores caracterizam o estado físico da água: cor, turbidez, sabor e odor, temperatura e condutividade elétrica. A seguir serão abordados alguns conceitos destes fatores.

2.2.4.1.1 Cor

Dependendo da quantidade e da natureza das substâncias dissolvidas ou em suspensão na água, elas podem acarretar a alteração da cor. Em geral, a cor da água é devida a ácidos originados de decomposição de vegetais, e assim, não representam risco à saúde, mas pode fazer o consumidor procurar fontes de água de aspecto mais agradável.

A cor é sensível ao pH, pois quanto maior o pH, mais intensa a cor. Assim a remoção da coloração da água torna-se mais fácil quando o pH estiver baixo. Antigamente a remoção da cor era considerada apenas por motivo estético, porém, com a descoberta de substâncias prejudiciais à saúde, a quantificação da cor passou a ser muito importante.

2.2.4.1.2 Turbidez

A turbidez é uma característica devida à existência de partículas suspensas na água. Tais partículas apresentam tamanhos variados e a sua presença provoca a dispersão e absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa, pois a desinfecção da água, principalmente de vírus, torna-se melhor quanto menor é a turbidez da água.

A turbidez pode ser causada por uma variedade de materiais: partículas de argila e lodo, descarga de esgoto doméstico ou industrial, presença de um grande número de microorganismos e também pode ser causada por bolhas de ar, fenômenos que ocorre com certa freqüência em alguns pontos da rede de distribuição.

É inviável tentar correlacionar a turbidez com o peso da matéria em suspensão, pois quanto mais subdividida uma dada quantidade de substâncias maior será a turbidez.

2.2.4.1.3 Sabor e Odor

O sabor e o odor são características consideradas em conjunto, pois geralmente a sensação de sabor origina-se do odor. A avaliação desta característica torna-se difícil por serem sensações subjetivas, causadas por impurezas dissolvidas, freqüentemente da natureza orgânica, resíduos industriais, gases dissolvidos, entre outros. Por ser uma análise subjetiva, que depende da percepção gustativa e olfativa de cada indivíduo, quando se torna freqüente ou perceptível à coletividade ou ao analista, podem ser tomadas as seguintes providências:

Em caso de água *in natura*, quando detectado, o tratamento é interrompido até a identificação da causa. Com a causa identificada são tomadas as providências para que a água volte a normalidade, só então é retomado o tratamento e distribuição da água.

Em caso de reclamação de cliente, um técnico se dirige até o local e avalia a veracidade da reclamação. O cliente é questionado quanto à higiene e limpeza de reservatórios internos (quando é possível, é feita uma vistoria *in-loco*). É feita descarga no cavalete e coletada amostra para análise físico-química e bacteriológica.

2.2.4.1.4 Temperatura

A temperatura da água é muito importante, pois exerce uma certa influência sobre outras propriedades da água, ou seja, acelera reações químicas, reduz a solubilidade dos gases, acentua sensação de sabor e odor, atua no desempenho das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração. Por isso, é importante conhecer a variação de temperatura da água a ser tratada.

2.2.4.1.5 Condutividade Elétrica

A quantidade de sais dissolvidos na água é que irá determinar o grau de condutividade elétrica, pois a mesma é proporcional à quantidade de sais. Além do que, a determinação da condutividade elétrica permite estimar de modo rápido a

quantidade de sólidos totais dissolvidos presente na água, que por sua vez, se for elevada favorece a corrosão.

Os casos de corrosão nas redes ocorrem em locais onde existem redes de ferro com ou sem revestimento de amianto, e está relacionado diretamente à acidez da água. Quanto mais ácida a água, maior será o seu efeito corrosivo. Nas redes de ferro fundido, o mais comum é ocorrer à formação de tubérculos e a conseqüente obstrução das tubulações .

2.2.4.2 Características Químicas da Água

Do ponto de vista sanitário, as características químicas da água, tais como: pH, alcalinidade, acidez, ferro, manganês e outros, são de grande importância, pois a presença de alguns elementos ou compostos químicos na água bruta pode inviabilizar o uso de certas tecnologias de tratamento e exigir tratamentos específicos. Algumas análises como a determinação de cloretos, teor de oxigênio, nitritos e nitratos permitem avaliar o grau de poluição de uma fonte de água.

2.2.4.2.1 pH

O termo pH é usado para expressar o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução. O pH mede a concentração do íon hidrogênio ou sua atividade, importante em cada fase do tratamento da água, sendo referido freqüentemente na coagulação, filtração, desinfecção e no controle da corrosão. O valor do pH é um número aproximado entre 0 e 14 que indica se uma solução é ácida ($pH<7$), neutra ($pH=7$), ou básica/alcalina ($pH>7$).

As condições ácidas aumentam de atividade à medida que o pH decresce, ou seja, nos sistemas de abastecimentos, águas de pH baixo tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de cimento amianto, enquanto que águas com valor elevado de pH tendem a formar incrustações.

O pH pode ser determinado:

- Por adição de um indicador de pH. Um indicador de pH é um composto químico que é adicionado em pequenas quantidades a uma solução e que permite saber se essa solução é ácida ou alcalina. Normalmente, como resultado da adição do indicador de pH, a cor da solução varia, dependo do seu pH.

- Na solução em análise, usando um medidor de pH acoplado a um eletrodo de pH.

2.2.4.2.2 Alcalinidade

A alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água neutralizar ácidos. É necessário observar que a alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química (processos de adição de produtos químicos para separar as impurezas da água), uma vez que os principais coagulantes utilizados no Brasil são sulfato de alumínio e cloreto férrico. Se por acaso ocorrer alto nível de alcalinidade é provável que a coagulação com sulfato de alumínio apresente problemas.

Nas reações químicas do processo de coagulação da água, a quantidade de agente coagulante necessária só terá o efeito desejado se houver na água um valor proporcional de alcalinidade.

Quando esta alcalinidade não é suficiente, é feita a adição de alcalinidade artificial por meio de aplicação de produtos químicos, para que a reação seja satisfatória.

Quando há excesso de alcalinidade, o coagulante irá reagir com a quantidade necessária à reação e, o restante não causa problema para a coagulação, entretanto este excesso pode deixar a água mais alcalina que o desejado após o processo de tratamento.

2.2.4.2.3 Acidez

A acidez tem pouco significado do ponto de vista sanitário, porém em muitos casos há interesse em verificar seu nível, pois o condicionamento final da água em uma estação pode exigir a adição de alcalinizante para manter a estabilidade do carbonato de cálcio e evitar problemas relacionados à corrosão no sistema de abastecimento.

2.2.4.2.4 Dureza

A dureza é reconhecida pela sua propriedade de impedir a formação de espuma. É uma característica da água existente em função da presença de alguns íons metálicos (cálcio, magnésio, ferro e estrôncio).

Não há objeções ao consumo de águas duras do ponto de vista da saúde pública, pelo contrário, alguns pesquisadores têm encontrado uma correlação entre águas moles e certas doenças cardíacas.

2.2.4.2.5 Ferro e Manganês

O ferro não costuma causar problemas ao ser humano, porém quando associado ao manganês confere à água um sabor amargo adstringente e coloração amarelada e turva. O manganês é semelhante ao ferro, porém menos comum e sua coloração característica é a marrom.

2.2.4.2.6 Cloretos, Sulfatos e Sólidos Totais

Além dos bicarbonatos, os sólidos totais dissolvidos são caracterizados pelos sais dissolvidos como cloretos e sulfatos e outros em menor quantidade. Além de conferir sabor salino às águas, teores elevados de cloretos podem interferir na coagulação das substâncias compostas na água, além de ser prejudiciais a pessoas portadoras de problemas cardíacos ou renais e também causar efeitos laxativos.

2.2.4.2.7 Oxigênio Dissolvido

O conteúdo de oxigênio nas águas superficiais depende da quantidade e tipo de matéria orgânica que a água contenha, especialmente em companhia do dióxido de carbono, que constitui um significativo fator a ser considerado na prevenção da corrosão de metais ferrosos (canalizações e caldeiras).

2.2.4.2.8 Compostos Orgânicos

A intensa atividade industrial e novos produtos lançados no mercado tornam praticamente impossível a enumeração e a quantificação de todos os produtos orgânicos que podem estar presentes na água. No Brasil, estima-se a existência de mais de 300 princípios ativos de agroquímicos e mais de 4000 produtos comerciais. No entanto, indústrias dos mais diversos tipos fazem uso de alguns compostos que, dependendo da concentração, podem ser extremamente agressivos à saúde humana, os danos podem ir desde pequenas irritações dos olhos e nariz a problemas cancerígenos, alterações no número de cromossomos, danos a órgãos como rins, fígado e pulmões, depressão, esterilidade masculina, cistite hemorrágica, diabetes, dentre outros.

A legislação estabelece limites máximos permitidos na água para consumo humano, mas a determinação desses níveis constitui séria dificuldade, uma vez que operadores de estações de tratamento e órgãos de controle da poluição necessitam de material sofisticado e pessoal bem treinado para fazer a coleta das amostras.

2.2.4.3 Características Biológicas da Água

As características biológicas da água são determinadas através de exames bacteriológicos e hidrobiológicos.

2.2.4.3.1 Exames Bacteriológicos

A característica bacteriológica da água é destacada pela pesquisa do número total de bactérias, por meio de processos e técnicas adequadas, obtendo-se o resultado em número de bactérias por centímetro cúbico (ou mililitro) da amostra da água.

Os coliformes são bactérias que normalmente habitam nos intestinos dos animais. Sua presença indica a possibilidade de contaminação da água por esgotos domésticos. O exame de coliformes é empregado para o controle de sistemas de abastecimento de água e assim determinam a eficiência do tratamento.

2.2.4.3.2 Exames Hidrobiológicos

O exame hidrobiológico visa identificar e quantificar espécies de organismos presentes na água. Em geral, esses organismos são microscópios, sendo denominados plânctons, destacando os seguintes grupos: algas, protozoários, rotíferos, crustáceos, vermes e larvas de insetos. Este exame quando feito regularmente revela a verdadeira informação quanto às medidas de controle para prevenir o desenvolvimento de organismos que causam sabores e odores desagradáveis, obstruem filtros e canalizações e ocasionam outras dificuldades na operação das estações de tratamento.

2.2.4.4 Características Radioativas

A liberação da radioatividade pode prover de três formas: radiação alfa, radiação beta e radiação gama. A radiação alfa é a que mais causa danos ao ser humano, se presente na água ingerida.

Águas de superfícies e subterrâneas podem adquirir uma pequena quantidade de radioatividade natural, provenientes de rochas e minerais.

2.2.5 Tratamento da Água

Para que a água possa ser consumida pelo homem, é necessário que a mesma apresente suas características condizentes ao padrão de potabilidade. Assim, faz-se necessário o tratamento da mesma. O tratamento de água também pode ser realizado para atender diversas finalidades, tais como:

- *Higiênicas*: remoção de bactérias, protozoários, vírus e outros microorganismos de substâncias nocivas, redução de excesso de impurezas e dos teores elevados de compostos orgânicos;
- *Estéticas*: correção da cor, sabor e odor;
- *Econômicas*: redução de corrosividade.

Os serviços de abastecimento devem fornecer água sempre saudável e de boa qualidade. A necessidade de tratamento e os processos exigidos deverão ser determinados com base em inspeções sanitárias e nos resultados de análises (físico-químicas e bacteriológicas) representativas do manancial a ser utilizado como fonte de abastecimento. Para fins didáticos são apresentadas, adiante, as etapas utilizadas em uma estação de tratamento (ETA) tipo convencional que engloba todas as fases necessárias para um tratamento completo.

É necessário observar que, dependendo das características da água a ser tratada, algumas destas etapas poderão não ser necessárias para tornar a água a ser distribuída potável. Alguns serviços de abastecimento, como o caso de CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) adotam diversos tipos de tratamento que vão desde um tratamento completo (ETA convencional) até o mais simplificado com cloração e fluoretação.

2.2.6 Processo Convencional de Tratamento de Água

2.2.6.1 Captação

A captação pode ser classificada em duas categorias: superficial ou subterrânea.

A captação superficial é feita nos rios, lagos ou represas, por gravidade ou bombeamento. Se for por bombeamento, uma casa de máquinas que contém conjuntos de moto bombas, denominadas estações elevatórias, que sugam a água do manancial e a enviam por grandes tubos (adutoras) até a estação de tratamento, deve ser construída junto à captação.

A captação subterrânea é efetuada por meio de poços feitos no terreno para captar a água dos lençóis subterrâneos. Essa água também é sugada por moto bombas instaladas perto do lençol d'água e enviada à superfície por tubulações.

Um processo convencional de tratamento de água pode ser constituído do tratamento da água de captação superficial e tratamento da água de captação subterrânea, como abordado a seguir.

2.2.6.2 Tratamento da água de captação superficial

É composto das seguintes fases:

1) Oxidação: O primeiro passo é oxidar os metais presentes na água, principalmente o ferro e o manganês, que normalmente se apresentam dissolvidos na água bruta. Para isso, injeta-se cloro ou produto similar, isto faz com que os metais tornem-se insolúveis na água, permitindo assim, sua remoção nas outras etapas do tratamento.

2) Coagulação: A remoção das partículas de sujeira se inicia no tanque de mistura rápida com a dosagem de sulfato de alumínio ou cloreto férrico, que tem a função de clarificar a água, através de reação química, com a finalidade de promover a

coagulação. Estes coagulantes têm o poder de aglomerar a sujeira, formando flocos (partículas maiores que podem ser removidas por sedimentação ou filtração). Para otimizar o processo adiciona-se cal hidratada, o que mantém o pH da água no nível adequado.

3) Floculação: Após a coagulação, a água segue para os tanques de floculação, onde fica retida por um certo período e é ligeiramente agitada dentro dos tanques de tal forma que os flocos misturam-se, ganhando peso, volume e consistência.

4) Decantação: Na decantação, os flocos formados anteriormente separam-se da água, por serem mais densos, sedimentando-se no fundo dos tanques. A água é recolhida na superfície.

5) Filtração: A água ainda contém impurezas que não foram sedimentadas no processo de decantação. Por este motivo, precisa passar por filtros constituídos por uma camada de carvão mineral e diversas camadas de areia de várias espessuras, para reter as partículas de sujeira ou mesmo microrganismos que se encontram na água.

6) Desinfecção, correção de pH e fluoretação: Mesmo filtrada, a água ainda não está purificada, pois nela podem restar micróbios prejudiciais à saúde. Sendo assim, a água passa pela etapa de desinfecção, onde o cloro é adicionado, eliminando os germes nocivos à saúde, garantindo também a qualidade da água nas redes de distribuição e nos reservatórios. Além disso, para proteger as canalizações das redes e das casas contra a corrosão ou incrustação, a água recebe uma dosagem de alcalinizante, que corrige seu pH. E finalmente, a água é fluoretada, em atendimento à Portaria do Ministério da Saúde, ou seja, é feita a aplicação de uma dosagem de composto de flúor, com o objetivo de reduzir a incidência da cárie dentária, especialmente no período de formação dos dentes, que vai da gestação até a idade de 15 amos.

7) Reservatório: Tendo passado por todas estas etapas do tratamento, a água é levada aos reservatórios de distribuição onde fica acumulada para atender o consumo. A água é armazenada em reservatórios, com duas finalidades:

• Manter a regularidade do abastecimento, mesmo quando é necessário paralisar a produção para manutenção em qualquer uma das unidades do sistema;

• Atender às demandas extraordinárias, como as que ocorrem nos períodos de calor intenso ou quando, durante o dia, usa-se muita água ao mesmo tempo.

Quanto à sua posição em relação ao solo, os reservatórios são classificados em subterrâneos (enterrados), apoiados e elevados.

8) Redes de distribuição

Para chegar às residências e estabelecimentos, a água passa por vários canos enterrados sob a pavimentação das ruas da cidade. Essas canalizações são chamadas redes de distribuição. Para que uma rede de distribuição possa funcionar perfeitamente, é necessário haver pressão satisfatória em todos os seus pontos. Onde existe menor pressão, instalam-se bombas, chamadas *boosters*, cujo objetivo é bombear a água para locais mais altos.

Muitas vezes, é preciso construir estações elevatórias de água, equipadas com bombas de maior capacidade. Nos trechos de redes com pressão em excesso, são instaladas válvulas redutoras.

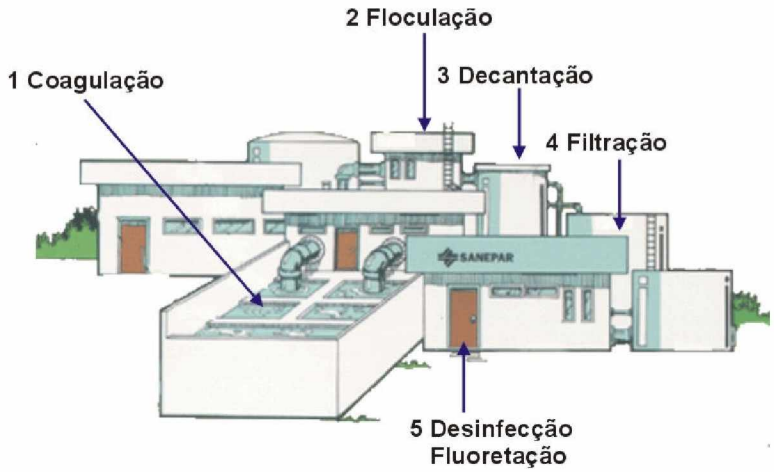
9) Ligações domiciliares

A ligação domiciliar é uma instalação que une a rede de distribuição à rede interna de cada residência, loja ou indústria, fazendo a água chegar às torneiras.

Para controlar, medir e registrar a quantidade de água consumida em cada imóvel, instala-se um hidrômetro junto à ligação.

Desta forma, um processo convencional de tratamento de água de captação superficial pode ser esquematizado conforme a figura 2.13.

Figura 2.13 - Etapas do tratamento de água convencionalmente adotado pela Sanepar



FONTE: COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. <http:/ /www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx /calandra.nsf/ weHP/HPTInternetSanepar-0002> Acesso em 21/12/2006.

2.2.6.3 Tratamento da água de captação subterrânea

A água captada através de poços profundos, na maioria das vezes, não precisa ser tratada, bastando apenas a desinfecção com cloro. Isso ocorre porque, nesse caso, a água não apresenta qualquer turbidez, eliminando as outras fases que são necessárias ao tratamento das águas superficiais.

2.2.7 Padrão de Potabilidade

As normas de qualidade para as águas de abastecimento são conhecidas como Padrão de Potabilidade. De acordo com RICHTER e AZEVEDO NETTO (1995, p. 01) o Estado de São Paulo foi o pioneiro na fixação de normas de qualidade para a água potável. No âmbito nacional, o Governo Federal regulamentou a questão pelo Decreto 79367 de 09/03/1977 e pela Portaria 56 BSB de 13/03/1977. Atualmente, o órgão responsável pelo estabelecimento dos procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade é o Ministério do Estado da Saúde de acordo com a Portaria n° 518 de 25/03/2004 (Anexo 2).

Atualmente, o órgão responsável pela elaboração de normas internacionais é Organização Mundial da Saúde (OMS) cuja divulgação é realizada por meio dos Guias para a Qualidade da Água Potável.

Para melhor entendimento dos padrões de potabilidade é necessário que se observem as seguintes definições estabelecidas pela Portaria nº 518 de 25/03/2004:

- *Água potável*: água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade que não ofereça risco à saúde;

- *Sistema de abastecimento de água para consumo humano*: instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão;

- *Solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano*: toda modalidade de abastecimento coletivo de água distinta do sistema de abastecimento de água, incluindo, entre outras, fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontal e vertical;

- *Controle da qualidade da água para consumo humano*: conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelos responsáveis pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição;

- *Vigilância da qualidade da água para consumo humano*: conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública, para verificar se a água consumida pela população atende à as normas estabelecidas pela portaria e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana;

- *Coliformes totais (bactérias do grupo coliforme)*: bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que

fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a 35,0 ± 0,5 ºC em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β- galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia, Citrobacter, Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo. Dessa forma, é possível afirmar que os coliformes totais são indicadores utilizados para medir contaminação por bactérias provenientes do meio ambiente;

- *Coliformes termotolerantes*: subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a 44,5 ± 0,2 ºC em 24 horas, tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal, ou seja, este parâmetro é indicador de presença de bactérias de origem animal (fezes);

- *Escherichia coli*: bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a 44,5 ± 0,2 ºC em 24 horas, sendo considerado o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

- *Cianobactérias*: microorganismos procarióticos também denominados com cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde;

- *Cianotoxinas*: toxinas produzidas por cianobactérias que apresentam efeitos adversos à saúde por ingestão oral, incluindo microcistinas, cilindrospermopsina e saxitoxinas;

- *Cloro*: produto químico utilizado para eliminar bactérias.

De acordo com o Capitulo IV da Portaria n° 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde, a água potável deve estar em conformidade com os seguintes padrões: padrão microbiológico, padrão de turbidez, padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde, padrão de radioatividade e padrão para aceitação para consumo humano.

Quadro 2.6 - Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano

PARÂMETRO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO (VMP)[1]
Água para consumo humano [2]	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes	Ausência em 100ml
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100ml
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e redes)	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes	Ausência em 100ml
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: ausência em 100 ml em 95% das amostras examinadas no mês; Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 ml.

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.
(1) Valor Máximo permitido;
(2) Água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais, como poços, minas, nascentes, dentre outras.

No controle de qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que as novas amostras revelem resultado satisfatório. No sistema de distribuição a recoleta deve incluir, no mínimo, três amostras simultâneas, sendo uma no mesmo ponto e duas outras localizadas a montante e a jusante.

O percentual de amostras com resultado positivo para coliformes totais em relação ao total de amostras nos sistemas de distribuição deve ser calculado mensalmente, excluindo as amostras extras; isso significa que o resultado negativo para coliformes totais das amostras extras (recoleta) não anula o resultado originalmente positivo no cálculo dos percentuais de amostras com resultado positivo.

Para a garantia da qualidade microbiológica da água em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser observado o padrão de turbidez expresso no quadro 2.7.

Quadro 2.7 - Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

TRATAMENTO DA ÁGUA	**VMP** (1)
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 unidade de turbidez (UT) em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1,0 unidade de turbidez (UT)
Filtração lenta	2,0 unidades de turbidez (UT) em 95% das amostras

(1) Valor máximo permitido.
FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

Entre os 5% dos valores permitidos de turbidez superiores aos VMP estabelecidos no quadro 2.7, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 UT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 UT em qualquer ponto da rede no sistema de distribuição. Além disso, o atendimento ao percentual de aceitação do limite de turbidez deve ser verificado mensalmente, com base em amostras no mínimo diárias.

A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde expresso no quadro 2.8.

Quadro 2.8 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

continua

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)
INORGÂNICAS		
Antimônio	Mg/l	0,005
Arsênio	Mg/L	0,01
Bário	Mg/L	0,7
Cádmio	Mg/L	0,005
Cianeto	Mg/L	0,07
Chumbo	Mg/l	0,01
Cobre	Mg/L	2
Cromo	Mg/L	0,05
Fluoreto(2)	Mg/L	1,5
Mercúrio	Mg/L	0,001
Nitrato	Mg/L	10
Nitrito	Mg/L	1
Selênio	Mg/L	0,01
ORGÂNICAS		
Acrilamida	µg/L	0,5

conclusão

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	5
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	µg/L	30
Diclorometano	µg/L	20
Estireno	µg/L	20
Tetracloreto de Carbono	µg/L	2
Tetracloroeteno	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroeteno	µg/L	70
	AGROTÓXICOS	
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Bentazona	µg/L	300
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2
2,4 D	µg/L	30
DDT (isômeros)	µg/L	2
Endossulfan	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato	µg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	µg/L	1
Lindanom (γ-BHC)	µg/L	2
Metolacloro	µg/L	10
Metoxicloro	µg/L	20
Molinato	µg/L	6
Pendimetalina	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Permetrina	µg/L	20
Propanil	µg/L	20
Simazina	µg/L	2
Trifluralina	µg/L	20
CIANOTOXINAS		
Microcistinas(3)	µg/L	1,0
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO		
Bromato	Mg/L	0,025
Clorito	Mg/L	0,2
Cloro livre(4)	Mg/L	5
Monocloramina	Mg/L	3
2,4,6 Triclorofenol	Mg/L	0,2
Trihalometanos total	Mg/L	0,1

(1) Valor Máximo Permitido.

(2) Os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto devem observar à legislação especifica vigente relativa a fluoretação da água, em qualquer caso devendo ser respeitado o VMP desta tabela;

(3) É aceitável a concentração de até 10 µg/L de microcistinas em até 3 (amostras), consecutivas ou não, nas análises realizadas nos últimos 12 (doze) meses;

(4) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

A água potável deve estar em conformidade com o padrão de radioatividade expresso no quadro 2.9.

Quadro 2.9 - Padrão de radioatividade para água potável

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP
Radioatividade alfa global	BQ/L	0,1
Radioatividade beta global	BQ/L	1,0

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

Se os valores encontrados forem superiores aos valores máximos permitidos (VMP), deverá ser feita a identificação dos elementos radioativos presentes e a medida das concentrações respectivas. Nesses casos, deverão ser aplicados para os elementos encontrados os valores estabelecidos pela legislação pertinente da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, para se concluir sobre a potabilidade da água.

A água potável também deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo expresso no quadro 2.10.

Quadro 2.10 - Padrão de aceitação para consumo humano

PARÂMETRO	**UNIDADE**	**VMP**(1)
Alumínio	Mg/L	0,2
Amônia	Mg/L	1,5
Cloreto	Mg/L	250
Cor aparente	uH(2)	15
Dureza	Mg/L	500
Etilbenzeno	Mg/L	0,2
Ferro	Mg/L	0,3
Maganês	Mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	Mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável
Gosto	-	Não objetável
Sódio	Mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	Mg/L	1000
Sulfato	Mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	Mg/L	0,05
Surfactantes	Mg/L	0,5
Tolueno	Mg/L	0,17
Turbidez	UT	5
Zinco	Mg/L	5
Xileno	Mg/L	0,3

(1) Valor máximo permitido.
(2) Unidade Hazen.
FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

É recomendada a realização de teste para detecção de odor e gosto em amostras de águas coletadas na saída do tratamento e na rede de distribuição de acordo com o plano mínimo de amostragem estabelecido para cor e turbidez.

As análises laboratoriais para o controle e a vigilância da qualidade da água podem ser realizadas em laboratório próprio ou não. Mas em qualquer caso, deve ser mantido um programa de controle de qualidade interna ou externa ou ainda ser certificado por órgãos competentes para esse fim.

2.2.8 Planos Mínimos de Amostragem

Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água devem elaborar e aprovar junto à autoridade de saúde pública o plano de amostragem de cada sistema, respeitando os planos mínimos de amostragem estabelecidos pela Portaria nº 518 de 25/03/2004 e expressos nos quadros 2.11 a 2.14.

Quadro 2.11 - Número mínimo de amostras para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial

Parâmetro	**Tipo de manancial**	**Saída do tratamento (número de amostras por unidade de tratamento)**	**Sistema de distribuição (reservatórios e rede)**		
			População abastecida		
			Menos de 50 mil hab.	50 mil a 250 mil hab.	Mais de 250 mil hab.
Cor, Turbidez e pH	Superficial	1	10	1 para cada 5 mil hab.	40 + (1 para cada 25 mil hab.)
	Subterrâneo	1	5	1 para cada 10 mil hab.	20 + (1 para cada 50 mil hab.)
Cloro residual livre	Superficial	1	A análise deve ser feita em todas as amostras coletadas para análises microbiológicas		
	Subterrâneo	1			
Fluoreto	Superficial ou Subterrâneo	1	5	1 para cada 10 mil hab.	20 + (1 para cada 50 mil hab.)
Cianotoxinas	Superficial	1	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	1	1	4	4
	Subterrâneo	-	1	1	1
Demais parâmetros	Superficial ou Subterrâneo	1	1	1	1

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

É necessário observar que a Portaria em vigor estabelece que será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radiativos apenas quando evidenciadas as causas de radiação natural ou artificial. Além disso, é dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e/ou no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Além do número mínimo de amostras, a Portaria também estabelece a freqüência mínima de amostragem para o controle de qualidade, como pode ser observado no quadro 2.12.

Quadro 2.12 - Freqüência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial

Parâmetro	**Tipo de manancial**	**Saída do tratamento (número de amostras por unidade de tratamento)**	**Sistema de distribuição (reservatórios e rede)**		
			População abastecida		
			Menos de 50 mil hab.	50 mil a 250 mil hab.	Mais de 250 mil hab.
Cor, Turbidez e pH	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	Mensal	Mensal
	Subterrâneo	Diária			
Cloro residual livre	Superficial	A cada 2 horas	A análise deve ser feita em todas as amostras coletadas para análises microbiológicas		
	Subterrâneo	Diária			
Cianotoxinas	Superficial	Semanal	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
	Subterrâneo	-	Anual	Semestral	Semestral
Demais parâmetros	Superficial ou Subterrâneo	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

Quadro 2.13 - Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida

PARÂMETRO	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)			
	População abastecida			
	Menos 5 mil hab.	5 mil a 20 mil hab.	20 mil a 250 mil hab.	Mais de 250 mil hab.
Coliformes totais	10	1 para cada 500 hab.	30 + (1 para cada 2 mil hab.)	105 + (1 para cada 5 mil hab.) máximo de 1000 amostras

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

No caso de solução alternativa de abastecimento, a freqüência mínima de amostragem é dada por:

Quadro 2.14 - Número mínimo de amostras e freqüência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (para água canalizada)	NÚMERO DE AMOSTRAS RETIRADAS NO PONTO DE CONSUMO (para cada 500 hab.)	FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM
Cor, Turbidez, pH e coliformes totais	Superficial	1	1	Semanal
	Subterrâneo	1	1	Mensal
Cloro residual livre	Superficial ou Subterrâneo	1	1	Diário

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

Neste caso, devem ser retiradas amostras em, no mínimo, 3 pontos de consumo de água e para veículos transportadores de água para consumo humano, deve ser realizada 1 (uma) análise de Cloro residual livre em cada carga e 1 (uma) análise, na fonte de fornecimento, de cor, turbidez, pH e coliformes totais com freqüência mensal, ou outra amostragem determinada pela autoridade de saúde pública.

De acordo com o Artigo 29 da Portaria nº 518, sempre que forem identificadas situações de risco à saúde, o responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água e as autoridades de saúde pública devem estabelecer entendimentos para a elaboração de um plano de ação e tomada de medidas cabíveis, incluindo a eficaz comunicação à população para a correção da anormalidade.

2.2.9 Trabalhos Relacionados

2.2.9.1 Ganhos com a utilização de Controle Estatístico de Processo (CEP) em estação de tratamento de água (ETA)

A pesquisa foi desenvolvida por NETZEL (2000) na Unidade de Produção Itaqui (UPI - Campo Largo), com o propósito de utilizar as ferramentas de Controle Estatístico do Processo na estação de tratamento de água, para gerar vantagens à referida Unidade de Produção. Sendo assim, buscando a melhoria contínua, em setembro de 1999 foi implantada na unidade a carta de controle para a média (individual), com o intuito de tornar o processo pró-ativo, avaliar a sua capacidade, reduzir custos e aumentar a confiabilidade do produto. Utilizou-se para isto o princípio da variabilidade, ou seja, verificaram quais análises possuíam resultados com maior variação.

Neste trabalho, não foi considerada nenhuma análise da água in natura (bruta), pois a variação dos resultados depende dos fatores climáticos, fugindo da ação do operador da unidade.

Para definição dos limites de controle superior e inferior, os cálculos utilizados consideraram a média e amplitude dos resultados das análises verificadas durante o período de um ano, pois o processo sofre alterações causadas pelo clima e os limites de especificação superior e inferior foram originados do Plano de Controle Analítico (PCA) da Unidade.

Para a implantação das cartas de controle foram criados alguns procedimentos documentados: instrução de trabalho, diagrama de causa e efeito e carta de controle individual nas etapas do tratamento.

Verificou-se que a perda média no sistema produtor antes da implantação do CEP era de 6,05% ao mês, no período de janeiro de 1999 a setembro de 1999. Após a implantação da ferramenta, obteve-se perda média de 3,04% ao mês no período de outubro de 1999 a fevereiro de 2000. A redução verificada foi de 34,88% e ocorreu

basicamente com a otimização da dosagem de Sulfato de Alumínio (coagulante) que propiciou melhoria na turbidez e agilização no processo de filtração.

2.2.9.2 Sistema de qualidade analítica em um laboratório de uma estação de tratamento de água

Esta pesquisa foi desenvolvida por CARMO, PRIANTI JÚNIOR e LACAVA (1997), com o objetivo de demonstrar a possibilidade da inserção de novos procedimentos, normas, padronizações e descrição das atividades diárias, mecanismos fundamentais para o estabelecimento de uma política de qualidade, almejando a melhoria interna, independentemente de se buscar uma certificação externa.

Neste contexto, no ano de 1997, a Divisão de Garantia de Qualidade (DGQA) do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jacareí (SAAE), São Paulo, promoveu uma reunião com os técnicos da divisão para orientá-los da importância da padronização e uniformidade de trabalho, bem como um cronograma para a realização do programa.

Na primeira etapa do trabalho foi realizada a descrição das diretrizes para a execução dos serviços (descrição de todos os procedimentos, como limpeza, conservação de laboratório, programa de coleta, técnicas de coletas, etc.).

Na segunda etapa, foi realizada uma revisão dos métodos analíticos físico-químicos e sua total adequação a padronizações e métodos para laboratórios de controle de águas de abastecimento.

Na terceira etapa, seguindo a mesma padronização dos métodos físico-químicos, foram elaborados os procedimentos de Operação Padrão para os exames bacteriológicos de contagem padrão de bactérias, coliformes totais, coliformes termotolerantes, lavagem de vidrarias e cuidados com os equipamentos.

Concluídas estas três etapas foi efetivado o Manual da Qualidade contendo a sistematização da qualidade em uma estação de tratamento.

Paralelamente à implementação de uma nova sistemática de trabalho, foram implementadas cartas de controle, uma das principais ferramentas do controle estatístico de processo (CEP), buscando-se maior conhecimento dos processos bem como diminuição da variabilidade de determinados parâmetros (pH, flúor, cloro, turbidez) da água tratada. Além da aplicação das cartas de controle no processo, introduziu-se o controle estatístico em metodologias que utilizam curvas de calibração, a fim de se observar de forma pontual as possíveis alterações analíticas, dando desta forma maior confiabilidade aos resultados obtidos.

Além disso, as cartas de controle aplicadas às análises instrumentais tais como teor de ferro, manganês, flúor e alumínio, asseguraram maior confiabilidade nos resultados analíticos, pois tendo a garantia de excelência de um padrão, observadas tendências ou pontos fora dos limites, pode-se atuar imediatamente na análise, verificando reagentes, validade, possíveis contaminações e até mesmo a necessidade de se elaborar uma nova curva ou manutenção no equipamento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma empresa idônea só pode sobreviver dentro de um mercado se for para contribuir para a satisfação das necessidades dos consumidores. Se este fato é tomado como premissa, a primeira preocupação da administração da empresa é a melhoria da qualidade dos seus produtos, além do que qualidade está diretamente ligada a competitividade.

O desenvolvimento sócio-econômico de uma região tem como um dos produtos mais importantes a água potável. Por este motivo, os órgãos governamentais, tais quais: Ministério da Saúde, Secretarias de Saúde, empresas públicas e privadas, produtoras e consumidoras de tal produto devem planejar ações com o objetivo de adequar as fontes de extração à evolução da demanda, além de aperfeiçoar os métodos de melhoria e controle da qualidade da água distribuída. Assim, a Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, com o objetivo de melhorar a qualidade do seu produto, tem buscado constantemente inovações. Adotando essa política, como conseqüência já recebeu vários prêmios, tais como o Prêmio ABES da Qualidade – Nível I no ano de 1998.

Desta forma, este capítulo apresenta a caracterização da instituição onde foi realizado o estudo, a Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar de Campo Mourão, enfatizando a sua criação no Estado do Paraná e sua busca pela qualidade nos serviços prestados.

Finalizando, o capítulo traz a descrição da forma utilizada para monitorar a qualidade da água distribuída pela Companhia à população de Campo Mourão – PR.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 A Companhia de Saneamento do Estado do Paraná – Sanepar

A SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná foi criada em 23/01/1963 através da Lei N. º 4684/63 pelo Governo do Estado do Paraná. É uma empresa estatal de economia mista, cujo maior acionista é o Governo do Estado do Paraná, que detém 60% das ações da Companhia. O principal acionista da Sanepar é o Grupo Dominó, formado pelas Empresas Veólia (da França), Banco Oportunitty e Copel, que juntas detém 39,7% das ações. A Dimensão Estratégica da Sanepar é composta por nove diretorias: Diretoria da Presidência, Operações, Financeira, Comercial, Investimentos, Administrativa, Jurídica, Relacionamento com Investidores e Meio Ambiente. No ano de 2005, o Governo do Estado instituiu o Conselho de Administração – CAD, que é um órgão que regulariza e apóia as operações realizadas pela Empresa, servindo como um ente mediador entre a Diretoria Estratégica da Sanepar e o Governo do Estado.

3.1.2 Descrição Básica da Unidade Regional de Campo Mourão - URCM

A URCM – Unidade Regional de Campo Mourão é uma unidade de negócios da Sanepar e foi instituída em 2 de abril de 2004, a partir da implementação do atual modelo de gestão da Companhia, com a finalidade de atuar como gestora regional dos serviços de saneamento ambiental na área de abrangência da COMCAM – Comunidade dos Municípios da Região de Campo Mourão. Dentro da estrutura organizacional da SANEPAR, a URCM é subordinada à DO – Diretoria de Operações, estando classificada como Unidade tipo 3, cuja definição se deu com referência à quantidade total de ligações de água e esgotos sanitários (superior a 90.000). A cidade de Campo Mourão foi escolhida como sede da Unidade Regional por atender ao requisito de possuir mais de 30.000 ligações de água e esgoto, por ter uma localização

estratégica dentro da sua área de abrangência e por ser pólo econômico e político da Micro Região da COMCAM. Ao longo da história da Sanepar, a Cidade de Campo Mourão foi sede de diferentes estruturas administrativas da Sanepar, listadas a seguir:

- Em 1979 foi sede de Escritório Regional da então Gerência Regional de Maringá, com 6 Sistemas agrupados;

- Em 1990 foi sede de Gerência Regional com 42 sistemas agrupados;

- Em 1998 o sistema de Campo Mourão passou a ser uma unidade isolada denominada URCM – Unidade de Receita Campo Mourão. Os municípios da região foram divididos por bacias hidrográficas formando a USOSIV – Unidade de Serviços de Operação de Sistemas Ivaí (com gerência em Maringá), a USOSPQ – Unidade de Serviços de Operação de Sistemas Piquiri (com gerência em Campo Mourão), entretanto, sem nenhum vínculo com o sistema de Campo Mourão, e ainda a URRNO – Unidade de Receita Regional Noroeste (com gerência em Umuarama) que atendias aos municípios e distritos de menor porte.

- Em 2004 a administração dos sistemas voltou a ser regionalizada passando a ser denominada URCM – Unidade Regional de Campo Mourão, abrangendo a região da COMCAM, com seus municípios e distritos.

No modelo atual, a URCM é integrada por sistemas advindos de diversas Unidades do modelo anterior, os quais passaram a ter uma estrutura administrativa centralizada e unificada, responsável por todos os processos da Empresa executados nessas localidades. Devido à configuração do modelo anterior, os sistemas apresentam entre si (em função das Unidades pelas quais eram administrados) acentuadas diferenças em seus estágios de qualidade, desenvolvimento de pessoal, aparelhamento e conservação. Reduzir estas diferenças, proporcionando uma evolução linear aos sistemas que apresentam maiores demandas de investimentos, tem sido um dos grandes desafios nesta fase da gestão da Unidade.

3.1.3 Produtos e Processos

As atribuições básicas da URCM são:

- Executar o processo de captação, tratamento e distribuição de água;
- Executar a coleta, tratamento e disposição final de esgotos sanitários;
- Executar o processo de operação e manutenção de redes de água e esgoto;
- Executar o processo comercial, efetuando as atividades de faturamento, arrecadação, cobrança e atendimento aos clientes;
- Executar a gestão administrativa-financeira da unidade, efetuando o planejamento e o controle de indicadores.

Os principais produtos/processos desenvolvidos na URCM são desenvolvidos pelas Coordenações específicas, com o acompanhamento do gerente Regional, conforme descrito na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Coordenações, Processos e Produtos x Serviços

COORDENAÇÃO	PROCESSO	PRODUTOS E SERVIÇOS
Industrial	Relativo ao produto	Captação da água bruta; Tratamento de água; Tratamento de esgotos; Controle de qualidade; Gestão ambiental.
Redes	Relativo ao produto	Manutenção de redes de água e esgoto; Coleta e remoção de esgotos sanitários; Distribuição de água tratada; Fiscalização de serviços terceirizados de manutenção;
Clientes	Relativo ao produto	Faturamento e clientes especiais Arrecadação; Cadastro comercial; Cobrança; Atendimento personalizado e telefônico.
Planejamento e Administração	Apoio	Recursos humanos; Financeiro; Apoio administrativo; Frota e patrimônio; Planejamento e controle; Tecnologia da informação.

FONTE: Companhia de Saneamento do Paraná. **Informações**. Unidade Regional de Campo Mourão, 2006.

As principais tecnologias e equipamentos utilizados nos processos pela URCM são apresentados a seguir:

- CCO - Centro de Controle Operacional: supervisão e controle das Unidades Operacionais através de monitoração gerenciada por um software que permite acionar e desligar equipamentos à distância;

- MCP – Microcomputador Portátil: equipamento de apoio aos serviços de coleta de leitura em hidrômetro com a emissão simultânea de fatura dos serviços de água e esgotos entregue aos clientes mensalmente;

- RALF – Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado: sistema de tratamento dos esgotos sanitários através de processo biológico, tecnicamente desenvolvido pela Sanepar;

- ETA – Estação de Tratamento de Água: sistema convencional de tratamento de água captada superficialmente através dos processos de: coagulação, floculação, decantação, filtração e aplicação de produtos químicos;

- Watercad: Simulador para sistemas hidráulicos de abastecimento de água;

- HIDROGEROX: equipamento gerador de cloro a partir de cloreto de sódio (sal de cozinha);

- Tecnologia da Informação: computadores interligados em rede com acesso a Intranet/Internet e softwares destinados aos diversos processos da Unidade de acordo com a sua especialidade;

- Cadastro Georeferenciado: cadastro de redes de água e esgoto em bases cartográficas georeferenciadas.

3.1.4 Força de Trabalho, Clientes, Mercado e Concorrência

O quadro de colaboradores é composto por 147 empregados efetivos, 2 Agentes de Operação (funcionários de Prefeitura), 3 estagiários e 3 menores aprendizes. Os requisitos legais e regulamentos internos que garantem o bem estar dos colaboradores são fiscalizados e discutidos através da CIPA – Comissão Interna de

Prevenção de Acidentes, que assegura o treinamento, o uso e a disponibilização pela empresa de equipamentos de proteção individual e coletiva a todos os colaboradores que trabalham em locais insalubres ou que apresentam riscos à saúde ocupacional.

O conceito tradicional de cliente para as empresas de saneamento básico é o "usuário dos sistemas de água e esgoto", em especial num ramo de atividade onde está determinado um monopólio natural, como é o caso. Entretanto, nos últimos anos mudanças vêm ocorrendo nesse ambiente, decorrentes da evolução dos cenários político e econômico, os quais têm progressivamente imposto a necessidade de uma análise mais profunda sobre os anseios dos clientes. A concorrência, que até então não representava ameaça, tem-se feito presente, por vezes indiretamente, através das perfuradoras de poços em condomínios, residências e empresas, e não raro diretamente, por ocasião das negociações para renovação dos contratos de concessão. Também o aumento do nível de exigência da população em relação aos produtos e serviços, a generalização da preocupação com a questão ambiental, manifestada pela sociedade civil, ONG's e poderes públicos, e a demanda crescente de uma atuação sócio-ambiental responsável das empresas, no sentido de promover a qualidade de vida da população e a preservação dos recursos naturais, estimularam a Sanepar, e conseqüentemente a URCM, a adotarem um modelo de gestão focado nas necessidades da sociedade e nas potencialidades do mercado.

Dessa forma, tomando-se como referência a experiência acumulada ao longo de muitos anos prestando serviço de saneamento, e tomando por base os indicadores, tais como o "índice de reclamações" e as pesquisas de satisfação de clientes, evidencia-se que as principais necessidades dos clientes da unidade são:

- Disponibilidade de água tratada em quantidade e qualidade condizentes com suas demandas;
- Disponibilidade de serviço eficiente de remoção e afastamento dos esgotos sanitários;
- Prática de tarifas condizentes com as suas condições econômicas, sociais e financeiras;

- Prática de um atendimento eficiente, quando do contato com a empresa, através dos canais disponíveis;

- Austeridade na gestão, e atuação sócio-ambiental marcante.

A URCM incorpora, no dia a dia, ações que venham a satisfazer as necessidades dos clientes, utilizando mecanismos, tais como planejamento e investimento para o suprimento da demanda de água atual e futura; utilização de metodologias e equipamentos que garantem a qualidade da água distribuída; programa de investimento em expansão dos sistemas de esgotos sanitários, bem como melhoria das suas estações de tratamento de água e esgotos; segmentação de clientes por categoria, com prática de tarifa social para população de baixa renda e tarifa diferenciada para pequenas empresas, entre outras; implementação constante de ações para melhoria do atendimento aos clientes, como treinamento e desenvolvimento dos atendentes, disponibilização de vários canais de comunicação, pesquisa de satisfação e pós venda; permanente contado com poder público e comunidade através de visitas, audiências públicas e contatos com a imprensa, divulgando as ações da Unidade.

3.1.5 Histórico da Busca da Excelência

Apesar da nova estrutura de gestão da URCM, no conjunto de Sistemas componentes, não poder contabilizar resultados provenientes da prática continuada e sistematização de modelos de excelência, em função da descontinuidade periódica dos modelos de Gestão adotados, pode-se destacar como relevantes na busca de maximizar o desempenho e competitividade, as seguintes ações:

Tabela 3.2: Histórico da Busca da Excelência

EVENTO	UNIDADE	QUANDO
Premiação no ABES I – Prêmio ABES da Qualidade – Nível I	Estrutura da antiga Unidade de Receita Campo Mourão	1998
Participação no ABES II – Prêmio ABES da Qualidade – Nível II	Estrutura da antiga Unidade de Receita Campo Mourão	1999
Participação no PARES – Processo de Avaliação e Reconhecimento da Excelência Sanepar	Estrutura da antiga Unidade de Receita Campo Mourão	1999
	Estrutura da antiga Unidade de Receita Águas Claras, na cidade de Goioerê	2000
	Estrutura da antiga Unidade de Receita Campo Mourão	2000, 2002
	Estrutura da antiga Unidade de Serviços de Operação de Sistemas Piquiri	2001, 2003
	Estrutura Atual – URCM	2005
Atividades da Qualidade	A Unidade conta com nove Facilitadores da Qualidade formados no Programa Escola Sanepar da Qualidade	Desde 1999
	Comitê da Qualidade e Comitês Técnicos	2005 - Início 2006 - Restruturação

FONTE: Companhia de Saneamento do Paraná. **Informações**. Unidade de Regional Campo Mourão, 2006.

3.2 MÉTODOS

A metodologia aplicada pode ser compreendida como o estudo que pretende encontrar a melhor maneira de abordar um problema a fim de encontrar possíveis soluções. Neste aspecto, a metodologia é composta das fases de estudo, descrição e análise dos fatos.

A principal metodologia adotada para o monitoramento das características da água potável foi o procedimento tradicional do CEP, como abordado no capítulo 2, a construção de Cartas de Controle (por variáveis) para a média, Cartas de controle para medidas individuais, bem como o cálculo da capacidade do processo. Com a necessidade de se obterem resultados que permitissem respostas mais rápidas e adequadas à realidade da empresa, desenvolveu-se para a execução do CEP, um programa em Excel. Programas em Excel já são utilizados pela empresa no registro de seus dados (Boletim diário de tratamento, Boletim mensal de tratamento, entre outros).

3.2.1 Descrição do Problema

A Estação de Tratamento de Água (ETA) da Unidade Regional de Campo Mourão (URCM) é um conjunto de instalações e equipamentos destinados a alterar as características físicas, químicas e/ou biológicas da água, de modo a satisfazer os padrões de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde por meio da Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. O funcionário responsável por tal setor é o operador de tratamento. É ele quem controla as etapas de tratamento (coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção do pH e fluoretação), efetua os registros no Boletim diário de tratamento, efetua registro da quantidade dos produtos consumidos, entre outras responsabilidades essenciais para o funcionamento adequado do setor.

A Sanepar realiza um conjunto de ações, sejam elas de ordem preventivas ou corretivas, para garantir que as características da água potável distribuída à população de Campo Mourão, atendam o padrão de potabilidade. É importante observar que a maioria da população de Campo Mourão, no ano de 2006, foi abastecida pela empresa de saneamento, como mostrado na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - População abastecida

Mês/2006	População urbana	População abastecida
Janeiro	81.422	81.422
Fevereiro	81.631	81.595
Março	81.907	81.880
Abril	82.066	82.050
Maio	82.418	82.412
Junho	82.554	82.554
Julho	82.508	82.508
Agosto	82.800	82.800
Setembro	82.953	82.953
Outubro	83.185	83.185
Novembro	83.235	83.235
Dezembro	83.384	83.384

FONTE: Companhia de Saneamento do Paraná. **Informações**. Unidade Regional de Campo Mourão, 2006.

A (ETA) realiza o monitoramento diário das seguintes características da água potável:

- pH: água in natura e tratada;
- Cor: água in natura e tratada;
- Turbidez: água in natura, decantada, filtrada e tratada;
- Cloro residual livre: água tratada;
- Flúor: água tratada.

O controle operacional da ETA é regulamentado por meio do Plano de Controle Analítico da Unidade de Produção de Campo Mourão. Este documento contém as etapas de tratamento, as características de qualidade, as freqüências de

análise, os equipamentos de inspeção e a faixa de operação (limites de especificação adotados pela empresa), como pode ser visto a seguir:

Tabela 3.4 - Plano de Controle Analítico da Unidade de Produção de Campo Mourão

Ponto	Parâmetro	Freqüência	Equipamento de inspeção	Faixa de operação
Água in natura	Alcalinidade	4 horas	Bureta	5,0 a 20,0
	pH	1 hora	PH metro	5,5 a 7,5
	Turbidez	1 hora	Turbidímetro	0 a 1500 uT
	Matéria Orgânica	4 horas	Bureta	1,0 a 10,0 mg/l
	Temperatura	1 hora	Termômetro	10,0 a 25,0 °C
Floculada	pH	1 hora	PH metro	5,5 a 7,2
Decantada	pH	1 hora	PH metro	5,5 a 7,2
	Turbidez	1 hora	Disco	0 a 15,0 uH
Filtrada	Turbidez	1 hora	Turbidímetro	0 a 0,8 uT
Tratada	pH	1 hora	PH metro	6,3 a 9,0
	Turbidez	1 hora	Turbidímetro	0 a 1,0 uT
	Cor	4 horas	Disco	0 a 4,0 uH
	Oxigênio	4 horas	Bureta	0 a 2,0 mg/l
	Cloro Residual	1 hora	Disco	0,6 a 2,0 mg/l
	Flúor	1 hora	Fluorímetro	0,5 a 8,0 mg/l
	Alumínio Residual	8 horas	Não aplicável	0 a 0,24mgl
	Coliformes totais e fecais	Duas vezes por semana	Termômetro	Ausente

FONTE: Companhia de Saneamento do Paraná. **Informações**. Unidade Regional de Campo Mourão, 2006.

O Plano de Controle Analítico regulamenta e formaliza todas as operações e atividade da Unidade de Produção – Campo Mourão por meio de procedimentos documentados em forma de IT/OPE (Instrução de Trabalho/Operacional) e IA/OPE (Instrumento de Apoio/Operacional).

3.2.2 Definição da Implantação

Conforme abordado no capítulo 2, o Controle Estatístico de Processo (CEP) é um método eficaz no controle da qualidade do produto e seus processos produtivos e a utilização das ferramentas do CEP, auxiliam na análise do desempenho, da capacidade e das limitações de um processo de produção.

Segundo FEIGENBAUM (1994, p. 197):

> Qualquer condição fora de controle, seja ela tanto no valor central como na dispersão da distribuição, pode ser detectada por meio da observação dos Gráficos de Controle (ferramenta do CEP). Um estudo completo dos dados plotados no Gráfico de Controle e indicações prévias no processo, pode muitas vezes detectar se um processo está revelando tendência para a condição fora de controle. Neste caso, investigação e análises adicionais deverão ser realizadas a fim de determinar as causas e conseqüentemente uma ação corretiva deve ser adotada.

Neste contexto, buscando a melhoria contínua, optou-se em implantar na Unidade de Produção de Campo Mourão as Cartas de Controle para Medidas Individuais, em função do intervalo entre as observações ser de 1 hora, dificultando a formação de subgrupos, além do que, a quantidade de análises/amostras diárias varia. Dessa forma, cada análise foi considerada como uma unidade individual.

> A técnica de gráficos de controle é utilizada para controle do processo a fim de fornecer situação hora a hora ou dia a dia do processo ao pessoal da fábrica e ao engenheiro do controle de processo. Com a utilização desses gráficos, os limites de controle do processo são estabelecidos e tal controle é mantido por meio de amostragem periódica e plotagem dos resultados (FEIGENBAUM, 1994, p. 197).

As cartas de controle foram implantadas com o intuito de monitorar a variabilidade do processo de produção na saída do tratamento, ou seja água tratada, para as características de qualidade da água potável (Cloro Residual Livre, Flúor, pH e Turbidez), aumentando assim a confiabilidade/qualidade do produto e, além disso, avaliar a sua capacidade.

Os demais parâmetros presentes no Plano de Controle Analítico não foram analisados em função da não ocorrência de histórico fora do padrão de potabilidade. É necessário ressaltar ainda que a cor não foi analisada em função de ser muito subjetiva, e também pelo fato de a Unidade de Produção não possuir aparelho próprio para medição, ficando a cargo da percepção do operador do tratamento.

Os limites de especificação superior e inferior das características da água tratada são originários da Portaria n° 518 de 25 de março de 2004, como pode ser visto na tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Limites de Especificação para as características da água tratada recomendado pela Portaria

Característica da água tratada	pH *	Cor	Turb.	O2	Al	Ferro	Mn	Flúor	Cloro
Limite Inferior de Especificação	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5
Limite Superior de Especificação	9,5	5,0	1,00	8,0	0,20	0,30	0,10	1,1	2,5

* A alteração do valor dos limites deste parâmetro foi negociado pela Secretaria de Estado da Saúde, que até então era de 6 a 9,5;
FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 518 de 25 de março de 2004.

Além dos limites de especificação estabelecidos anteriormente, a Companhia de Saneamento do Paraná trabalha com uma margem de segurança de aproximadamente 20% dos valores da Portaria, denominada de Limites de Especificação Inferior/Superior da Empresa, ou, Faixa inferior/superior de operação. Estes valores estão apresentados na tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Limites de especificação para as características da água tratada estabelecidos pela Empresa

Característica da água tratada	pH	Cor	Turb.	O2	Al	Ferro	Mn	Flúor	Cloro
Faixa inferior de operação	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6
Faixa superior de operação	9,0	4,0	0,80	2,0	0,16	0,24	0,08	0,9	2,0

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 518 de 25 de março de 2004.

Estes valores são utilizados como um alerta para o operador do tratamento, pois, caso a amostra ultrapasse uma das faixas de operação (superior ou inferior), a empresa deverá providenciar uma ação preventiva, para que o valor da amostra não ultrapasse os Limites de Especificação estabelecidos pela Portaria.

3.2.3 Implantação Computacional

O monitoramento das características de qualidade da água potável produzida pela Companhia Saneamento do Paraná – Unidade Produção de Campo Mourão - foi

realizado com base nos dados encontrados no Boletim Diário de Tratamento (Anexo 1) no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2006.

Inicialmente, foi estudado o trabalho realizado pela empresa para atender as exigências do Ministério da Saúde por meio da Portaria n° 518 de 25 de março de 2004, com relação às característica da água tratada. E com o intuito de adequar a utilização das ferramentas do CEP à realidade da empresa, foram criadas planilhas eletrônicas com a utilização do software Excel, para a construção das Cartas de Controle e para o cálculo da capacidade do processo. Sendo assim, foram analisadas quatro características de qualidade, já citadas anteriormente, separadamente.

Para a construção das Cartas de Controle e obtenção dos índices de capacidade, *Cp*, *Cpk* e *Cpkm* os resultados das análises das amostras deveriam ser preenchidos diariamente nas planilhas elaboradas. Uma vez lançados estes valores, caso algumas amostras ultrapassem os limites de especificação da Portaria, e/ou os limites de especificação da Companhia e/ou limites de controle calculados estatisticamente, a Carta de Controle indicará tal amostra e apresentará por meio do cálculo dos índices de capacidade, se o processo é capaz de produzir água tratada com o valor da característica de qualidade dentro do padrão de potabilidade.

No fim do mês é possível analisar o processo de tratamento mensal sem necessariamente verificar todas as cartas de controle diárias, por meio da carta de controle mensal com tamanho de amostra variável. A construção desta carta foi necessária em razão da quantidade de amostras diárias para cada característica da água não ser fixa. Além disso, ao término do mês é possível verificar em quais dias do mês em análise, as médias amostrais das características apresentaram-se fora de controle.

Neste sentido, será apresentado o arquivo MD Cloro Residual Livre (Monitoramento diário da característica de qualidade da água potável – Cloro Residual Livre) e as etapas que compõem o mesmo. Tais etapas são idênticas para as demais características em questão.

3.2.3.1 MD Cloro Residual Livre

Na planilha da Figura 3.1 (Menu), encontram-se os dados do Cloro Residual Livre do mês de janeiro de 2006 da Unidade de Produção – Campo Mourão. Os itens: cronograma de análise, capacidade do processo, constantes utilizadas, especificações e carta de controle mensal com tamanho de amostra variável e cálculo dos limites de controle, são *links* e sua funcionalidade será apresentada a seguir.

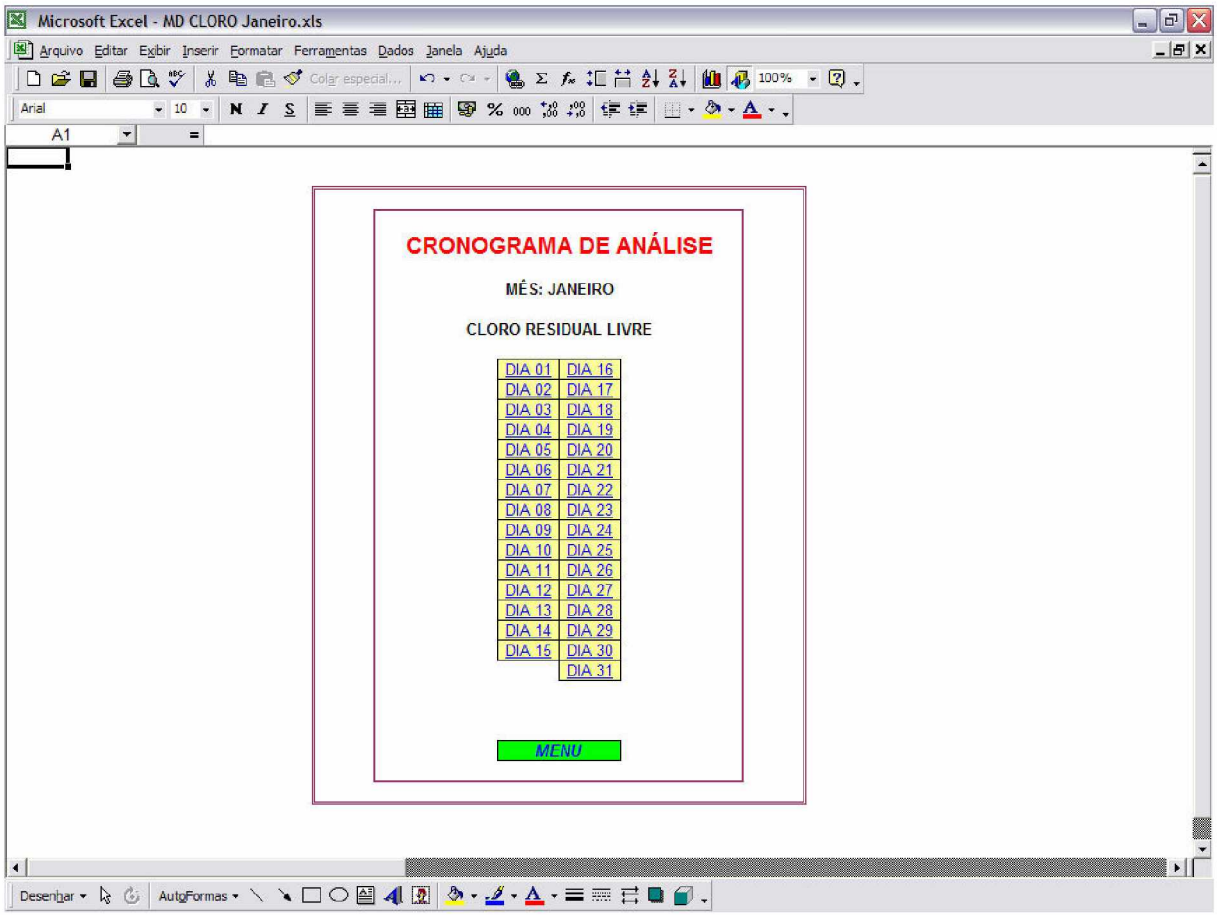
3.2.3.2 Menu

Figura 3.1 - Tela inicial do programa MD Cloro Residual Livre

Acessando o *link* "Cronograma de Análise" será apresentada a planilha da Figura 3.2, que indica o mês (janeiro), a característica de qualidade em análise (Cloro Residual Livre) e os dias de análise do mês em questão.

3.2.3.3 Cronograma de análise

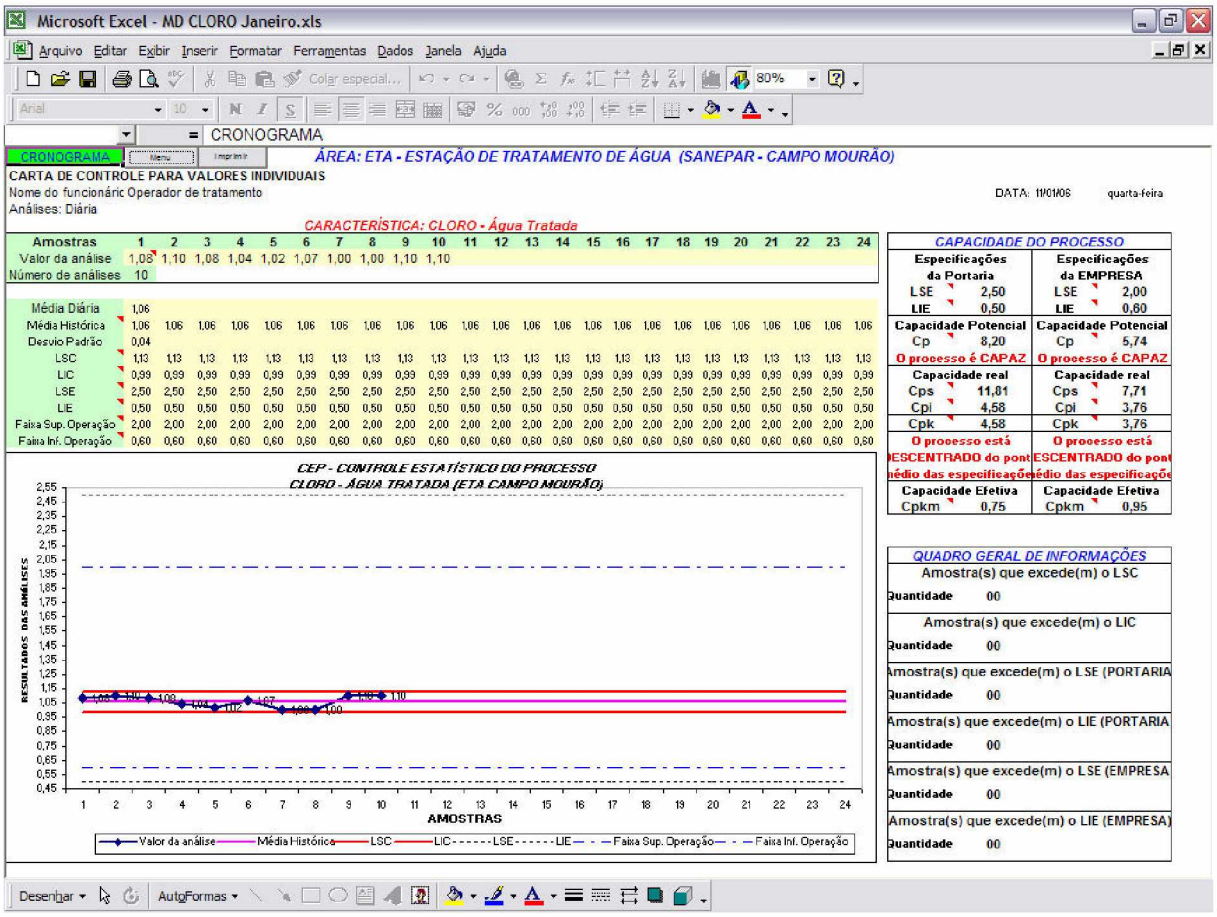
Figura 3.2 – Tela do cronograma de análise



Esta planilha é um caminho de acesso às cartas de controle diárias e ao menu. Para acessar as cartas de controle, basta escolher a data de interesse e clicar sobre o *link*. Como exemplo está apresentada na Figura 3.3 a carta de controle da característica Cloro Residual Livre com base nos dados do dia 11 de janeiro de 2006.

3.2.3.4 Carta de controle diária para valores individuais

Figura 3.3 – Tela da carta de controle para medidas individuais (11/01/06)



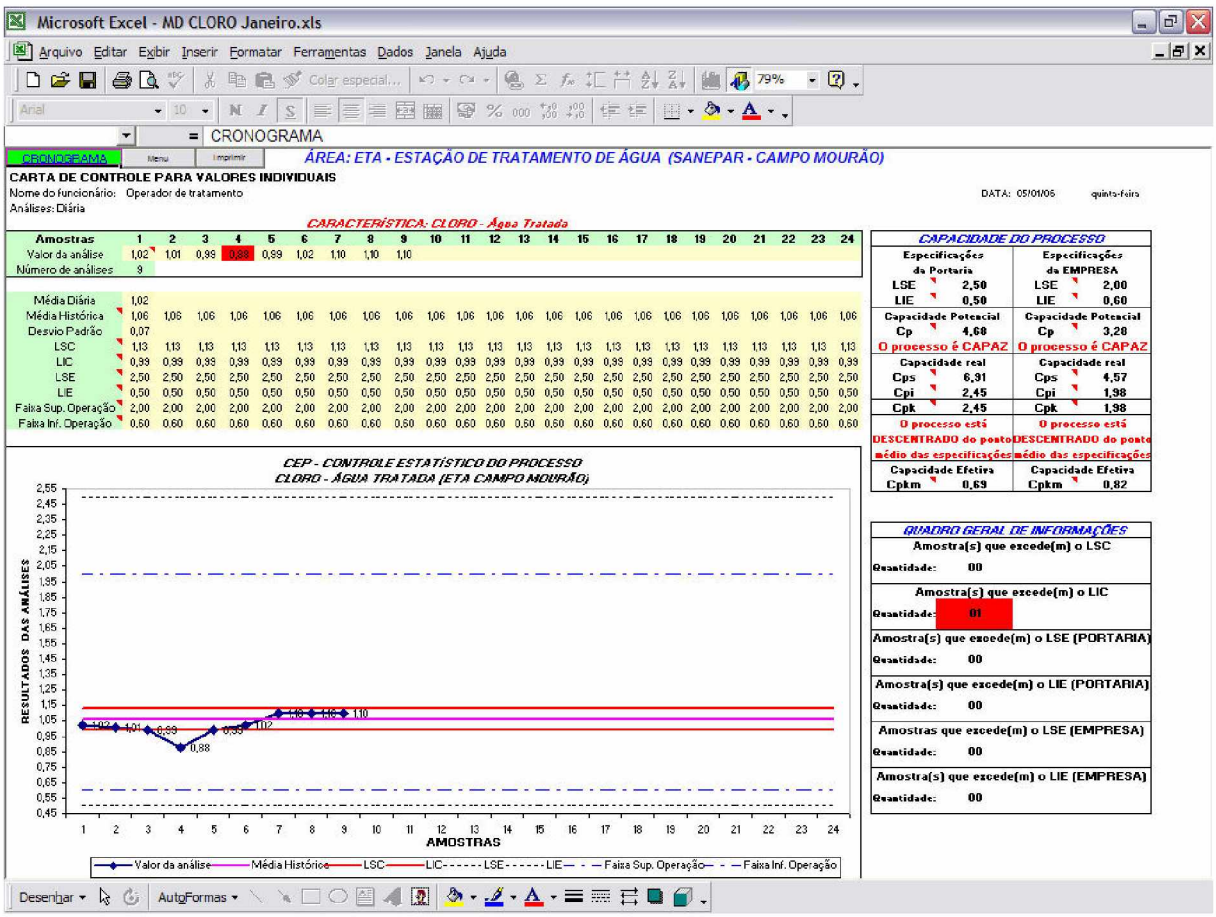
Para a construção das cartas de controle e para o cálculo dos índices de capacidade do processo é necessário digitar diariamente os valores das amostras nas células destinadas para "valor da análise". Observa-se que o número máximo de amostras analisadas é de 24, pois cada análise é realizada de hora em hora, mas em geral o número de amostras analisadas varia de 10 a 15 unidades. Quando os resultados das análises estiverem todos "lançados", a carta de controle será plotada e os índices de capacidade calculados.

São calculados seis índices de capacidade *Cp* , *Cpk* e *Cpkm* com base nos limites de especificação estabelecidos pela Portaria e com base nos limites de especificação estabelecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná, também denominados de faixa de operação. Tais índices indicarão se o processo é capaz de

produzir o produto dentro dos limites de especificação e se o mesmo está centrado no ponto médio das especificações.

No dia 11 de janeiro de 2006, nenhuma amostra excedeu os limites de controle, os limites de especificação e as faixas de operação. Mas, caso algum valor amostral ultrapasse tais limites e as faixas de operação, o mesmo será destacado com a cor vermelha e indicado no quadro geral de informações, conforme a Figura 3.4.

Figura 3.4 – Tela da carta de controle para medidas individuais (05/01/06)



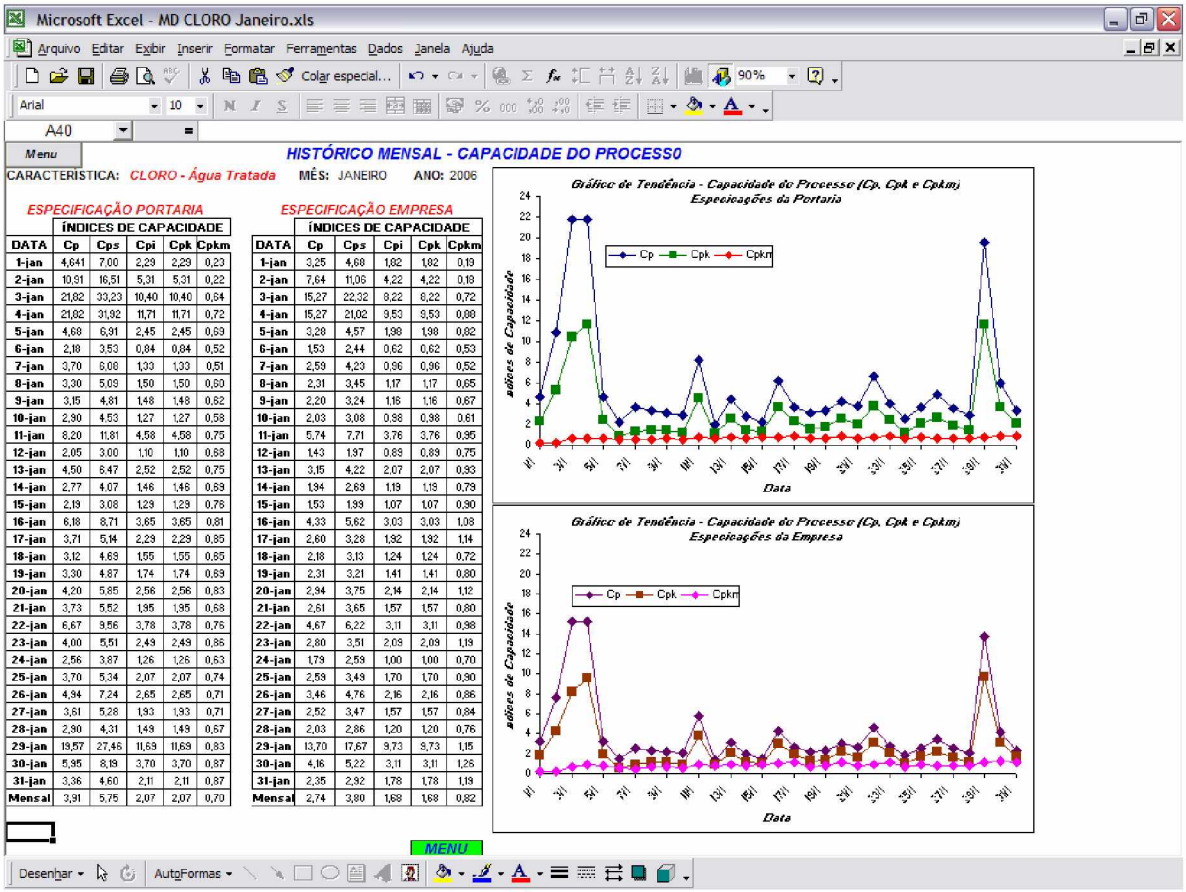
Neste caso, é possível observar tanto pela carta de controle, como por meio do quadro geral de informações, que a amostra número 4 ultrapassou o limite inferior de controle, pois o valor do limite inferior de controle, LIC=0,99 e o valor da amostra é 0,88. É necessário observar que, qualquer amostra que ultrapassar algum limite, seja de controle, de especificação ou a faixa de operação tanto superior quanto inferior, será destacada em vermelho e indicada no quadro geral de informações.

Pode ocorrer também o fato, de uma amostra ultrapassar mais de um limite, como o limite de controle, a faixa de operação e limite de especificação ao mesmo tempo. Neste caso, o valor da amostra é destacado em vermelho e no quadro geral de informações são indicados quais limites foram ultrapassados.

3.2.3.5 Histórico mensal – Capacidade do Processo

Nesta etapa é apresentado um histórico mensal dos índices de capacidade *Cp* , *Cpk* e *Cpkm* para as especificações da Portaria e para as especificações da Companhia de Saneamento como abordado anteriormente. A partir destes dados são plotados os gráficos de tendência com objetivo de analisar em qual momento o processo apresentou maior capacidade de produção da água com Cloro Residual dentro dos padrões exigidos.

Figura 3.5 - Tela do histórico mensal da capacidade do processo



O Gráfico de Tendência – Capacidade do Processo de acordo com as especificações da Portaria, apresenta três linhas com cores diferentes. A linha na cor azul, indica o comportamento do índice de capacidade Cp, já a linha verde mostra o comportamento do índice Cpk e finalmente a linha vermelha, o comportamento do índice $Cpkm$. O Gráfico de Tendência – Capacidade do Processo de acordo com as especificações da Empresa, apresenta três linhas nas cores violeta, marrom e rosa. A linha violeta apresenta o comportamento do índice Cp, já a linha marrom o índice Cpk e a linha rosa, o comportamento do índice $Cpkm$.

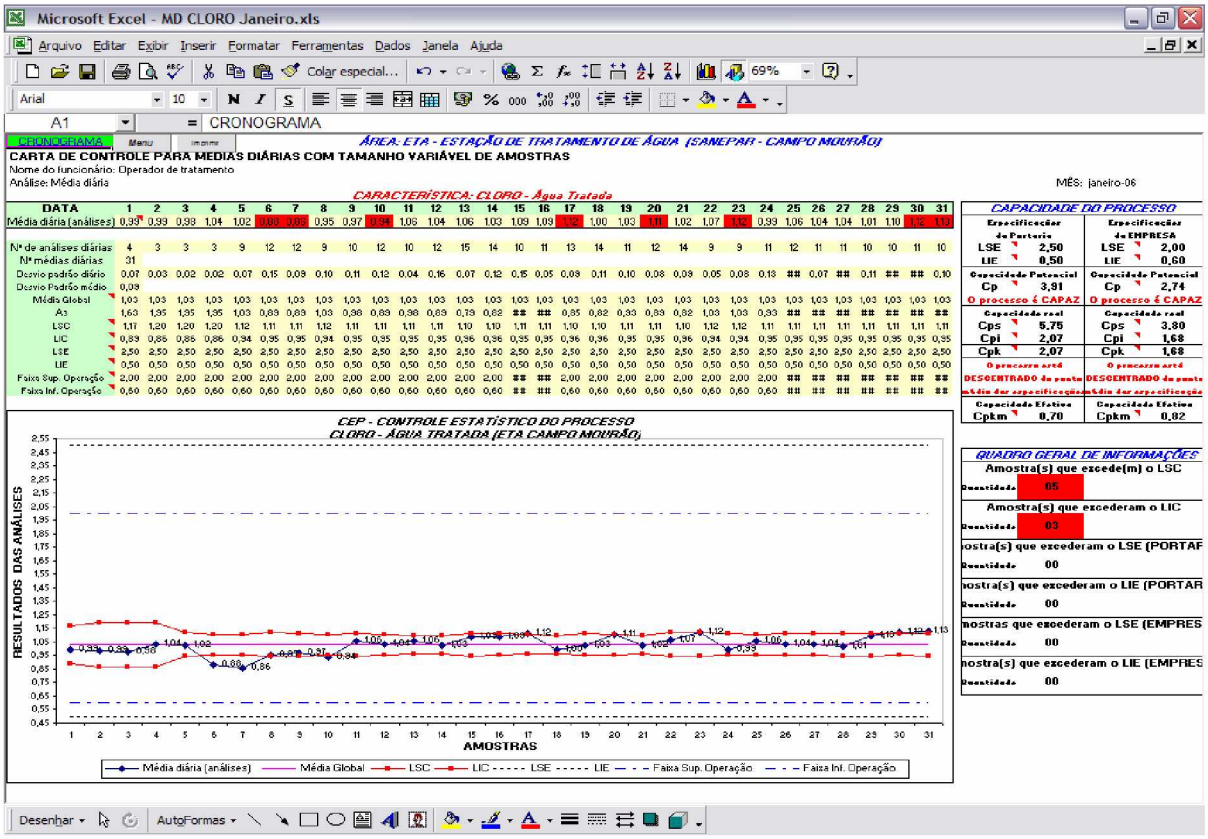
As análises de tais índices de capacidade estão apresentadas no capítulo 4.

3.2.3.6 Carta de controle mensal com tamanho de amostras variáveis

Objetivando analisar, de uma forma resumida, o comportamento do processo de produção da água tratada com base na característica de qualidade Cloro Residual Livre, ao término de cada mês, uma carta de controle mensal é plotada a partir da média diária dos resultados das análises das amostras. Como abordado anteriormente, o número de amostras diárias não é fixa. Assim, tal carta foi construída levando em consideração que o tamanho da amostra é variável.

Na Figura 3.6 está mostrada a carta de controle para a característica Cloro Residual Livre, com tamanho de amostra variável para os dados do mês de janeiro.

Figura 3.6 - Tela da carta de controle para médias com tamanho variável de amostra



A tela que apresenta a carta de controle mensal para média, com tamanho variável de amostra, diferencia-se da tela da carta de controle diária para medidas individuais nos seguintes aspectos:

- No lugar de número da amostra (1 a 24), encontra-se a data do mês, (1 a 31 neste caso);

- No lugar de valor da análise, encontra-se média diária da análise;

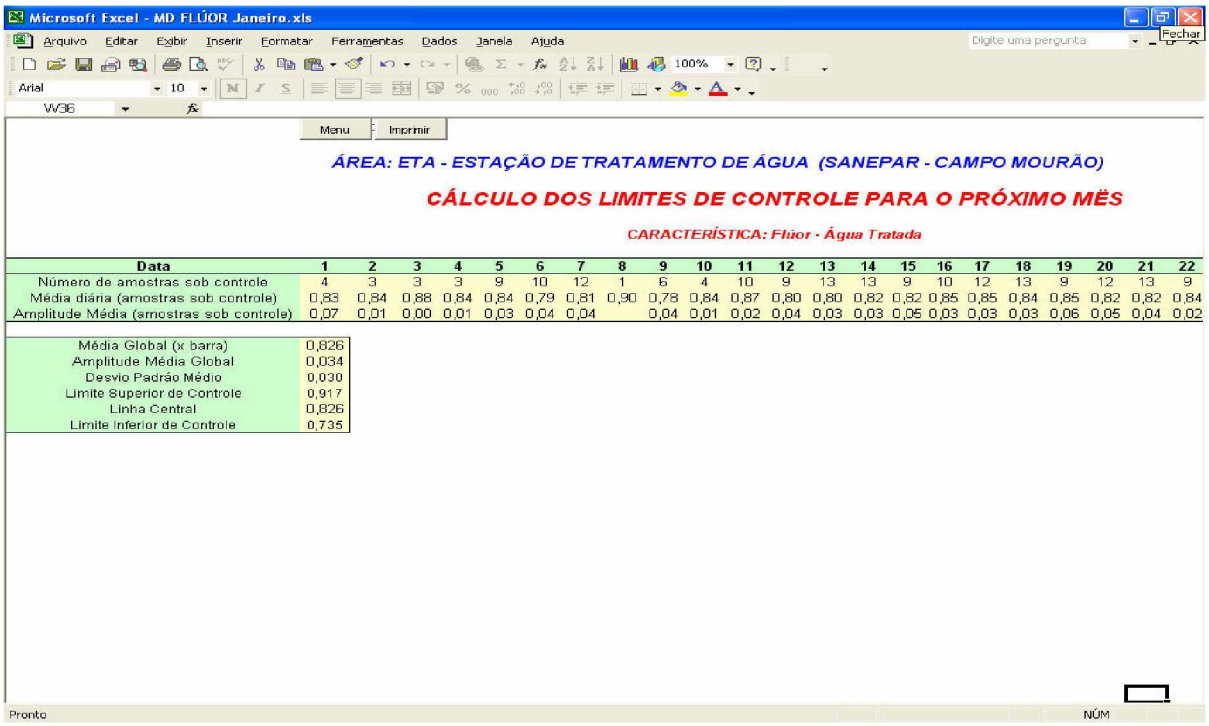
- Nesta planilha são acrescentados os seguintes campos: número de análises diárias, número de médias diárias, desvio padrão médio e o valor da constante A_3, utilizada no cálculo dos limites de controle.

Observa-se que nessa carta de controle algumas médias diárias ultrapassaram os limites de controle, tanto inferior quanto superior. Assim, tais médias são destacadas em vermelho, processo análogo ao das cartas de controle para medidas individuais.

3.2.3.7 Cálculo dos limites de controle

Os cálculos dos limites de controle são feitos ao término de cada mês, com base nos valores das amostras que não excederam os limites de controle (LSC e LIC), os limites de especificação (LSE e LIE) e as faixas superior e inferior de operação. Os valores destas amostras são registrados a cada dia e calculados a amplitude média e a média diária. Depois estes valores são transferidos para a planilha "cálculo dos limites de controle".

Figura 3.7 - Tela da planilha cálculo dos limites de controle



Nesta planilha o cálculo dos limites de controle para a carta de controle diária para medidas individuais são feitos da seguinte forma:

$$LSC = \bar{x} + 3 \cdot (desvio\ padrão\ médio) \tag{3.1}$$

$$LC = \bar{x} \tag{3.2}$$

$$LSC = \bar{x} - 3 \cdot (desvio\ padrão\ médio) \tag{3.3}$$

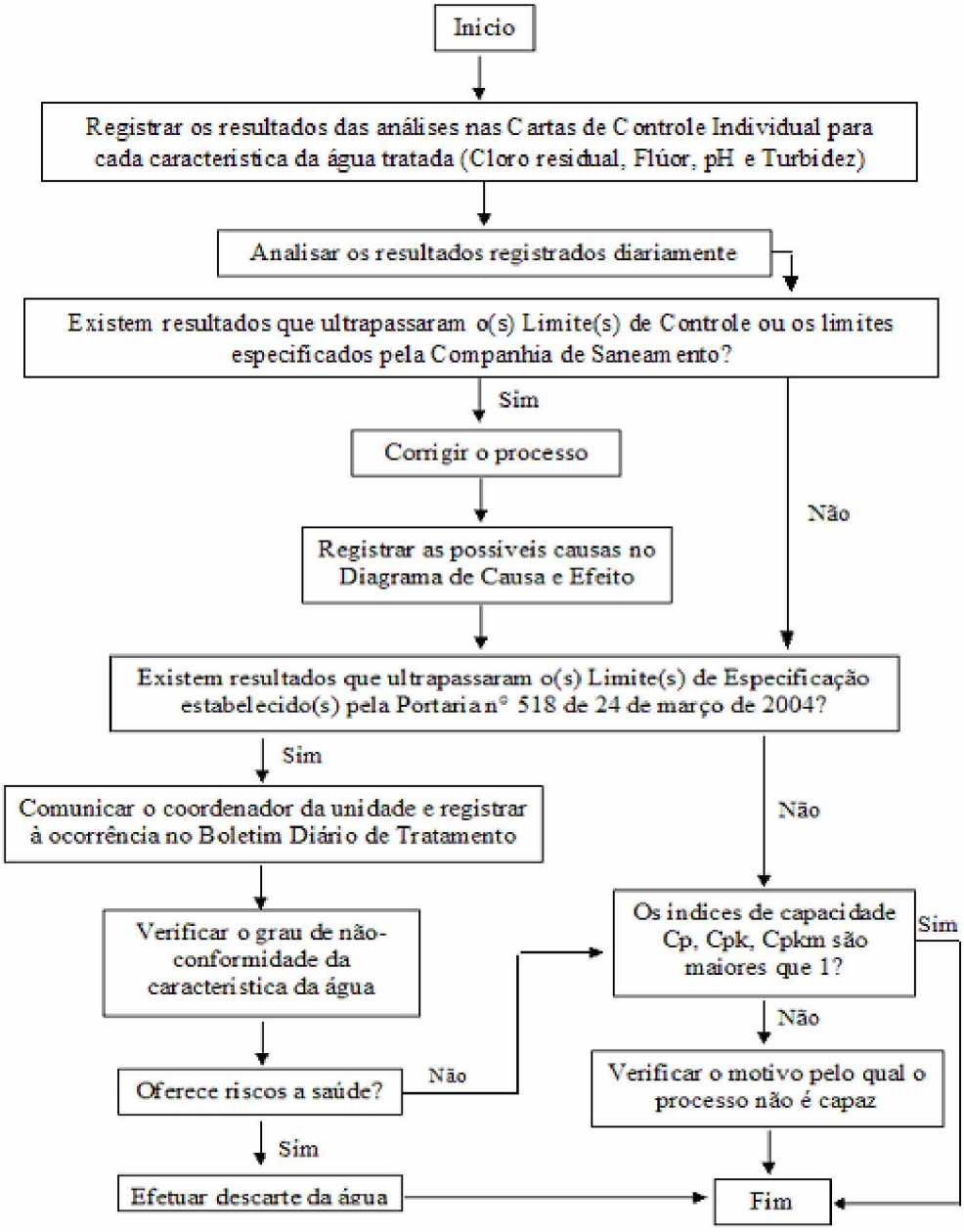
onde: $\bar{x}$ = média do valor médio das amostras diárias sob controle;

desvio padrão médio = média dos desvios padrão diários;

3.2.3.8 Fluxograma de atividades

Com o objetivo de facilitar o entendimento da implantação das Cartas de Controle, monitorar adequadamente e aprimorar as técnicas de trabalho, foi elaborado como sugestão um fluxograma que apresenta os procedimentos e responsabilidades dos funcionários envolvidos com o problema, neste caso do operador do tratamento da Unidade de Produção e do Coordenador da Unidade.

Fluxograma: Atividades e Plano de Ação



FONTE: A autora

As ferramentas do Controle Estatístico de Processo (CEP) são ótimas no controle dos processos de produção, na garantia da qualidade dos produtos e na otimização dos sistemas, pois apresentam, estatisticamente, a situação do processo e ajudam a esclarecer onde agir quando alguma não conformidade ocorre. Mas a preocupação é como proceder quando alguma não-conformidade ocorre. Todas as ações, para serem eficazes, devem ser planejadas com antecedência. Caso o problema seja grave o suficiente, a ponto de não poder esperar um planejamento, é necessário atuar imediatamente, por meio de uma solução provisória e então planejar a solução definitiva. Em geral, soluções provisórias normalmente combatem apenas o efeito e não a causa do problema.

Autores como CAMPOS (1992, pg. 54) e TUBINO (2000, pg. 193) sugerem, como forma de delinear os itens de controle das causas, montar a tabela de verificação composta de seis questões a serem respondidas, que serão transformadas em plano de ação. Esse conjunto de quesitos também é conhecido como 5W1H.

3.2.4 Elaboração do Plano de Ação – 5W1H

O plano de ação é, portanto, uma excelente ferramenta para planejar qualquer tipo de ação, seja corretiva, de otimização ou até mesmo investigativa. Uma ferramenta muito utilizada no planejamento da execução e monitoramento de trabalhos é o 5W1H. Tal ferramenta é utilizada para estabelecer um cronograma de planejamento da implantação de medidas a serem executadas. A elaboração do plano de ação levou em consideração as etapas da metodologia 5W1H, em função de ser um método aplicável a todos os níveis de uma organização, desde a alta administração até o nível operacional.

É necessário ressaltar que o objetivo do monitoramento das características da água potável ao término do tratamento é verificar se as mesmas encontram – se dentro do padrão de potabilidade e calcular a capacidade do processo produtivo.

Conforme apresentado no fluxograma, a execução do planejamento fica a cargo do operador de tratamento da unidade de produção de água potável. É ele quem registrará os resultados das análises, para que as cartas de controle sejam construídas. Após registro das amostras realizados de hora em hora, o operador do tratamento deverá analisar os resultados registrados que serão supervisionados pelo coordenador da unidade.

Se alguma amostra, para qualquer característica, ultrapassar os limites de controle, o operador deverá investigar imediatamente a causa do problema e corrigir o processo. Em seguida, deverá registrar as possíveis causas no diagrama de causa e efeito. Caso alguma amostra exceda os limites de especificação estabelecidos pela empresa, o operador deverá tomar ações preventivas para que o produto não ultrapasse os limites de especificação estabelecidos pela Portaria. Mas caso a amostra exceda o limite de especificação estabelecido pela Portaria, o operador deverá providenciar ações corretivas, registrar o fato e justificar a ocorrência.

Quadro 3.1 - Procedimentos e responsabilidades para implantação e análise das Cartas de Controle para as características de qualidade da água potável (Método 5W1H)

O QUE	POR QUE	COMO	ONDE	QUEM	QUANDO
Registrar resultados das análises das amostras correspondentes ao valor controlado na Carta de Controle Individual	Para prevenir a ocorrência de não - conformidades	Registrar eletronicamente	MD Água Tratada	Operador do tratamento	Diariamente, após análise de cada amostra
Verificar se os resultados das análises não ultrapassaram os Limites de Controle e os Limites de Especificação	Devido a ocorrências de amostras não conformes	Verificando as Cartas de Controle	MD Água Tratada	Operador do tratamento	Diariamente
Corrigir o processo e registrar as possíveis causas no diagrama de causa e efeito, caso alguma amostra exceda os limites de controle	Devido ao fato do processo estar fora de controle	Identificando a causa do problema	Etapa do tratamento	Operador do tratamento	Caso alguma amostra ultrapasse os Limites de Controle
Fazer registro de ocorrência caso alguma amostra exceda os limites de especificação	Devido a necessidade de identificação das amostras que excederam tais limites	Registrando eletronicamente	Boletim diário de tratamento	Operador do tratamento	Caso alguma amostra ultrapasse os limites de especificação
Analisar índice de capacidade - Cp	Verificar se o processo de produção é capaz	Analisar se o valor de Cp>1	Na planilha capacidade do processo	Operador do tratamento	Diariamente
Analisar índice de capacidade - Cpk	Verificar se o processo de produção está centrado no ponto médio das especificações	Analisar se Cps=Cpi	Na planilha capacidade do processo	Operador do tratamento	Diariamente
Analisar índice de capacidade - Cpkm	Verificar se o processo de produção é capaz	Analisar se Cpkm>1	Na planilha capacidade do processo	Operador do tratamento	Diariamente

FONTE: A autora

De acordo com AGUIAR (2002, p. 78) "o diagrama de causa e efeito é utilizado para dispor de forma gráfica o relacionamento entre o problema a ser tratado e suas causas".

O diagrama de causa e efeito é uma das sete principais ferramentas do Controle Estatístico de Processo, utilizado para detectar as principais causas de um problema. Neste sentido, a Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar poderá utilizar tal ferramenta, como instrumento auxiliar, seja durante as reuniões ou até mesmo durante o turno de cada operador na Estação de Tratamento, como mostrado no Apêndice 3.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS

O monitoramento das características de qualidade da água tratada foi realizado diariamente, durante o ano de 2006, e tomou como base os dados contidos no Boletim Diário de Tratamento (Anexo 1), uma planilha eletrônica fornecida pela Sanepar que contém os valores das análises das características da água in natura, coagulada, decantada, filtrada e tratada.

Foram desconsideradas as análises da água in natura, pois a qualidade da água nesta etapa é influenciada por vários fatores externos, tais como: qualidade do manancial, clima, temperatura, entre outros. Já na etapa de Coagulação a Estação de Tratamento de Campo Mourão realiza a análise de apenas uma característica, o pH. E na etapa de Decantação e Filtração, é controlada apenas a Turbidez da água. Sendo assim, a pesquisa levou em conta somente as características de qualidade da água tratada.

Foram monitoradas por meio de cartas de controle, quatro características da água tratada, Cloro Residual Livre, Flúor, pH e Turbidez e calculados os índices de capacidade. É necessário ressaltar que diariamente, durante o ano de 2006, foram construídas as cartas de controle e monitoradas as análises da água tratada para cada característica. A realização deste monitoramento é importante, pois permite ao operador do tratamento verificar quais amostras estão ou não sob controle, verificando os limites superior e inferior de controle, as faixas superior e inferior de operação e os limites estipulados pela Portaria.

A capacidade de produção da água tratada foi obtida tanto por meio das especificações da Portaria, como também por meio das especificações da empresa (aproximadamente 20% dos valores da Portaria), abordados no capítulo 3. Os índices de capacidade do processo foram calculados diariamente por meio do desvio padrão das amostras coletadas diariamente e também mensalmente, por meio do desvio

padrão médio mensal (valor médio dos desvios diários). Em razão da quantidade de dados, serão apresentados neste capítulo apenas valores da tabulação dos índices mensais de capacidade de produção da água tratada.

4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como mencionado anteriormente, esta pesquisa teve o intuito de monitorar quatro características de qualidade da água tratada. São elas: Cloro Residual Livre, Flúor, pH e Turbidez durante o ano de 2006. Este monitoramento ocorreu de forma contínua. Foram analisadas todas as amostras coletadas das quatro características durante todos os 365 dias.

Neste aspecto, foram construídas por meio do programa computacional, 377 cartas de controle para cada característica de qualidade, a saber, 365 cartas de controle diárias para medidas individuais e 12 cartas de controle mensal com tamanho de amostra variável. Foram totalizadas 1508 cartas de controle, para as quatro características de qualidade.

Em função da quantidade de cartas de controle serão apresentadas, 8 cartas de controle escolhidas aleatoriamente, sendo:

- 4 cartas de controle diárias para medidas individuais: Cloro Residual Livre (08 de abril), Flúor (22 de abril), pH (24 de julho) e Turbidez (12 de julho);
- 4 cartas de controle mensais com tamanho variável de amostra: Cloro Residual Livre (mês de abril), Flúor (mês de abril), pH (mês de julho) e Turbidez (mês de julho).

Figura 4.1 – Carta de controle para medidas individuais da característica Cloro Residual Livre – 08/04/2006

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS

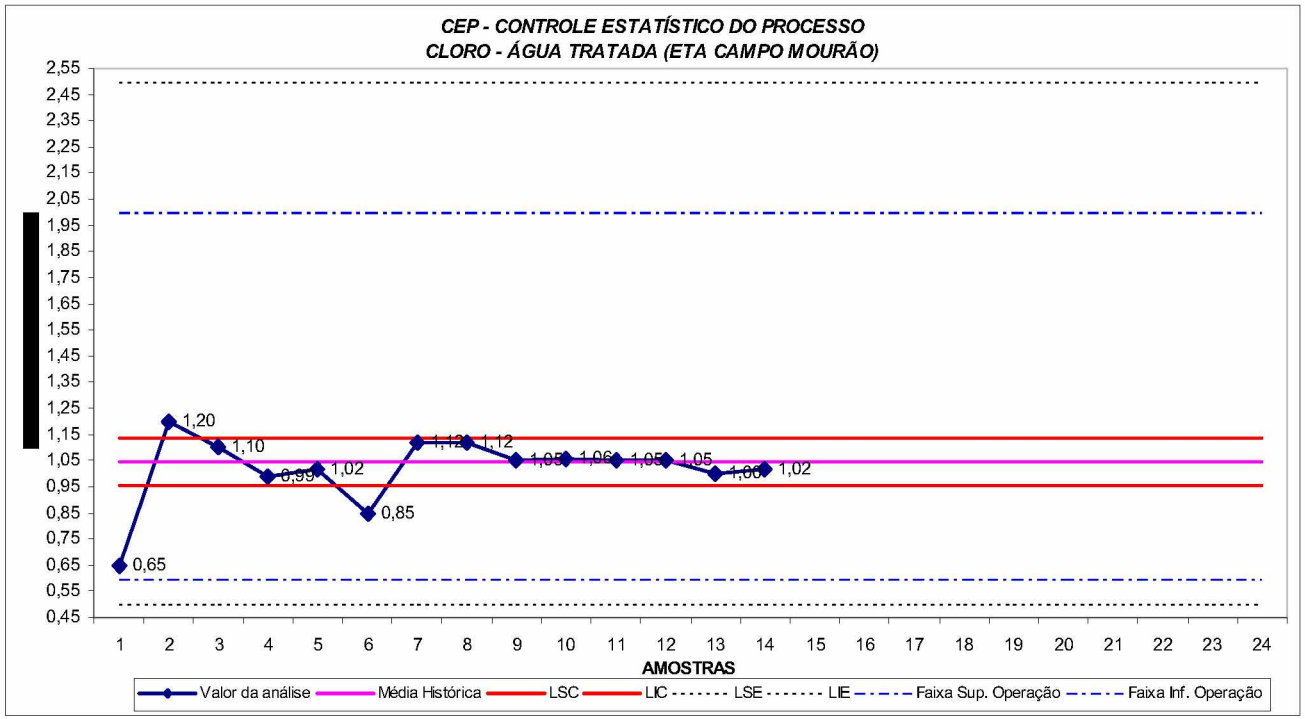
Nome do funcionário: Operador de tratamento

DATA: 08/04/06

Análises: Diária

CARACTERÍSTICA: CLORO - Água Tratada

Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Valor da análise	0,65	1,20	1,10	0,99	1,02	0,85	1,12	1,12	1,05	1,06	1,05	1,05	1,00	1,02										
Número de análises	14																							
Média Diária	1,02																							
Média Histórica	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Desvio Padrão	0,13																							
LSC	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
LIC	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
LSE	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
LIE	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Faixa Sup. Operação	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Faixa Inf. Operação	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60



CAPACIDADE DO PROCESSO	
Especificações da Portaria	Especificações da EMPRESA
LSE 2,50	LSE 2,00
LIE 0,50	LIE 0,60
Capacidade Potencial	Capacidade Potencial
Cp 2,50	Cp 1,75
O processo é CAPAZ	O processo é CAPAZ
Capacidade real	Capacidade real
Cps 3,71	Cps 2,45
Cpi 1,30	Cpi 1,05
Cpk 1,30	Cpk 1,05
O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações	O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações
Capacidade Efetiva	Capacidade Efetiva
Cpkm 0,67	Cpkm 0,75

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES	
Amostra(s) que excede(m) o LSC	
Quantidade:	01
Amostra(s) que excede(m) o LIC	
Quantidade:	02
Amostra(s) que excede(m) o LSE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (EMPRESA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (EMPRESA)	
Quantidade:	00

Figura 4.2 – Carta de controle para medidas individuais da característica Flúor – 22/04/2006

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS

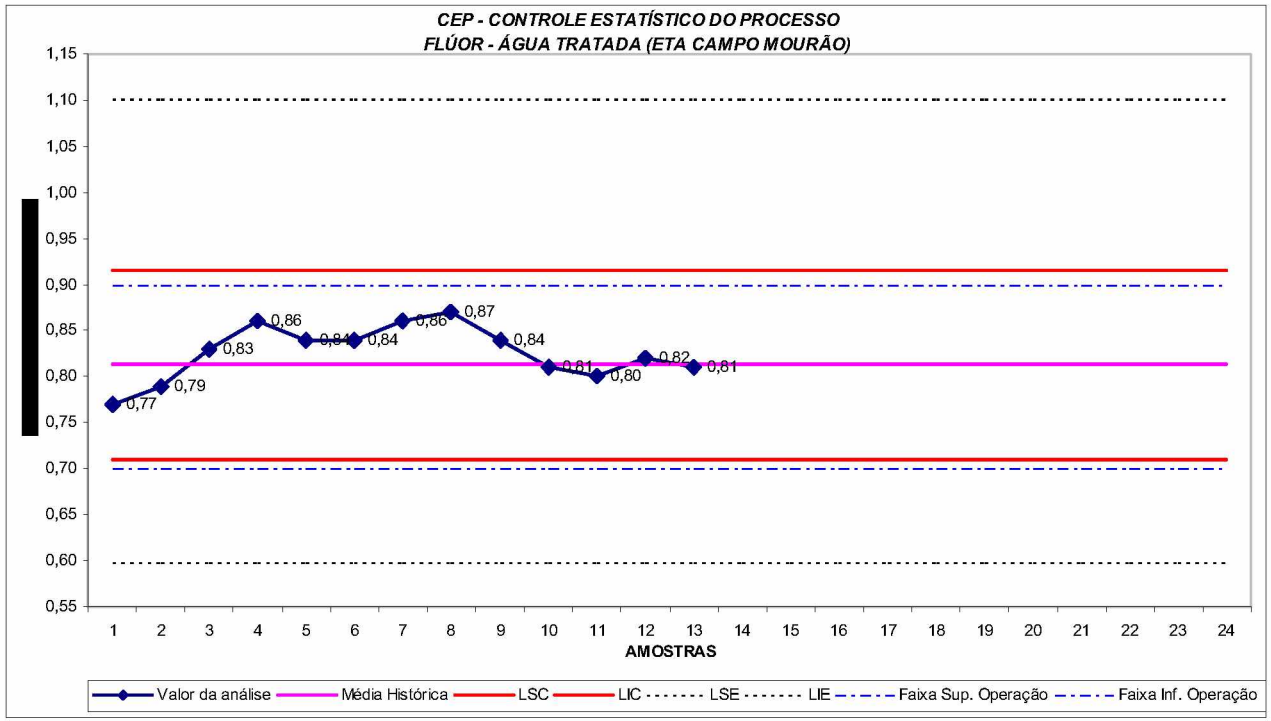
Nome do funcionário: Operador de tratamento

DATA: 22/04/06

Análises: Diária

CARACTERÍSTICA: FLÚOR - Água Tratada

Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Valor da análise	0,77	0,79	0,83	0,86	0,84	0,84	0,86	0,87	0,84	0,81	0,80	0,82	0,81											
Número de análises	13																							
Média Diária	0,83																							
Média Histórica	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Desvio Padrão	0,03																							
LSC	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
LIC	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
LSE	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
LIE	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Faixa Sup. Operação	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Faixa Inf. Operação	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70



CAPACIDADE DO PROCESSO	
Especificações da Portaria	Especificações da EMPRESA
LSE 1,10	LSE 0,90
LIE 0,60	LIE 0,70
Capacidade Potencial	Capacidade Potencial
Cp 2,83	Cp 1,13
O processo é CAPAZ	O processo é CAPAZ
Capacidade real	Capacidade real
Cps 3,10	Cps 0,83
Cpi 2,56	Cpi 1,42
Cpk 2,56	Cpk 0,83
O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações	O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações
Capacidade Efetiva	Capacidade Efetiva
Cpkm 2,20	Cpkm 0,84

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES
Amostra(s) que excede(m) LSC
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LIC
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (PORTARIA)
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (PORTARIA)
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (EMPRESA)
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (EMPRESA)
Quantidade: 00

Figura 4.3 – Carta de controle para medidas individuais da característica pH – 24/07/2006

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS

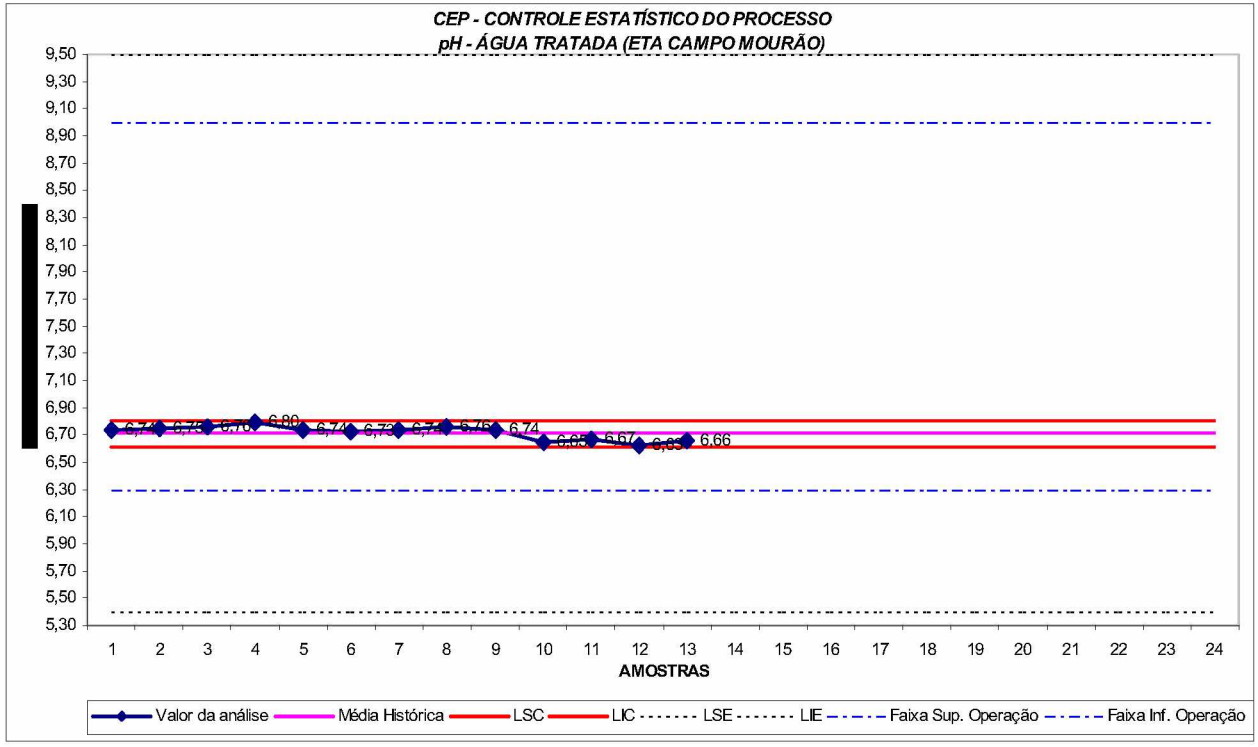
Nome do funcionário: Operador de tratamento

DATA: 24/07/06

Análises: Diária

CARACTERÍSTICA: pH - Água Tratada

Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Valor da análise	6,74	6,75	6,76	6,80	6,74	6,73	6,74	6,76	6,74	6,65	6,67	6,63	6,66											
Número de análises	13																							
Média Diária	6,72																							
Média Histórica	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71
Desvio Padrão	0,05																							
LSC	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81
LIC	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62
LSE	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
LIE	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40
Faixa Sup. Operação	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
Faixa Inf. Operação	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30



CAPACIDADE DO PROCESSO			
Especificações da Portaria		Especificações da EMPRESA	
LSE	9,50	LSE	9,00
LIE	5,40	LIE	6,30
Capacidade Potencial		Capacidade Potencial	
Cp	13,38	Cp	8,81
O processo é CAPAZ		O processo é CAPAZ	
Capacidade real		Capacidade real	
Cps	18,14	Cps	14,88
Cpi	8,62	Cpi	2,75
Cpk	8,62	Cpk	2,75
O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações		O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações	
Capacidade Efetiva		Capacidade Efetiva	
Cpkm	0,93	Cpkm	0,48

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES	
Amostra(s) que excede(m) LSC	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIC	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (EMPRESA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (EMPRESA)	
Quantidade:	00

Figura 4.4 – Carta de controle para medidas individuais da característica Turbidez – 12/07/2006

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS

Nome do funcionário: Operador de tratamento

DATA: 12/07/06

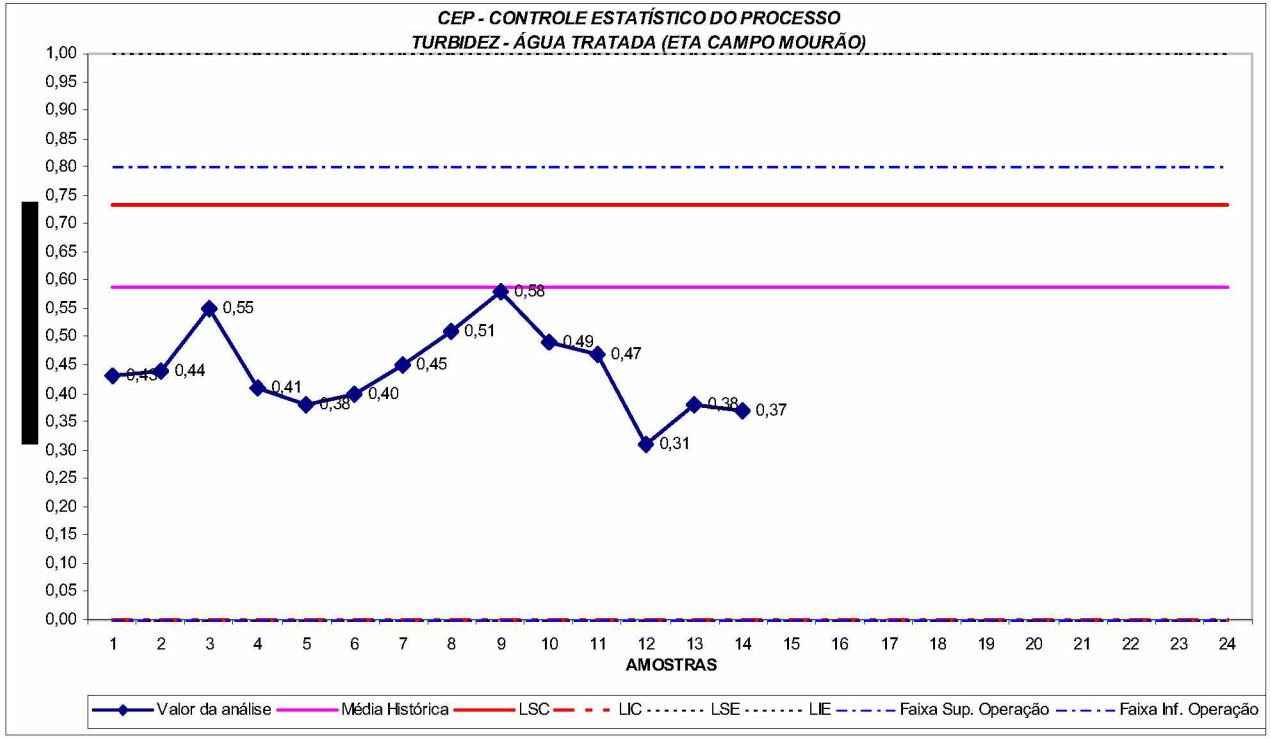
Análises: Diária

CARACTERÍSTICA: TURBIDEZ - Água Tratada

Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Valor da análise	0,43	0,44	0,55	0,41	0,38	0,40	0,45	0,51	0,58	0,49	0,47	0,31	0,38	0,37										
Número de análises	14																							
Média Diária	0,44																							
Média Histórica	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
Desvio Padrão	0,07																							
LSC	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
LIC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LSE	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Faixa Sup. Operação	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Faixa Inf. Operação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

CAPACIDADE DO PROCESSO

Especificações da Portaria		Especificações da EMPRESA	
LSE	1,00	LSE	0,80
LIE	0,00	LIE	0,00
Cpk	1,98	Cpk	1,61



QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES

Amostra(s) que excede(m) LSC
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LIC
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (PORTARIA)
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (PORTARIA)
Quantidade: 00
Amostras que excede(m) o LSE (EMPRESA)
Quantidade: 00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (EMPRESA)
Quantidade: 00

Figura 4.5 – Carta de controle para médias diárias com tamanho variável de amostras para característica Cloro Residual Livre – Abril/2006

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA MÉDIAS DIÁRIAS COM TAMANHO VARIÁVEL DE AMOSTRAS

Nome do funcionário: Operador de tratamento

Análise: Média diária

MÊS: Abril/06

CARACTERÍSTICA: CLORO - Água Tratada

DATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Média diária (análises)	1,09	1,02	1,00	1,05	1,05	1,02	1,02	1,02	1,01	1,05	1,03	0,99	1,02	1,07	1,05	0,98	1,01	1,04	1,07	0,96	1,03	1,02	1,02	0,95	0,98	0,95	1,04	1,01	0,97	0,98
Nº de análises diárias	12	10	6	9	9	8	11	14	7	10	10	10	13	10	8	8	12	9	11	10	12	13	8	11	10	10	10	10	12	10
Nº médias diárias	30																													
Desvio padrão diário	0,08	0,04	0,04	0,09	0,06	0,07	0,04	0,13	0,03	0,05	0,09	0,05	0,05	0,10	0,06	0,08	0,04	0,03	0,05	0,09	0,05	0,03	0,02	0,07	0,12	0,11	0,07	0,08	0,07	0,08
Desvio Padrão médio	0,07																													
Média Global	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
A3	0,89	0,98	1,29	1,03	1,03	1,10	0,93	0,82	1,18	0,98	0,98	0,98	0,85	0,98	1,10	1,10	0,89	1,03	0,93	0,98	0,89	0,85	1,10	0,93	0,98	0,98	0,98	0,98	0,89	0,98
LSC	1,07	1,08	1,10	1,08	1,08	1,09	1,08	1,07	1,09	1,08	1,08	1,08	1,07	1,08	1,09	1,09	1,07	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,07	1,08
LIC	0,96	0,95	0,93	0,95	0,95	0,94	0,95	0,96	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,95	0,94	0,94	0,96	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,95
LSE	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
LIE	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Faixa Sup. Operação	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Faixa Inf. Operação	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

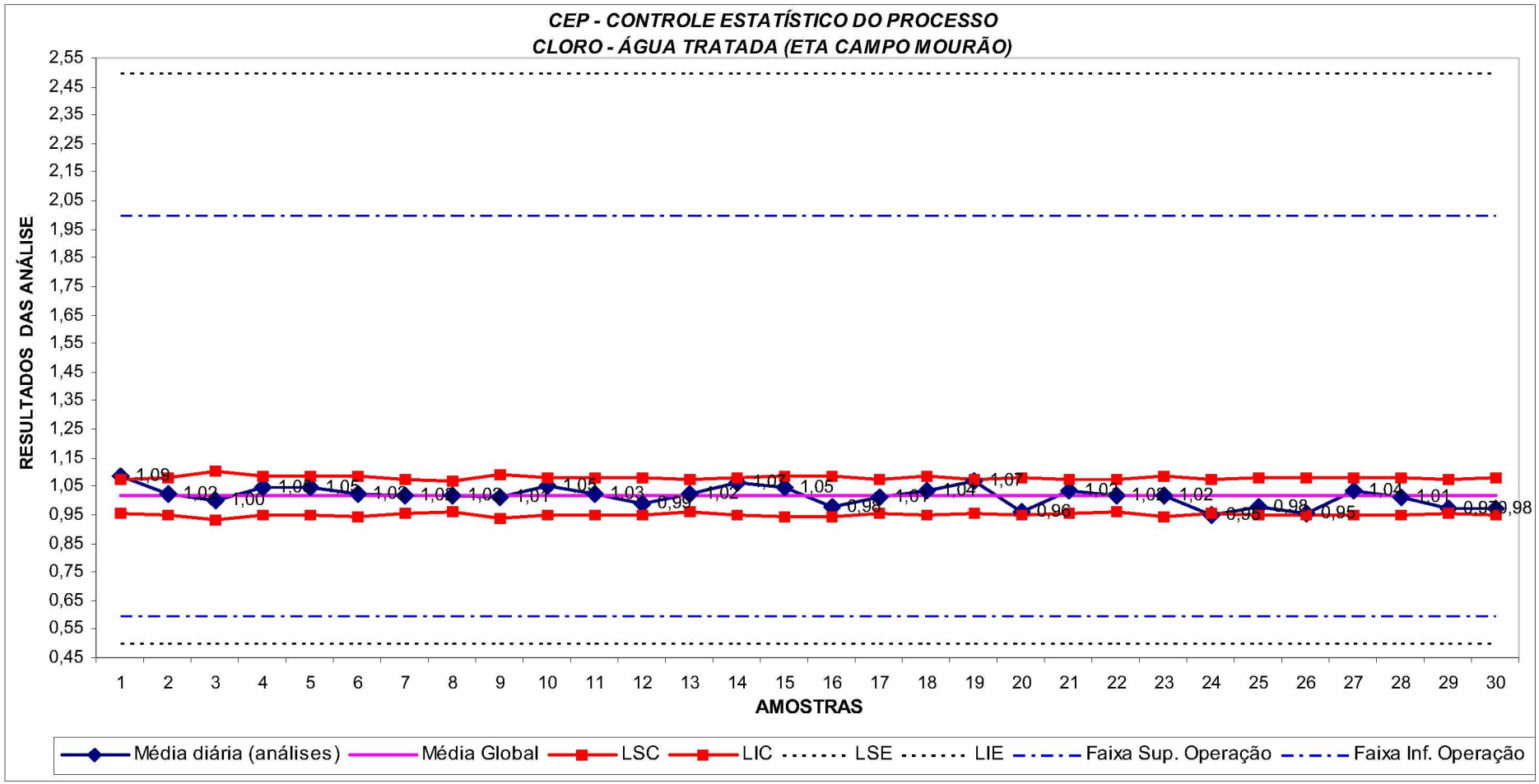
CAPACIDADE DO PROCESSO

Especificações da Portaria		Especificações da EMPRESA	
LSE	2,50	LSE	2,00
LIE	0,50	LIE	0,60
Capacidade Potencial		Capacidade Potencial	
Cp	5,06	Cp	3,54
O processo é CAPAZ		O processo é CAPAZ	
Capacidade real		Capacidade real	
Cps	7,51	Cps	4,98
Cpi	2,61	Cpi	2,10
Cpk	2,61	Cpk	2,10
O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações		O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações	
Capacidade Efetiva		Capacidade Efetiva	
Cpkm	0,68	Cpkm	0,80

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES

Amostra(s) que excede(m) o LSC	
Quantidade:	01
Amostra(s) que excederam o LIC	
Quantidade:	01
Amostra(s) que excederam o LSE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excederam o LIE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostras que excederam o LSE (EMPRESA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excederam o LIE (EMPRESA)	
Quantidade:	00

Continua


CEP - CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO
CLORO - ÁGUA TRATADA (ETA CAMPO MOURÃO)
RESULTADOS DAS ANÁLISE
AMOSTRAS
Média diária (análises)
Média Global
LSC
LIC
LSE
LIE
Faixa Sup. Operação
Faixa Inf. Operação

Fim

Figura 4.6 – Carta de controle para médias diárias com tamanho variável de amostras para a característica Flúor – Abril /2006

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA MÉDIAS DIÁRIAS COM TAMANHO VARIÁVEL DE AMOSTRAS

Nome do funcionário: Operador de tratamento

Análise: Média diária

MÊS: Abril/06

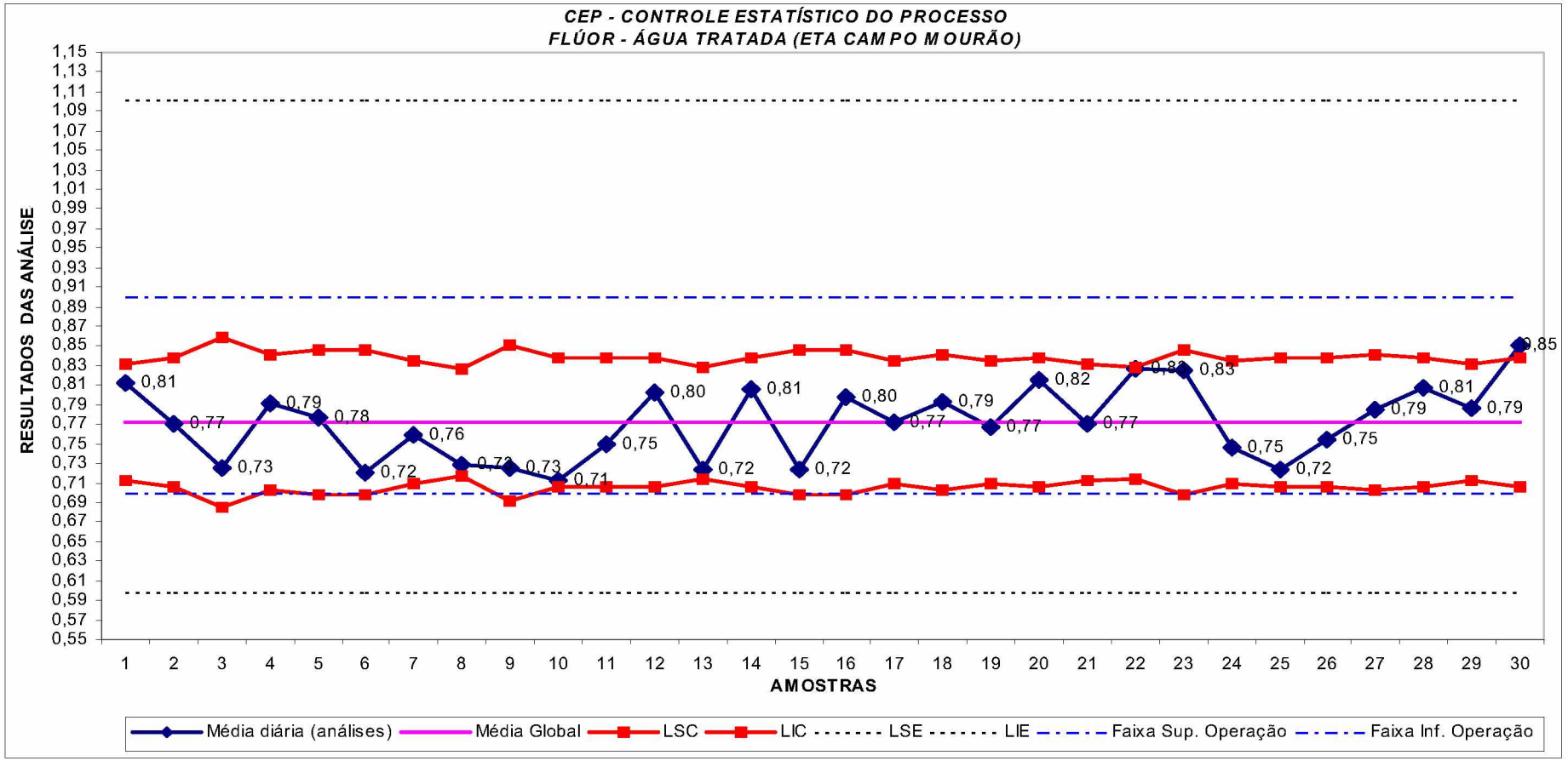
CARACTERÍSTICA: FÚOR - Água Tratada

DATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Média diária (análises)	0,81	0,77	0,73	0,79	0,78	0,72	0,76	0,73	0,73	0,71	0,75	0,80	0,72	0,81	0,72	0,80	0,77	0,79	0,77	0,82	0,77	0,83	0,83	0,75	0,72	0,75	0,79	0,81	0,79	0,85
Nº de análises diárias	12	10	6	9	8	8	11	14	7	10	10	10	13	10	8	8	11	9	11	10	12	13	8	11	10	10	9	10	12	10
Nº médias diárias	30																													
Desvio padrão diário	0,08	0,05	0,05	0,07	0,09	0,06	0,04	0,08	0,02	0,04	0,06	0,03	0,03	0,05	0,08	0,04	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,03	0,08	0,04	0,15	0,10	0,08	0,05	0,03	0,26
Desvio Padrão médio	0,07																													
Média Global	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
A3	0,89	0,98	1,29	1,03	1,10	1,10	0,93	0,82	1,18	0,98	0,98	0,98	0,85	0,98	1,10	1,10	0,93	1,03	0,93	0,98	0,89	0,85	1,10	0,93	0,98	0,98	1,03	0,98	0,89	0,98
LSC	0,83	0,84	0,86	0,84	0,85	0,85	0,83	0,83	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,84	0,85	0,85	0,83	0,84	0,83	0,84	0,83	0,83	0,85	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,83	0,84
LIC	0,71	0,71	0,68	0,70	0,70	0,70	0,71	0,72	0,69	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70	0,70	0,71	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70	0,71	0,71	0,71	0,70	0,71	0,71	0,71
LSE	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
LIE	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Faixa Sup. Operação	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Faixa Inf. Operação	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

CAPACIDADE DO PROCESSO	
Especificações da Portaria	**Especificações da EMPRESA**
LSE 1,10	**LSE 0,90**
LIE 0,60	**LIE 0,70**
Capacidade Potencial	**Capacidade Potencial**
Cp 1,24	**Cp 0,49**
O processo é CAPAZ	**O processo é INCAPAZ**
Capacidade real	**Capacidade real**
Cps 1,63	**Cps 0,64**
Cpi 0,85	**Cpi 0,35**
Cpk 0,85	**Cpk 0,35**
O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações	**O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações**
Capacidade Efetiva	**Capacidade Efetiva**
Cpkm 0,81	**Cpkm 0,46**

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES	
Amostra(s) que excederam LSC	
Quantidade:	**01**
Amostra(s) que excederam o LIC	
Quantidade:	**00**
Amostra(s) que excederam o LSE (PORTARIA)	
Quantidade:	**00**
Amostra(s) que excederam o LIE (PORTARIA)	
Quantidade:	**00**
Amostras que excederam o LSE (EMPRESA)	
Quantidade:	**00**
Amostra(s) que excederam o LIE (EMPRESA)	
Quantidade:	**00**

Continua


CEP - CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO
FLÚOR - ÁGUA TRATADA (ETA CAMPO MOURÃO)
RESULTADOS DAS ANÁLISE
AMOSTRAS
Média diária (análises)
Média Global
LSC
LIC
LSE
LIE
Faixa Sup. Operação
Faixa Inf. Operação

Fim

Figura 4.7 – Carta de controle para médias diárias com tamanho variável de amostras para a característica pH – julho /2006

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA MÉDIAS DIÁRIAS COM TAMANHO VARIÁVEL DE AMOSTRAS

Nome do funcionário: Operador de tratamento

Análise: Média diária

MÊS: julho-06

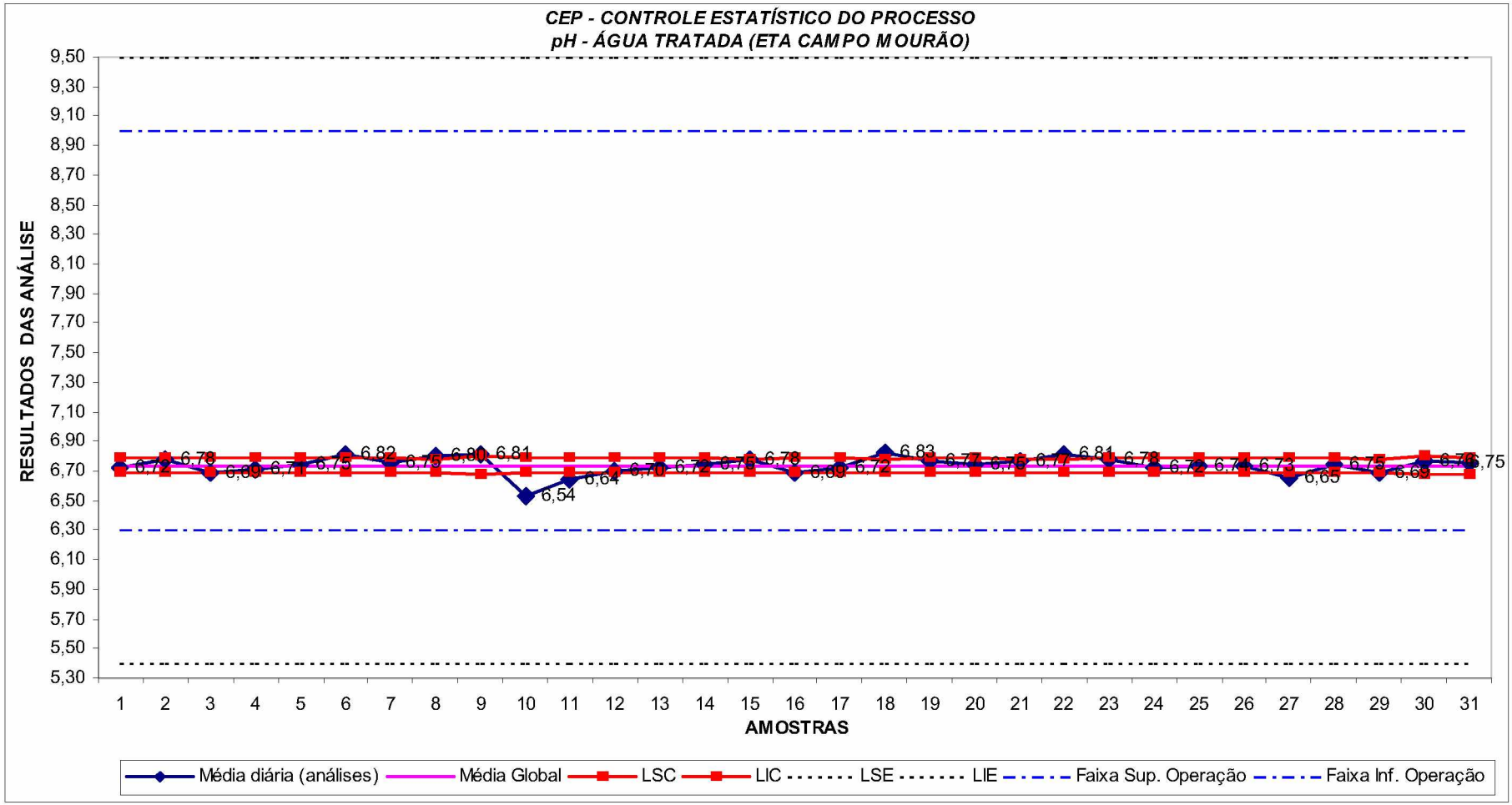
CARACTERÍSTICA: pH - Água Tratada

DATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Média diária (análises)	6,72	6,78	6,69	6,71	6,75	6,82	6,75	6,80	6,81	6,54	6,64	6,70	6,72	6,75	6,78	6,69	6,72	6,83	6,77	6,75	6,77	6,81	6,78	6,72	6,74	6,73	6,65	6,75	6,69	6,76	6,75
Nº de análises diárias	11	12	12	12	13	12	13	17	9	13	11	13	13	13	16	11	13	14	12	13	14	16	12	13	13	13	12	13	16	9	10
Nº médias diárias	31																														
Desvio padrão diário	0,02	0,03	0,06	0,04	0,03	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,11	0,09	0,06	0,07	0,08	0,04	0,02	0,06	0,09	0,06	0,03	0,05	0,09	0,05	0,04	0,05	0,06	0,08	0,06	0,04	0,03
Desvio Padrão médio	0,06																														
Média Global	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
A3	0,93	0,89	0,89	0,89	0,85	0,89	0,85	0,74	1,03	0,85	0,93	0,85	0,85	0,85	0,76	0,93	0,85	0,82	0,89	0,85	0,82	0,76	0,89	0,85	0,85	0,85	0,89	0,85	0,76	1,03	0,98
LSC	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,78	6,80	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,78	6,79	6,79	6,78	6,79	6,79	6,78	6,78	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,78	6,80	6,79
LIC	6,68	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,68	6,69	6,68	6,69	6,69	6,69	6,69	6,68	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,68	6,68
LSE	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
LIE	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40
Faixa Sup. Operação	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
Faixa Inf. Operação	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30

CAPACIDADE DO PROCESSO			
Especificações da Portaria		Especificações da EMPRESA	
LSE	9,50	LSE	9,00
LIE	5,40	LIE	6,30
Capacidade Potencial		Capacidade Potencial	
Cp	11,80	Cp	7,77
O processo é CAPAZ		O processo é CAPAZ	
Capacidade real		Capacidade real	
Cps	15,90	Cps	13,03
Cpi	7,70	Cpi	2,52
Cpk	7,70	Cpk	2,52
O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações		O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações	
Capacidade Efetiva		Capacidade Efetiva	
Cpkm	0,96	Cpkm	0,49

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES	
Amostra(s) que excede(m) LSC	
Quantidade:	05
Amostra(s) que excede(m) o LIC	
Quantidade:	04
Amostra(s) que excede(m) o LSE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (EMPRESA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (EMPRESA)	
Quantidade:	00

Continua


CEP - CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO
pH - ÁGUA TRATADA (ETA CAMPO MOURÃO)
RESULTADOS DAS ANÁLISE
9,50
9,30
9,10
8,90
8,70
8,50
8,30
8,10
7,90
7,70
7,50
7,30
7,10
6,90
6,70
6,50
6,30
6,10
5,90
5,70
5,50
5,30
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
AMOSTRAS
Média diária (análises)
Média Global
LSC
LIC
LSE
LIE
Faixa Sup. Operação
Faixa Inf. Operação

Fim

Figura 4.8 – Carta de controle para médias diárias com tamanho variável de amostras para a característica Turbidez – julho/2006

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

GRÁFICO DE CONTROLE PARA MÉDIAS DIÁRIAS COM TAMANHO VARIÁVEL DE AMOSTRAS

Nome do funcionário: Operador de tratamento

MÊS: julho-06

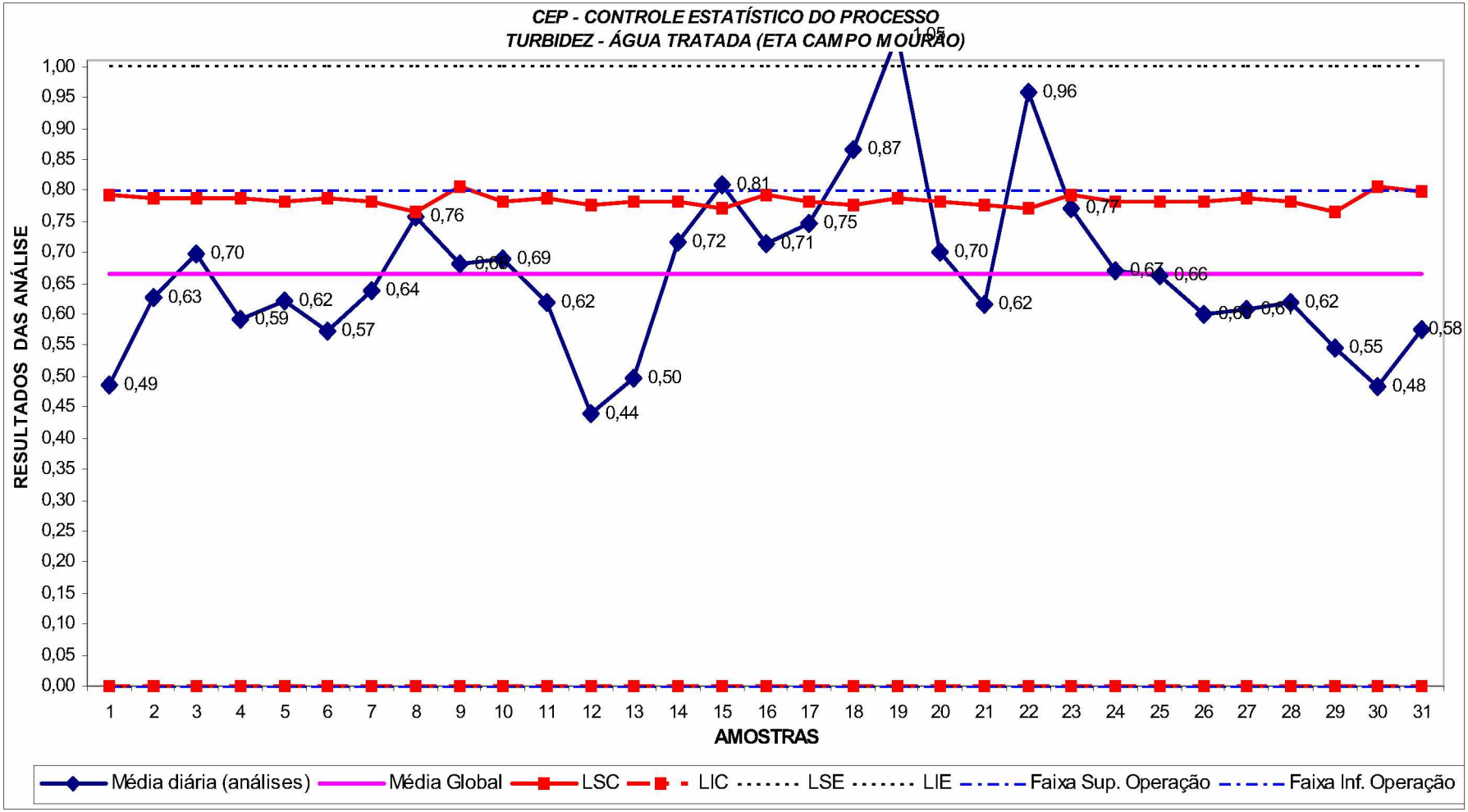
CARACTERÍSTICA: TURBIDEZ - Água Tratada

DATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Média diária (análises)	0,49	0,63	0,70	0,59	0,62	0,57	0,64	0,76	0,68	0,69	0,62	0,44	0,50	0,72	0,81	0,71	0,75	0,87	1,05	0,70	0,62	0,96	0,77	0,67	0,66	0,60	0,61	0,62	0,55	0,48	0,58
Nº de análises diárias	11	12	12	12	13	12	13	17	9	13	12	14	13	13	16	11	13	14	12	13	14	16	11	13	13	13	12	13	17	9	10
Nº médias diárias	31																														
Desvio padrão diário	0,12	0,08	0,08	0,10	0,12	0,09	0,21	0,07	0,11	0,20	0,21	0,07	0,15	0,15	0,11	0,16	0,25	0,19	0,28	0,10	0,15	0,39	0,12	0,09	0,11	0,11	0,09	0,09	0,07	0,05	0,11
Desvio Padrão médio	0,14																														
Média Global	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
A3	0,93	0,89	0,89	0,89	0,85	0,89	0,85	0,74	1,03	0,85	0,89	0,82	0,85	0,85	0,76	0,93	0,85	0,82	0,89	0,85	0,82	0,76	0,93	0,85	0,85	0,85	0,89	0,85	0,74	1,03	0,98
LSC	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,81	0,78	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77	0,79	0,78	0,78	0,79	0,78	0,78	0,77	0,79	0,78	0,78	0,78	0,79	0,78	0,77	0,81	0,80
LIC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LSE	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LIE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Faixa Sup. Operação	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Faixa Inf. Operação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

CAPACIDADE DO PROCESSO			
Especificações da Portaria		**Especificações da EMPRESA**	
LSE	**1,00**	**LSE**	**0,80**
LIE	**0,00**	**LIE**	**0,00**
Capacidade real		**Capacidade real**	
Cpk	**0,82**	**Cpk**	**0,33**

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES	
Amostra(s) que excederam LSC	
Quantidade:	**04**
Amostra(s) que excederam o LIC	
Quantidade:	**00**
Amostra(s) que excederam o LSE (PORTARIA)	
Quantidade:	**00**
Amostra(s) que excederam o LIE (PORTARIA)	
Quantidade:	**00**
Amostras que excederam o LSE (EMPRESA)	
Quantidade:	**04**
Amostra(s) que excederam o LIE (EMPRESA)	
Quantidade:	**00**

Continua


CEP - CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO
TURBIDEZ - ÁGUA TRATADA (ETA CAMPO MOURÃO)
RESULTADOS DAS ANÁLISE
AMOSTRAS
1,00
0,95
0,90
0,85
0,80
0,75
0,70
0,65
0,60
0,55
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
0,49
0,63
0,70
0,59
0,62
0,57
0,64
0,76
0,68
0,69
0,62
0,44
0,50
0,72
0,81
0,71
0,75
0,87
1,05
0,70
0,62
0,96
0,77
0,67
0,66
0,62
0,55
0,48
0,58
Média diária (análises)
Média Global
LSC
LIC
LSE
LIE
Faixa Sup. Operação
Faixa Inf. Operação

Fim

Foram verificadas todas as 1508 cartas de controle, individualmente, e registrada a quantidade de amostras que não estavam sob controle. E, para facilitar a interpretação dos dados, os mesmos foram tabulados mensalmente para cada característica analisada.

4.2.1 Análise do Monitoramento da Característica Cloro Residual Livre

Primeiramente, é necessário mencionar que o monitoramento da quantidade de Cloro Residual Livre na água tratada, refere - se à quantidade concentrada de resíduo do Cloro utilizada no tratamento da água. De acordo com DI BERNARDO E DI BERNARDO DANTAS (2005, p. 1202), o cloro presente na água na forma de ácido hipocloroso e de íon hipoclorito é denominado cloro residual livre.

Ainda de acordo com os autores citados acima, as principais vantagens do uso do cloro são:

- Inativa eficientemente uma grande variedade de microorganismos patogênicos encontrados na água;
- Produz residual na água facilmente medido e controlado;
- É facilmente encontrado no mercado a custos razoáveis;
- Manuseio relativamente simples e aplicação segura.

Os principais usos do Cloro são:

- Controle de sabor e odor;
- Prevenção do crescimento das algas nas unidades da ETA;
- Oxidação de Ferro e Manganês;
- Redução da cor e controle do crescimento de filmes biológicos em tubulações.

As principais desvantagens são:

- O cloro livre reage com diversos compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água para formar subprodutos indesejáveis;

- Dosagens relativamente altas causam sabor e odor na água.

Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de Cloro Residual Livre (CRL) de 0,5 mg/L e de máximo 2,5,mg/L. É recomendado pela Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 que a quantidade máxima de CRL que não representa risco à saúde para o tratamento seja de 5mg/L. Além disso, recomenda-se que o teor máximo de CRL, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0mg/L. Neste sentido, as especificações para tal característica são dadas a seguir:

Tabela 4.1-Especificações da água tratada para a característica Cloro Residual Livre

Cloro Residual Livre	*Limites recomendados pela Portaria*	*Limites estabelecidos pela Empresa*
Quantidade máxima	2,0 mg/L	2,0 mg/L
Quantidade mínima	0,5 mg/L	0,6 mg/L

FONTE: Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR – Unidade Regional de Campo Mourão

Os resultados do monitoramento realizado durante o ano de 2006, para a característica Cloro Residual Livre, estão apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3. Mas, anteriormente é necessário ressaltar que:

- Uma amostra é considerada sob controle quando não ultrapassa os limites de controle (LSC e LIC), não ultrapassa os limites de especificação (LSE e LIE) e não ultrapassa as faixas de operação (Faixa superior e inferior de operação estipulado pela companhia de saneamento);

- Uma amostra é considerada fora de controle se ocorre o oposto do caso anterior, ou seja, ultrapassar pelo menos um dos limites citados anteriormente.

As duas considerações anteriores são válidas para as quatro características de qualidade abordadas neste trabalho.

Tabela 4.2 - Número de amostras fora de controle de acordo com a característica Cloro Residual Livre

Cloro Residual Livre			
Meses de 2006	*Número de amostras analisadas*	*Número de amostras fora de controle*	*Porcentagem de amostras fora de controle*
Janeiro	315	112	35,55%
Fevereiro	347	36	10,37%
Março	351	92	26,21%
Abril	313	65	20,77%
Maio	295	132	44,75%
Junho	375	239	63,37%
Julho	317	99	31,23%
Agosto	391	78	19,95%
Setembro	398	258	64,82%
Outubro	437	282	64,53%
Novembro	472	338	71,61%
Dezembro	510	415	81,37%
Total	4521	2146	47,47%

FONTE: A autora

Observando a tabela acima é possível perceber que a quantidade de amostras consideradas fora de controle no ano de 2006 é relativamente grande, cerca de 47,47% de todas as amostras.

Além disso, o mês considerado mais eficiente com relação aos demais períodos, foi fevereiro, pois apenas 36 amostras de um total de 347 foram consideradas fora de controle. O mês mais ineficiente em relação aos demais foi dezembro, pois 81,37% das amostras analisadas foram consideradas fora de controle. Este resultado deve ser observado com certa preocupação, uma vez que, a partir do mês de outubro, ocorreu um crescimento considerável no número de amostras fora de controle, indício de que causas particulares de variação estavam presentes no processo de produção da água tratada no período analisado.

Estes resultados podem ser melhor interpretados se uma análise mais acurada for estabelecida. Assim, a tabela 4.3 apresenta um resumo do número de amostras que ultrapassaram os seguintes limites: LSC, LIC, LSE, LIE e Faixa superior e inferior de operação.

Tabela 4.3 - Número de amostras que ultrapassam LSC, LIC, LSE, LIE e faixa superior e inferior de operação

Cloro Residual Livre						
Número de Amostras						
Meses de 2006	*LSC* (1)	*LIC* (2)	*LSE* (3)	*LIE* (4)	*Faixa Superior de Operação*	*Faixa Inferior de Operação*
Janeiro	43	69	0	0	0	0
Fevereiro	22	14	0	1	0	1
Março	12	80	0	0	0	0
Abril	11	51	0	0	0	0
Maio	31	101	0	0	0	0
Junho	188	51	0	0	0	0
Julho	37	62	0	0	0	0
Agosto	50	28	0	0	0	0
Setembro	18	240	0	0	0	0
Outubro	58	224	0	3	0	4
Novembro	56	282	0	2	0	2
Dezembro	20	395	0	1	0	2
Total	538	1574	0	7	0	9

FONTE: A autora
(1) LSC – Limite superior de controle.
(2) LIC – Limite inferior de controle.
(3) LSE – Limite superior de especificação.
(4) LIE – Limite inferior de especificação.

Observando a tabela 4.3, é possível afirmar que 2112 amostras foram consideradas fora de controle por terem ultrapassado os limites de controle. 538 amostras apresentaram valores superiores ao limite superior de controle (LSC) e 1574 amostras apresentaram valores inferiores ao limite inferior de controle (LIC), limites estes calculados estatisticamente.

Com relação à margem de segurança estipulada pela Empresa, apenas 9 amostras ultrapassaram a faixa inferior de operação e nenhuma ultrapassou a faixa superior de operação.

As faixas de operação têm a função de alertar o operador do tratamento quanto ao risco da amostra em ultrapassar o valor máximo ou mínimo estipulado pela Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 referente a característica Cloro Residual Livre. Neste sentido, como mencionado, 9 amostras ultrapassaram a margem inferior de segurança, e deste número 7 delas, além de ultrapassarem a faixa inferior de segurança, excederam o valor mínimo recomendado pela Portaria.

Estas amostras apresentaram valores inferiores a 0,2mg/L para a característica Cloro Residual Livre.

Pode-se concluir que os dados analisados possuem uma variabilidade acentuada, pois uma quantidade consideravelmente grande de amostras ultrapassou os limites superiores e inferiores de controle. Efetivamente, a Estação de Tratamento (ETA) não encontrou problemas com relação ao padrão de potabilidade em função da característica Cloro Residual, pois apenas 7 amostras ultrapassaram os limites estabelecidos pela Portaria durante todo o ano de 2006.

4.2.2 Análise do Monitoramento da Característica Flúor

O flúor é um produto químico adicionado à água que tem a função de prevenir a cárie dentária. A etapa do tratamento que compõem esta ação denomina-se fluoretação.

De acordo com a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, o valor máximo permitido para a concentração de íon de fluoreto (substância química) que não representa risco a saúde é 1,5 mg/L, mas em todo caso devem ser respeitados os valores estabelecidos pela legislação específica vigente à fluoretação da água. Tais valores estão especificados na tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Especificações da água tratada para a característica flúor

Flúor	*Limites recomendados pela Portaria*	*Limites estabelecidos pela Empresa*
Quantidade máxima	1,1 mg/L	0,9 mg/L
Quantidade mínima	0,6 mg/L	0,7 mg/L

FONTE: Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR – Unidade Regional de Campo Mourão

A tabela 4.5 apresenta os resultados do monitoramento realizado durante o ano de 2006 para a característica Flúor.

Tabela 4.5 - Número de amostras fora de controle de acordo com a característica Flúor

Flúor			
Meses de 2006	*Número de amostras analisadas*	*Número de amostras fora de controle*	*Porcentagem de amostras fora de controle*
Janeiro	300	31	10,33%
Fevereiro	316	61	19,30%
Março	350	65	18,57%
Abril	300	51	17%
Maio	295	60	20,34%
Junho	374	68	18,18%
Julho	396	84	21,21%
Agosto	389	24	6,17%
Setembro	400	68	17%
Outubro	437	115	26,21%
Novembro	473	80	16,91%
Dezembro	507	97	19,13%
Total	4537	804	17,72%

FONTE: A autora

Por meio da tabela 4.5, é possível verificar que o número de análises fora de controle para a característica de qualidade Flúor é consideravelmente pequeno, pois para 4537 amostras analisadas durante o ano de 2006, apenas 804 apresentaram-se fora de controle, ou seja, 17,72% das amostras.

O mês de agosto, comparado com os demais, foi o mais eficiente na produção da água tratada dentro das especificações estabelecidas para o Flúor, pois apenas 24 amostras de 389 foram consideradas fora de controle. O processo de produção no mês de agosto, se analisado com critério, poderia trazer benefícios para os demais, uma vez que, seriam investigados os fatores (ambientas, mão-de-obra, matéria – prima, entre outros) que influenciaram no desempenho observado.

Em contrapartida, o mês de outubro, apresentou uma eficiência pouco satisfatória, uma vez que a quantidade de amostras fora de controle foi de 26,21%, uma ocorrência de quase cinco vezes mais a quantidade de amostras fora de

controle comparada com o mês de agosto. Mas para melhor análise, é necessário verificar quais limites foram excedidos com maior freqüência, como mostrado na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Número de amostras que ultrapassam LSC, LIC, LSE, LIE e faixa superior e inferior de operação

Flúor						
Número de amostras						
Meses de 2006	*LSC* (1)	*LIC* (2)	*LSE* (3)	*LIE* (4)	*Faixa Superior de Operação*	*Faixa Inferior de Operação*
Janeiro	11	16	1	1	17	13
Fevereiro	2	59	0	0	2	26
Março	6	59	1	3	6	16
Abril	8	43	1	1	8	18
Maio	36	19	0	4	4	24
Junho	47	19	0	6	7	20
Julho	49	29	0	3	5	35
Agosto	3	18	0	5	3	21
Setembro	54	12	0	1	4	14
Outubro	100	14	2	7	10	15
Novembro	66	13	0	2	1	14
Dezembro	79	18	1	3	1	18
Total	461	319	6	36	68	234

FONTE: A autora
(1) LSC – Limite superior de controle.
(2) LIC – Limite inferior de controle.
(3) LSE – Limite superior de especificação.
(4) LIE – Limite inferior de especificação.

Observando a tabela 4.6 é possível afirmar que 780 amostras foram consideradas fora de controle por terem ultrapassado os limites de controle. Sendo que, 461 amostras apresentaram valores superiores ao limite superior de controle (LSC) e 319 amostras apresentaram valores inferiores ao limite inferior de controle (LIC).

Com relação à margem de segurança estipulada pela Empresa, 234 amostras ultrapassaram a faixa inferior de operação e 68 ultrapassaram a faixa superior de operação.

Quando o valor de uma amostra está entre as faixas de operação estabelecidas pela empresa e os limites estabelecidos pela Portaria, ações

preventivas devem ser tomadas, para evitar que tais amostras excedam os limites da Portaria. Sendo assim, é possível observar que do total de 234 amostras que excederam a faixa inferior de operação (limite alerta), apenas 36 efetivamente ultrapassaram os limites da Portaria, necessitando assim, de ações corretivas por parte do operador do tratamento. Com relação ao limite superior estabelecido pela Portaria, das 68 amostras que ultrapassaram a faixa superior de operação, somente 6, realmente, excederam o limite superior de especificação da Portaria.

Neste contexto, a incidência de amostras fora de controle, em relação aos limites superior e inferior de controle, revela a variabilidade dos dados ao longo do ano de 2006. Já as amostras que ultrapassaram os limites de especificação, mostram que a quantidade de produto químico flúor, na água tratada, apresentou-se na maioria das vezes abaixo do nível exigido pela Portaria.

4.2.3 Análise do Monitoramento da Característica pH

Como definido no capítulo 2, o pH é uma característica química da água utilizado para indicar a acidez de certa solução. No tratamento da água, o pH é uma característica importante, pois a água com nível baixo de pH tende a ser mais corrosiva ou agressiva aos metais e paredes de concreto e, nível elevado de pH na água tende a formar incrustações.

O valor recomendado pela Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, no sistema de distribuição, é que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Mas uma negociação entre as Organizações de Saneamento com a Secretaria de Estado da Saúde estabeleceu um novo valor (apresentado na tabela a seguir), que também não oferece riscos a saúde.

Tabela 4.7 - Especificações da água tratada para a característica pH

pH	*Limites recomendados pela Portaria* [1]	*Limites estabelecidos pela Empresa*
Quantidade máxima	9,5	9,0
Quantidade mínima	5,4	6,3

FONTE: Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR – Unidade Regional de Campo Mourão
(1) A alteração do valor dos limites do parâmetro pH foi negociado pela Secretaria de Estado da Saúde, que até então era de 6 a 9,5;

O monitoramento durante o ano de 2006 para o pH apresentou os resultados mostrados na tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Número de amostras fora de controle de acordo com a característica pH

	pH		
Meses de 2006	*Número de amostras analisadas*	*Número de amostras fora de controle*	*Porcentagem de amostras fora de controle*
Janeiro	317	32	10,09%
Fevereiro	315	12	3,81%
Março	350	153	43,71%
Abril	313	27	8,63%
Maio	297	111	37,37%
Junho	373	0	0%
Julho	394	98	24,87%
Agosto	385	0	0%
Setembro	398	17	4,27%
Outubro	436	217	49,77%
Novembro	472	18	3,81%
Dezembro	503	218	43,34%
Total	4553	903	19,83%

FONTE: A autora

A partir dos dados apresentados na tabela 4.8, é possível afirmar que os meses de junho e agosto apresentaram melhor desempenho, pois nenhuma amostra foi considerada fora de controle. Em contrapartida, o processo de produção do mês de outubro, novamente, como mencionado no caso da característica Flúor, foi o menos eficiente, uma vez que aproximadamente 50% das amostras analisadas foram consideradas fora de controle.

Tabela 4.9 - Número de amostras que ultrapassam LSC, LIC, LSE, LIE e faixa superior e inferior de operação

pH						
Número de amostras						
Meses de 2006	*LSC* (1)	*LIC* (2)	*LSE* (3)	*LIE* (4)	*Faixa Superior de Operação*	*Faixa Inferior de Operação*
Janeiro	0	32	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	12
Março	75	78	0	0	0	14
Abril	0	0	0	0	0	27
Maio	101	10	0	0	0	0
Junho	0	0	0	0	0	0
Julho	74	24	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0
Setembro	0	3	0	0	0	17
Outubro	209	18	0	0	0	1
Novembro	0	0	0	0	0	18
Dezembro	137	81	0	0	0	17
Total	596	246	0	0	0	106

FONTE: A autora
(1) LSC – Limite superior de controle.
(2) LIC – Limite inferior de controle.
(3) LSE – Limite superior de especificação.
(4) LIE – Limite inferior de especificação.

Os resultados da tabela 4.9 mostram que todas as amostras analisadas durante o ano de 2006, seguiram as recomendações estabelecidas pela Portaria, uma vez que nenhuma análise ultrapassou o LSE e LIE.

Além disso, é possível verificar também que as ações preventivas tomadas pela empresa foram eficazes, pois do total de 106 amostras que excederam a faixa inferior de operação, nenhuma excedeu o LIE estabelecido pela Portaria.

Os meses de outubro e dezembro apresentaram maior variabilidade para os valores amostrais, uma vez que das 596 amostras que ultrapassaram o LSC, 346 foram amostras coletadas nestes dois meses e das 246 amostras que excederam o LIC, 99 foram amostras coletadas também nestes meses.

4.2.4 Análise do Monitoramento da Característica Turbidez

A turbidez é uma característica física utilizada para indicar o aspecto físico e aparente da água. A turbidez ocorre devido às partículas em suspensão, deixando a água com aparência turva.

De acordo com a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, o valor máximo permitido para a turbidez no sistema de distribuição, que não representa risco a saúde é 5 UT (unidade de turbidez). Mas, para a água tratada, devem ser respeitados os valores estabelecidos por meio da legislação específica, apresentados na tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Especificações da água tratada para a característica turbidez

Turbidez	*Limites recomendados pela Portaria*	*Limites estabelecidos pela Empresa*
Quantidade máxima	1,0 UT	0,8 UT
Quantidade mínima	0 UT	0 UT

FONTE: Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR – Unidade Regional de Campo Mourão

Os resultados do monitoramento para a característica turbidez estão dispostos na tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Número de amostras fora de controle de acordo com a característica turbidez

Turbidez			
Meses de 2006	*Número de amostras analisadas*	*Número de amostras fora de controle*	*Porcentagem de amostras fora de controle*
Janeiro	308	75	24,35%
Fevereiro	315	84	26,67%
Março	347	71	20,46%
Abril	304	45	14,80%
Maio	297	202	68,01%
Junho	376	154	40,96%
Julho	396	133	33,59%
Agosto	392	165	42,09%
Setembro	390	150	38,46%
Outubro	432	143	33,10%
Novembro	474	14	2,95%
Dezembro	510	125	24,51%
Total	4541	1361	29,97%

FONTE: A autora

Observando a tabela 4.11 é possível perceber que cerca de 30% das amostras consideradas coletadas durante o ano de 2006 foi considerada fora de controle.

Além disso, o mês considerado mais eficiente com relação aos demais períodos foi novembro, pois apenas 14 amostras de um total de 474 foram consideradas fora de controle. O mês mais ineficiente em relação aos demais foi maio, pois 68,01% das amostras analisadas foram consideradas fora de controle. Vários fatores podem ter contribuído para a ocorrência deste resultado elevado, mas um fator relativamente importante que deve ser mencionado é a condição climática do mês.

Estes resultados podem ser melhor interpretados se uma análise mais acurada for estabelecida. Assim, a tabela 4.12 apresenta um resumo do número de

amostras que ultrapassaram os seguintes limites: LSC, LIC, LSE, LIE e Faixa superior e inferior de operação.

Tabela 4.12 - Número de amostras que ultrapassam LSC, LIC, LSE, LIE e faixa superior e inferior de operação

Turbidez						
Número de amostras						
Meses de 2006	*LSC* (1)	*LIC* (2)	*LSE* (3)	*LIE* (4)	*Faixa Superior de Operação*	*Faixa Inferior de Operação*
Janeiro	75	0	1	0	7	0
Fevereiro	84	0	0	0	0	0
Março	71	0	1	0	9	0
Abril	45	0	0	0	1	0
Maio	202	0	17	0	55	0
Junho	154	0	18	0	43	0
Julho	133	0	18	0	60	0
Agosto	165	0	47	0	100	0
Setembro	150	0	60	0	129	0
Outubro	143	0	64	0	143	0
Novembro	10	0	4	0	15	0
Dezembro	125	0	13	0	31	0
Total	1357	0	243	0	593	0

FONTE: A autora
(1) LSC – Limite superior de controle.
(2) LIC – Limite inferior de controle.
(3) LSE – Limite superior de especificação.
(4) LIE – Limite inferior de especificação.

A turbidez é a única característica dentre as demais analisadas, que apresenta valores para os limites inferiores de controle, de especificação e faixa inferior de operação nulos, uma vez que quanto menor a quantidade de partículas suspensas na água, melhor será sua aparência. Assim, é impossível que valores amostrais ultrapassem tais limites, deste modo as colunas correspondentes ao LIC, LIE e Faixa inferior de operação apresentam valores nulos.

Com relação ao LSC, é necessário observar que das 1361 amostras fora de controle citadas na tabela 4.11, 1357 excederam o limite superior de controle e indicam a grande variabilidade dos valores amostrais com relação à característica turbidez.

Outro aspecto importante é que 593 análises, durante o ano, ultrapassam a faixa superior de operação (limite alerta). E mesmo com a tomada de ações preventivas, 243 amostras ultrapassaram o valor recomendado pela Portaria, que é de 1,0 UT. Apesar do mês de maio ser o que apresentou maior quantidade de amostras fora de controle, não possui, no entanto, maior quantidade de amostras que excederam as especificações da Portaria se comparado aos meses de agosto, setembro e outubro, que apresentaram quantidades elevadas de amostras fora das especificações da Portaria.

A análise destes resultados é muito importante, por apresentar indícios de que a qualidade da água com relação à característica turbidez durante o ano de 2006 foi afetada por causas particulares de variação, e estas causas por sua vez, se não forem eliminadas podem gerar problemas para a companhia de saneamento e até mesmo para a população.

4.3 ÍNDICES DE CAPACIDADE PARA A PRODUÇÃO DE ÁGUA TRATADA

Os índices de capacidade, ou razão da capacidade do processo, têm a finalidade de avaliar a eficiência do processo em produzir itens dentro das especificações estabelecidas pelos órgãos competentes.

4.3.1 Evolução da capacidade do processo de acordo com a característica Cloro Residual Livre

Durante o ano de 2006, diariamente, foram calculados os índices de capacidade *Cp* , *Cpk* e *Cpkm* da água tratada, de acordo com a característica Cloro Residual Livre. Mas, em função da quantidade de dados, serão apresentados a seguir apenas os históricos mensais da capacidade de produção, obtidos a partir do desvio padrão mensal, obtido pela média dos desvios padrões diários.

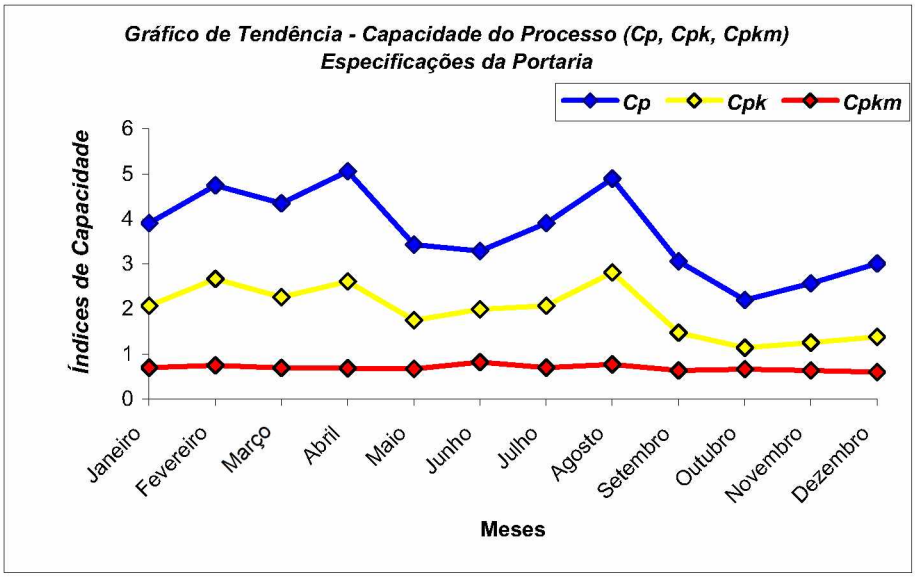
4.3.1.1 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Portaria

Tabela 4.13 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica Cloro Residual Livre de acordo com as especificações da portaria – 2006

Mês	*Cp*	*Cps*	*Cpi*	*Cpk*	*Cpkm*
Janeiro	3,91	5,75	2,07	2,07	0,70
Fevereiro	4,75	6,82	2,67	2,67	0,75
Março	4,35	6,43	2,26	2,26	0,69
Abril	5,06	7,51	2,61	2,61	0,68
Maio	3,43	5,11	1,75	1,75	0,67
Junho	3,29	4,59	1,99	1,99	0,82
Julho	3,91	5,75	2,07	2,07	0,70
Agosto	4,90	6,98	2,81	2,81	0,77
Setembro	3,06	4,64	1,47	1,47	0,63
Outubro	2,20	3,26	1,14	1,14	0,66
Novembro	2,57	3,89	1,25	1,25	0,63
Dezembro	3,01	4,64	1,38	1,38	0,60

FONTE: A autora

Gráfico 4.1 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica Cloro Residual Livre de acordo com as especificações da Portaria –2006



FONTE: A autora

Como mostrado no Gráfico 4.1, os índices de capacidade Cp e Cpk para a produção da água tratada de acordo com a característica Cloro Residual Livre, apresentam tendências semelhantes de crescimento e decrescimento. Várias interpretações podem ser estabelecidas, de acordo com cada índice de capacidade encontrado para as especificações estabelecidas pela Portaria.

Segundo COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI (2005, p. 124) "quanto maior os valores dos índices de capacidade, melhor o processo consegue atender as especificações".

Por meio dos valores obtidos para o índice Cp, é possível afirmar que o processo de produção da água com relação ao Cloro Residual Livre é dito capaz de produzir dentro das especificações da Portaria, pois $Cp > 1$ em todos os meses.

Observando os valores do índice Cpk, é possível afirmar que o processo de produção está descentrado do ponto médio das especificações da Portaria em todos os meses, pois $Cp \neq Cpk$. Além disso, o processo de produção da água tratada, apresenta maior incidência de água com níveis de Cloro Residual Livre abaixo da média, pois a média do processo de produção está descentrada inferiormente do ponto médio das especificações, pois $Cps > Cpi$.

De acordo com COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI (2005, p. 126), " o índice $Cpkm$ penaliza os processos muito mais pela falta de centralidade (média do processo afastada do centro das especificações) do que pela quantidade produzida de itens não conformes".

Deste modo, analisando o índice $Cpkm$ que é um melhor indicador de centralização, pois além de considerar a variabilidade dos dados do processo (como o Cpk), considera também o desvio da média em relação ao valor nominal do processo $(\mu - T)$, é possível observar que em todos os meses o valor de $Cpkm$ é inferior a 1. Isto indica que, apesar do processo produtivo ser considerado capaz anteriormente, a localização da média dos valores das amostras está descentrada do ponto médio das especificações, tornando o processo razoavelmente capaz. E a

ocorrência de uma causa especial de variação neste caso, levará a produção de uma grande quantidade do produto que não atenda as especificações da Portaria. Portanto, a melhor performance do processo (menos itens fora de especificação) será obtida somente quando o processo estiver centrado no valor nominal, ou seja, quando a média for igual ao valor nominal.

4.3.1.2 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Companhia de Saneamento

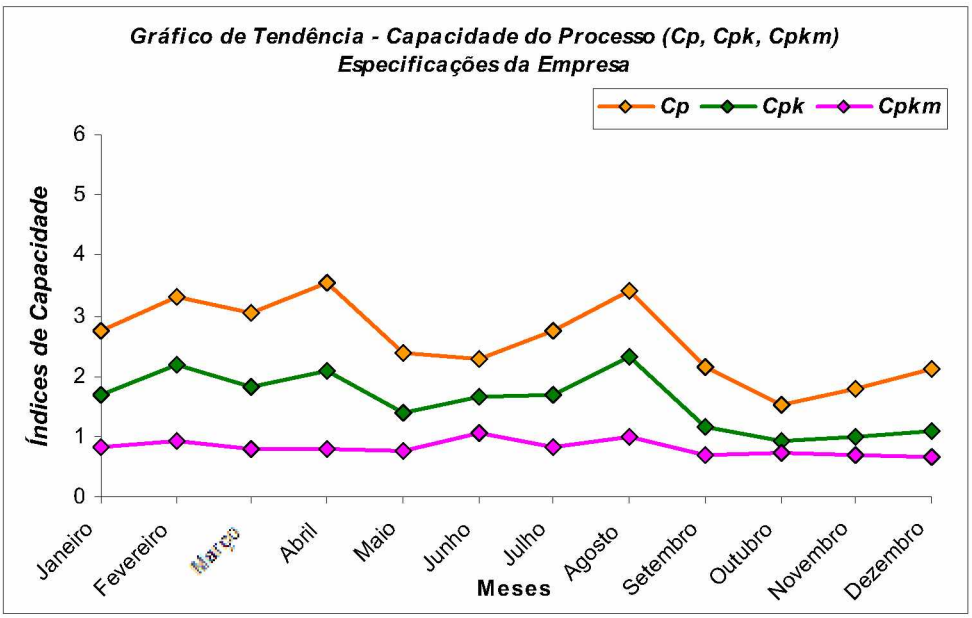
Os cálculos dos índices de capacidade para as especificações estabelecidas pela empresa foram realizados de maneira análoga ao anterior. Os resultados obtidos estão dispostos na tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica Cloro Residual Livre de acordo com as especificações da empresa – 2006

Mês	*Cp*	*Cps*	*Cpi*	*Cpk*	*Cpkm*
Janeiro	2,74	3,80	1,68	1,68	0,82
Fevereiro	3,32	4,45	2,20	2,20	0,94
Março	3,04	4,26	1,83	1,83	0,80
Abril	3,54	4,98	2,10	2,10	0,80
Maio	2,40	3,39	1,40	1,40	0,76
Junho	2,30	2,95	1,66	1,66	1,06
Julho	2,74	3,80	1,68	1,68	0,82
Agosto	3,43	4,53	2,32	2,32	0,99
Setembro	2,14	3,12	1,17	1,17	0,69
Outubro	1,54	2,16	0,92	0,92	0,73
Novembro	1,80	2,61	0,99	0,99	0,68
Dezembro	2,11	3,13	1,08	1,08	0,65

FONTE: A autora

Gráfico 4.2 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica Cloro Residual Livre de acordo com as especificações da empresa – 2006



FONTE: A autora

Os valores obtidos para os índices de capacidade Cp e Cpk para a produção de água tratada, de acordo com a característica Cloro Residual e especificações estabelecidas pela empresa, apresentam tendências semelhantes de crescimento e decrescimento, conforme observado no Gráfico 4.2.

Por meio dos valores obtidos para o índice Cp, é possível afirmar que, em todos os meses, o processo de produção é dito capaz de produzir dentro das especificações da Empresa, pois $Cp > 1$ em todos os meses.

Observando os valores dos índices Cpk, é possível afirmar que em todos os meses o processo de produção está descentrado do ponto médio das especificações da empresa, pois $Cp \neq Cpk$. E, além disso, o processo de produção da água tratada para o Cloro Residual Livre é menos capaz inferiormente, pois a média dos valores das amostras está abaixo do ponto médio das especificações da empresa. Esta constatação é feita com base nos valores de Cps e Cpi, uma vez que, em todos os meses $Cps > Cpi$.

Analisando o índice *Cpkm*, é possível verificar que em quase todos os meses $Cpkm < 1$, exceto para o mês de junho. Tal ocorrência revela que o processo apresenta uma descentralização acentuada, uma vez que, tal índice leva em conta o desvio padrão dos dados e a localização destes valores em relação ao ponto médio das especificações, sendo necessária a eliminação das causas particulares de variação para que a média do processo atinja o valor alvo (média das especificações).

4.3.2 Evolução da capacidade do processo de acordo com a característica Flúor

Diariamente, durante o ano de 2006, como realizado para a característica Cloro Residual Livre, foram calculados os índices de capacidade *Cp*, *Cpk* e *Cpkm* da água tratada, de acordo com a característica Flúor. Mas, em função da quantidade de dados, serão apresentados, a seguir, apenas os históricos mensais da capacidade de produção, obtidos a partir do desvio padrão médio.

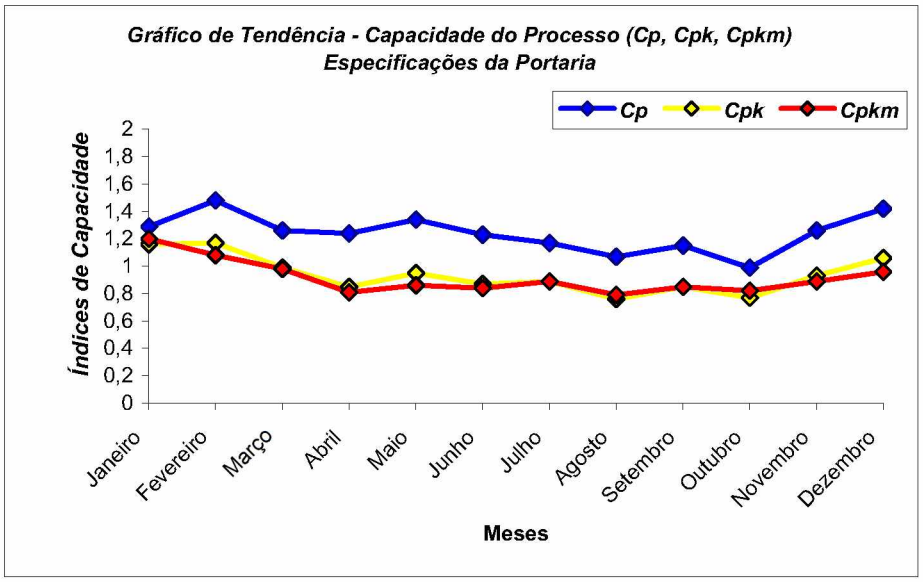
4.3.2.1 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Portaria

Tabela 4.15 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica flúor de acordo com as especificações da Portaria – 2006

Mês	*Cp*	*Cps*	*Cpi*	*Cpk*	*Cpkm*
Janeiro	1,29	1,43	1,16	1,16	1,20
Fevereiro	1,48	1,79	1,17	1,17	1,08
Março	1,26	1,52	0,99	0,99	0,98
Abril	1,24	1,63	0,85	0,85	0,81
Maio	1,34	1,74	0,95	0,95	0,86
Junho	1,23	1,59	0,87	0,87	0,84
Julho	1,17	1,46	0,89	0,89	0,89
Agosto	1,07	1,37	0,76	0,76	0,79
Setembro	1,15	1,45	0,85	0,85	0,85
Outubro	0,99	1,22	0,77	0,77	0,82
Novembro	1,26	1,60	0,93	0,93	0,89
Dezembro	1,42	1,79	1,06	1,06	0,96

FONTE: A autora

Gráfico 4.3 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica flúor de acordo com as especificações da Portaria - 2006



FONTE: A autora

Analisando o Gráfico 4.3 e os valores dos índices de capacidade, em relação as especificações da Portaria para a produção da água tratada de acordo com a característica Flúor, é possível constatar que o mesmo apresenta tendências semelhantes de crescimento e decrescimento para os índices Cp e Cpk.

Os valores obtidos para o índice Cp são em sua maioria valores superiores a 1, exceto para o mês outubro. Sendo assim, é possível afirmar que o processo de tratamento de água neste mês foi considerado incapaz de produzir água tratada, de acordo com as especificações da Portaria para a característica de qualidade Flúor.

Observando os valores dos índices Cpk, é possível verificar que o processo de produção está descentrado do ponto médio das especificações da Portaria, pois $Cp \neq Cpk$. E esta descentralização ocorre inferiormente, ou seja, a água tratada apresenta quantidade média inferior de Flúor comparada ao valor médio das especificações da Portaria, uma vez que $Cps > Cpi$. Este fato pode ser constatado em virtude de que 36 amostras durante o ano de 2006 ultrapassaram o LIE, enquanto que apenas 6 ultrapassaram o LSE.

O maior resultado encontrado para o índice *Cpkm* foi no mês de janeiro, segundo as especificações da Portaria. A ocorrência deste resultado se deve ao fato de que a média do processo neste período foi de 0,82mg/L de flúor e desvio padrão de 0,06, enquanto que o ponto médio das especificações da Portaria é de 0,85mg/L, como observado nas tabelas 4.16 e 4.17. O mês com menor *Cpkm*, foi o mês de agosto. Neste caso, a média de produção da água tratada de acordo com o flúor neste período foi de 0,78mg/L e desvio padrão médio de 0,08.

Tabela 4.16 - Valor médio das especificações da portaria e da empresa

	Ponto médio
Especificações da Portaria	0,85 mg/L
Especificações da Empresa	0,80 mg/L

FONTE: A autora

Tabela 4.17 - Média e desvio padrão do processo de produção da água tratada de acordo a característica Flúor - 2006

Meses	*Média global do processo (mg/L)*	*Desvio Padrão Médio*
Janeiro	0,82	0,06
Fevereiro	0,80	0,06
Março	0,80	0,07
Abril	0,77	0,07
Maio	0,78	0,06
Junho	0,78	0,07
Julho	0,79	0,07
Agosto	0,78	0,08
Setembro	0,78	0,07
Outubro	0,79	0,09
Novembro	0,78	0,07
Dezembro	0,79	0,06

FONTE: A autora

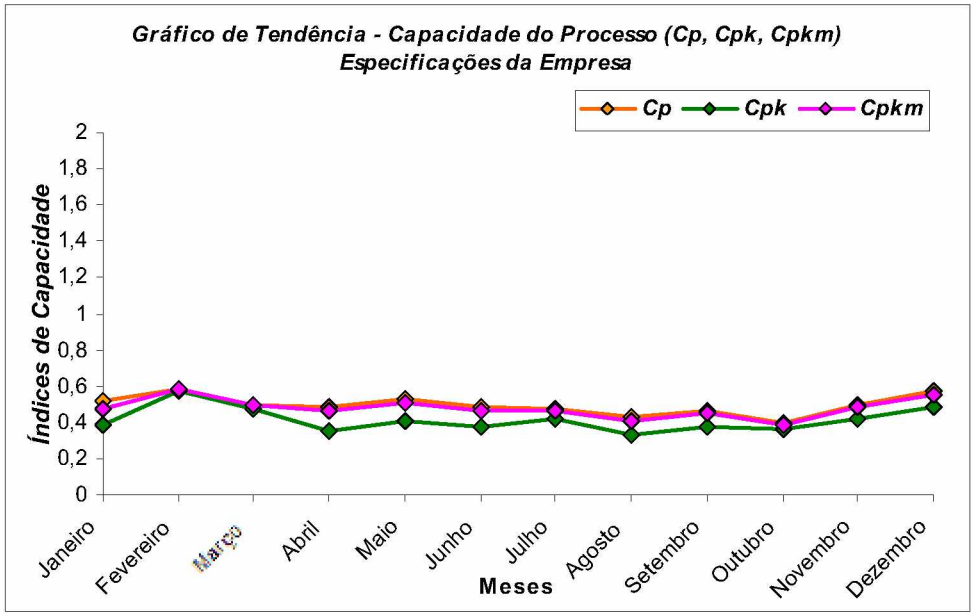
4.3.2.2 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Companhia de Saneamento

Tabela 4.18 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica Flúor de acordo com as especificações da empresa – 2006

Mês	*Cp*	*Cps*	*Cpi*	*Cpk*	*Cpkm*
Janeiro	0,52	0,39	0,64	0,39	0,48
Fevereiro	0,59	0,61	0,57	0,57	0,59
Março	0,50	0,52	0,48	0,48	0,50
Abril	0,49	0,64	0,35	0,35	0,46
Maio	0,53	0,66	0,41	0,41	0,51
Junho	0,49	0,60	0,38	0,38	0,46
Julho	0,47	0,52	0,42	0,42	0,46
Agosto	0,43	0,52	0,33	0,33	0,41
Setembro	0,46	0,53	0,38	0,38	0,45
Outubro	0,40	0,42	0,37	0,37	0,39
Novembro	0,50	0,59	0,42	0,42	0,49
Dezembro	0,57	0,65	0,49	0,49	0,55

FONTE: A autora

Gráfico 4.4 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica Flúor de acordo com as especificações da empresa - 2006



FONTE: A autora

Os valores do índice *Cp* sintetizados na tabela 4.18 foram inferiores a 1 em todos os meses, mostrando um quadro insatisfatório em relação à adequação da capacidade do processo referente à especificação da Sanepar, ou seja, o processo de produção da água tratada durante o ano de 2006 revelou-se incapaz de atender as especificações da companhia. Este resultado pode ser analisado em relação ao número de amostras que ultrapassaram as faixas de controle. Das 4537 amostras analisadas durante o ano, 234 ultrapassaram a faixa inferior e 68 excederam a faixa superior de operação, como mostrado na tabela 4.6.

Em todos os meses analisados, houve ocorrência de amostras que ultrapassaram as faixas de operação. Isto pode ter acontecido em razão da existência de causas especiais de variação, ou até mesmo em conseqüência da faixa de operação superior e inferior estipulado pela a empresa ser estreita, ou seja, a faixa inferior de operação é igual a 0,7 e faixa superior de operação é igual a 0,9.

Observando os valores obtidos para o índice *Cpk* , é possível afirmar que o processo de produção está descentrado do ponto médio das especificações da empresa, uma vez que $Cp \neq Cpk$ e como mostrado na tabela 4.17, a produção da água tratada, na maioria dos casos possui teor de flúor abaixo da média do processo.

O índice *Cpkm* apresentou maior resultado para o mês de fevereiro. Este resultado se deve ao fato de que a média do processo neste período foi de 0,80mg/L de flúor e desvio padrão de 0,06, enquanto que o ponto médio das especificações da Empresa é de 0,80mg/L. O mês com menor *Cpkm*, foi o mês de outubro. A média de produção da água tratada de acordo com o flúor neste período foi de 0,79mg/L e desvio padrão médio de 0,09, ou seja, valor médio um pouco abaixo do especificado, mas com maior desvio padrão médio.

É necessário observar que as companhias de saneamento desprendem maior atenção e cuidado no tratamento da água, quando é registrada quantidade excessiva de flúor na água tratada. Isso se deve ao fato de que, ocorrências freqüentes de quantidades elevadas deste produto podem trazer riscos à saúde humana.

4.3.3 Evolução da capacidade do processo de acordo com a característica pH

Os resultados dos índices de capacidade *Cp* , *Cpk* e *Cpkm* da água tratada, de acordo com a característica pH estão dispostos na tabela 4.19.

4.3.3.1 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Portaria

Tabela 4.19 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica pH de acordo com as especificações da Portaria - 2006

Mês	*Cp*	*Cps*	*Cpi*	*Cpk*	*Cpkm*
Janeiro	14,43	20,57	8,29	8,29	0,78
Fevereiro	11,58	16,61	6,55	6,55	0,77
Março	10,63	15,24	6,03	6,03	0,77
Abril	11,22	16,04	6,39	6,39	0,77
Maio	13,92	19,06	8,78	8,78	0,90
Junho	11,93	16,21	7,64	7,64	0,92
Julho	11,80	15,90	7,70	7,70	0,96
Agosto	10,93	14,84	7,01	7,01	0,93
Setembro	7,55	10,84	4,26	4,26	0,76
Outubro	8,24	11,37	5,11	5,11	0,87
Novembro	8,65	12,05	5,26	5,26	0,84
Dezembro	7,23	9,94	4,51	4,51	0,88

FONTE: A autora

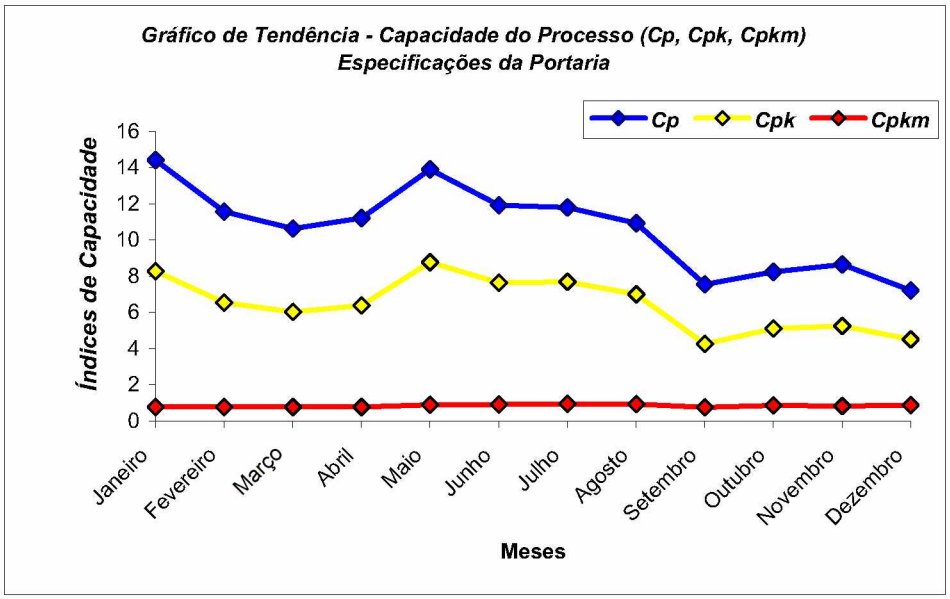
A avaliação do índice *Cp* foi o que apresentou resultado mais satisfatório em relação as demais características de qualidade. Nenhuma amostra coletada durante o ano de 2006 ultrapassou os limites de especificação da Portaria. De acordo com COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI (2005, p. 133), "o excesso de capacidade funciona como uma margem de segurança, como folga, para o caso da ocorrência de causas especiais, principalmente se as mesmas demoram a ser detectadas pela carta de controle".

Observando os valores dos índices *Cpk* , é possível afirmar que o processo de produção está descentrado do ponto médio das especificações da empresa, uma

vez que $Cp \neq Cpk$ e como mostrado na tabelas 4.20 e 4.21, produz a água tratada, com teor de pH abaixo da média do processo.

O índice *Cpkm* apresentou maior resultado para o mês de julho. Este resultado deve-se ao fato de que a média do processo neste período foi de 6,74 e desvio padrão de 0,06, enquanto que o ponto médio das especificações da Companhia é de 7,65, conforme abordado na tabela 4.20. O mês com menor *Cpkm* foi o mês de setembro. A média de produção da água tratada, de acordo com o pH neste período, foi de 6,56 e desvio padrão médio de 0,09.

Gráfico 4.5 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica pH de acordo com as especificações da Portaria - 2006



FONTE: A autora

Tabela 4.20 - Valor médio das especificações da portaria e da empresa

	Ponto médio
Especificações da Portaria	7,45
Especificações da Empresa	7,65

FONTE: A autora

Tabela 4.21 - Média do processo de produção da água tratada de acordo com a característica pH - 2006

Meses	*Média global do processo*	*Desvio Padrão Médio*
Janeiro	6,58	0,05
Fevereiro	6,56	0,06
Março	6,56	0,06
Abril	6,57	0,06
Maio	6,69	0,05
Junho	6,71	0,06
Julho	6,74	0,06
Agosto	6,72	0,06
Setembro	6,56	0,09
Outubro	6,67	0,08
Novembro	6,65	0,08
Dezembro	6,68	0,09

FONTE: A autora

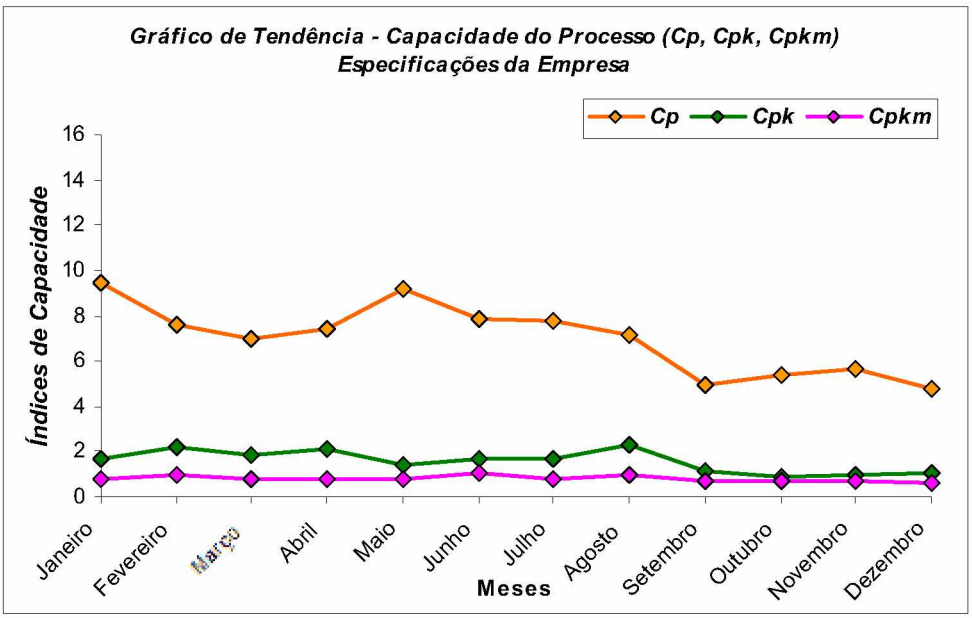
4.3.3.2 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Empresa

Tabela 4.22 - Histórico mensal dos índices de capacidade para a característica pH de acordo com as especificações da empresa

Mês	*Cp*	*Cps*	*Cpi*	*Cpk*	*Cpkm*
Janeiro	9,50	17,05	1,96	1,96	0,42
Fevereiro	7,63	13,79	1,46	1,46	0,41
Março	7,00	12,64	1,36	1,36	0,41
Abril	7,39	13,30	1,47	1,47	0,42
Maio	9,17	15,67	2,67	2,67	0,47
Junho	7,85	13,30	2,40	2,40	0,48
Julho	7,77	13,03	2,52	2,52	0,49
Agosto	7,20	12,18	2,21	2,21	0,48
Setembro	4,97	9,00	0,94	0,94	0,41
Outubro	5,43	9,36	1,49	1,49	0,46
Novembro	5,70	9,94	1,46	1,46	0,45
Dezembro	4,78	8,18	1,34	1,34	0,46

FONTE: A autora

Gráfico 4.6 - Evolução dos índices de capacidade mensal para a característica pH de acordo com as especificações da empresa



FONTE: A autora

Os valores do índice *Cp* sintetizado na tabela 4.22, foram superiores a 1, em todos os meses, mostrando um quadro satisfatório em relação à adequação da capacidade do processo, referente à especificação da Companhia. Este resultado também pode ser analisado em relação ao número de amostras que ultrapassaram as faixas de controle. Das 4553 amostras analisadas durante o ano, 106 ultrapassaram a faixa inferior e nenhuma amostra excedeu a faixa superior de operação.

Observando os valores dos índices *Cpk* , é possível afirmar que o processo de produção está descentrado do ponto médio das especificações da empresa, uma vez que $Cp \neq Cpk$ e como mostrado nas tabelas 4.20 e 4.21, produz a água tratada na maioria dos casos com teor de pH abaixo da média do processo especificado pela empresa.

Analisando os valores obtidos para o índice *Cpkm*, é possível verificar que em todos os meses $Cpkm < 1$. Tal ocorrência revela que apesar do processo ser considerado potencialmente capaz, apresenta uma descentralização acentuada, uma

vez que tal índice leva em conta o desvio padrão dos dados e a localização destes valores em relação ao ponto médio das especificações.

4.3.4 Evolução da capacidade do processo de acordo com a característica Turbidez

Até aqui, foram consideradas as características de qualidade que estavam entre um limite inferior e um limite superior de especificação (caso de especificação bilateral). Porém, algumas características de qualidade, possuem apenas um limite de especificação, inferior ou superior (especificação unilateral). Um exemplo é a turbidez da água que possui apenas especificação superior.

De acordo com COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI (2005, p. 126), em casos de especificações unilaterais, os índices *Cp* e *Cpkm* não se aplicam. E o índice *Cpk* é calculado com o limite existente, LSE ou LIE.

Os resultados dos índices de capacidade *Cpk* para a água tratada, de acordo com a característica turbidez, estão dispostos nas tabelas 4.23 e 4.25.

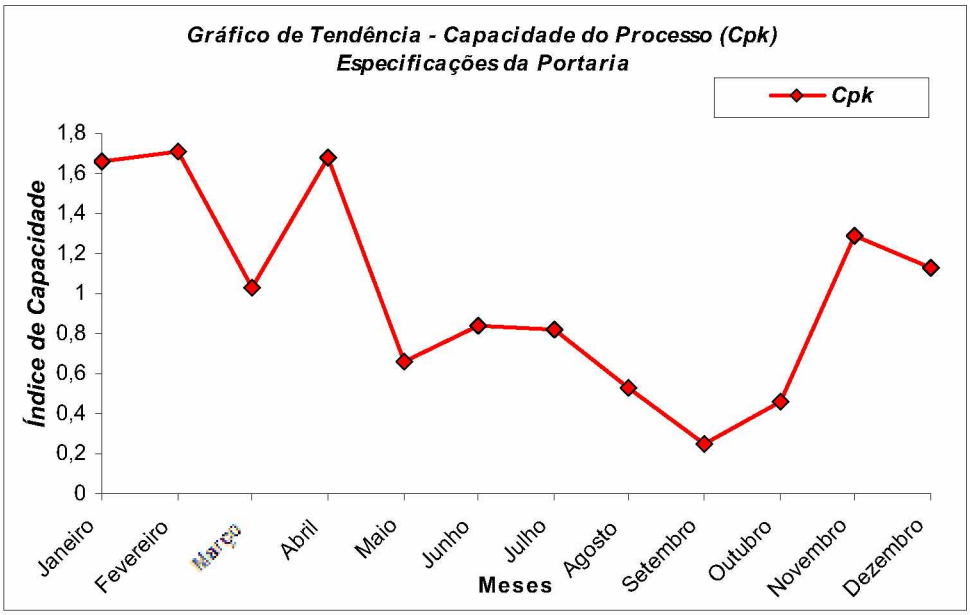
4.3.4.1 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Portaria

Tabela 4.23 - Histórico mensal do índice de capacidade *Cpk* para a característica turbidez de acordo com as especificações da Portaria - 2006

Mês	*Cpk*
Janeiro	1,66
Fevereiro	1,71
Março	1,03
Abril	1,68
Maio	0,66
Junho	0,84
Julho	0,82
Agosto	0,53
Setembro	0,25
Outubro	0,46
Novembro	1,29
Dezembro	1,13

FONTE: A autora

Gráfico 4.7 - Evolução do índice de capacidade *Cpk* mensal para a característica turbidez de acordo com as especificações da Portaria



FONTE: A autora

É possível analisar por meio da tabela 4.23, que apenas 6 meses (janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro), apresentaram situações satisfatórias em relação ao índice *Cpk* , ou seja, $Cpk > 1$.

O índice *Cpk* apresentou maior resultado para o mês de fevereiro. A ocorrência deste resultado deve-se ao fato de que a média do processo neste período foi de 0,54 (a menor do ano) e desvio padrão de 0,09, enquanto que o mês de setembro apresentou o menor valor para $Cpk = 0{,}25$. A média de produção da água tratada, de acordo com a turbidez, foi a mais elevada neste período (setembro), conforme mostrado na tabela 4.24, de 0,79 UT e desvio padrão médio de 0,27.

Tabela 4.24 - Média do processo de produção da água tratada de acordo a característica turbidez - 2006

Meses	*Média global do processo*	*Desvio Padrão Médio*
Janeiro	0,55	0,09
Fevereiro	0,54	0,09
Março	0,55	0,14
Abril	0,51	0,10
Maio	0,72	0,14
Junho	0,67	0,13
Julho	0,67	0,14
Agosto	0,74	0,17
Setembro	0,79	0,27
Outubro	0,75	0,18
Novembro	0,51	0,13
Dezembro	0,56	0,13

FONTE: A autora

4.3.4.2 Evolução dos índices de capacidade de acordo com as especificações estabelecidas pela Companhia de Saneamento

Tabela 4.25 - Histórico mensal do índice de capacidade *Cpk* para a turbidez de acordo com as especificações da empresa

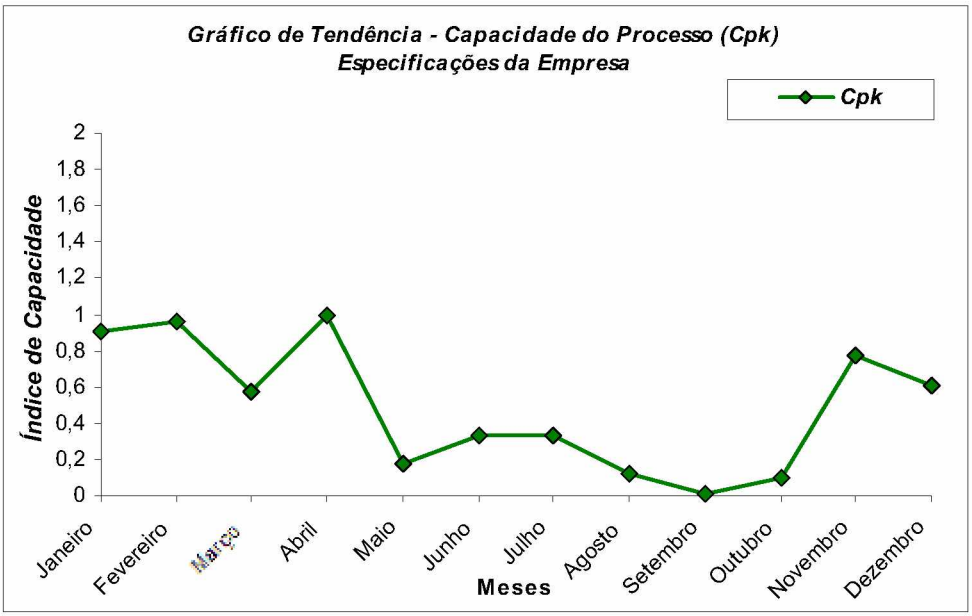
Mês	*Cpk*
Janeiro	0,91
Fevereiro	0,96
Março	0,57
Abril	0,99
Maio	0,18
Junho	0,33
Julho	0,33
Agosto	0,12
Setembro	0,01
Outubro	0,10
Novembro	0,77
Dezembro	0,61

FONTE: A autora

A tabela 4.25 sintetiza as informações obtidas para o índice de capacidade *Cpk* , de acordo com as especificações da Empresa. É importante ressaltar que todos os meses de 2006 apresentaram um quadro insatisfatório para a produção de água tratada, de acordo com a característica turbidez, pois em todos os casos, $Cpk < 1$.

Outro aspecto que deve ser observado é a elevada quantidade de amostras que excederam a faixa superior de operação nos meses de setembro e outubro. No mês de setembro, das 390 amostras analisadas, 129 amostras excederam a faixa superior de operação, e no mês de outubro das 432 amostras analisadas, 143 excederam a faixa superior de operação. Este resultado pode ser confirmado por meio das médias do processo, que foram as maiores do ano, 0,79UT (setembro) e 0,75 UT (outubro), como mostrado na tabela 4.24.

Gráfico 4.8 - Evolução do índice de capacidade *Cpk* mensal para a característica turbidez de acordo com as especificações da empresa - 2006



Fonte: A autora

4.4 OS LIMITES DE CONTROLE

No cálculo dos limites de controle para a característica de qualidade da água tratada, foram consideradas as análises do mês anterior ao corrente que estavam sob controle. Os limites de controle foram recalculados ao término de cada mês, a partir das amostras sob controle do mês anterior, como mostrado no capítulo 3, item 3.2.3.7.

Sendo assim, para determinar os limites de controle para o mês de janeiro de 2006, foi construída uma carta de controle de medidas individuais para os valores das análises do mês de dezembro de 2005, com a utilização do software Minitab 14. As análises que ultrapassassem os limites de controle eram excluídas e uma nova carta era construída, até que todos os pontos estivessem sob controle e os valores dos limites encontrados foram considerados como sendo os limites de controle para o mês de janeiro de 2006.

Tabela 4.26 - Limites de controle para a característica Cloro Residual Livre - 2006

Mês	$LIC^{(1)}$	$LC^{(2)}$	$LSC^{(3)}$
Janeiro	0,989	1,057	1,126
Fevereiro	0,947	1,052	1,157
Março	0,963	1,060	1,158
Abril	0,955	1,047	1,139
Maio	0,949	1,035	1,120
Junho	0,936	1,026	1,115
Julho	0,943	1,048	1,154
Agosto	0,941	1,048	1,155
Setembro	1,017	1,072	1,126
Outubro	1,040	1,085	1,131
Novembro	1,056	1,097	1,139
Dezembro	1,064	1,100	1,137

FONTE: A autora
(1) LIC – Limite inferior de controle.
(2) LC – Limite central.
(3) LSC – Limite superior de controle.

Tabela 4.27 - Limites de controle para a característica Flúor - 2006

Mês	$LIC^{(1)}$	$LC^{(2)}$	$LSC^{(3)}$
Janeiro	0,667	0,797	0.928
Fevereiro	0,731	0,825	0,919
Março	0,723	0,820	0,917
Abril	0,710	0,813	0,915
Maio	0,676	0,780	0,883
Junho	0,677	0,774	0,872
Julho	0,661	0,880	0,880
Agosto	0,668	0,907	0,907
Setembro	0,671	0,899	0,899
Outubro	0,660	0,879	0,879
Novembro	0,667	0,872	0,872
Dezembro	0,689	0,852	0,852

FONTE: A autora
(1) LIC – Limite inferior de controle.
(2) LC – Limite central.
(3) LSC – Limite superior de controle.

Tabela 4.28 - Limites de controle para a característica pH - 2006

Mês	*LIC*(1)	*LC*(2)	*LSC*(3)
Janeiro	6,489	7.601	8,730
Fevereiro	5,748	6,379	7,010
Março	6,480	6,577	6,675
Abril	5,550	6,328	7,101
Maio	6,509	6,609	6,710
Junho	5,777	6,438	7,099
Julho	6,615	6,712	6,809
Agosto	5,829	6,505	7,180
Setembro	5,822	6,499	7,176
Outubro	6,442	6,570	6,698
Novembro	5,631	6,391	7,150
Dezembro	6,524	6,658	6,792

FONTE: A autora
(1) LIC – Limite inferior de controle.
(2) LC – Limite central.
(3) LSC – Limite superior de controle.

Tabela 4.29 - Limites de controle para a característica Turbidez - 2006

Mês	*LIC*(1)	*LC*(2)	*LSC*(3)
Janeiro	0	0,483	0,628
Fevereiro	0	0,509	0,648
Março	0	0,499	0,646
Abril	0	0,499	0,651
Maio	0	0,485	0,631
Junho	0	0,531	0,688
Julho	0	0,587	0,734
Agosto	0	0,579	0,734
Setembro	0	0,599	0,798
Outubro	0	0,596	0,804
Novembro	0	0,632	0,869
Dezembro	0	0,492	0,673

FONTE: A autora
(1) LIC – Limite inferior de controle.
(2) LC – Limite central.
(3) LSC – Limite superior de controle.

4.4.1 Resumo geral dos desvios padrões médios

Uma estatística importante na construção das cartas de controle e no cálculo dos limites de controle é o valor do desvio padrão dos dados para a característica analisada.

Neste aspecto, a seguir estão tabulados para cada característica monitorada, os desvios padrões médios das amostras monitoradas durante o ano de 2006.

Tabela 4.30 - Desvio padrão médio - Cloro Residual Livre

Mês	*Desvio Padrão Médio*
Janeiro	0,049
Fevereiro	0,035
Março	0,032
Abril	0,031
Maio	0,032
Junho	0,030
Julho	0,035
Agosto	0,036
Setembro	0,018
Outubro	0,015
Novembro	0,014
Dezembro	0,012

FONTE: A autora

Tabela 4.31 - Desvio padrão médio - Flúor

Mês	*Desvio Padrão Médio*
Janeiro	0,065
Fevereiro	0, 031
Março	0,032
Abril	0,034
Maio	0,034
Junho	0,033
Julho	0,041
Agosto	0,045
Setembro	0,043
Outubro	0,041
Novembro	0,038
Dezembro	0,027

FONTE: A autora

Tabela 4.32 - Desvio padrão médio – pH

Mês	*Desvio Padrão Médio*
Janeiro	0,373
Fevereiro	0,210
Março	0,032
Abril	0,257
Maio	0,033
Junho	0,220
Julho	0,032
Agosto	0,225
Setembro	0,226
Outubro	0,043
Novembro	0,253
Dezembro	0,050

FONTE: A autora

Tabela 4.33 - Desvio padrão médio - Turbidez

Mês	*Desvio Padrão Médio*
Janeiro	0,086
Fevereiro	0,046
Março	0,055
Abril	0,051
Maio	0,049
Junho	0,052
Julho	0,055
Agosto	0,052
Setembro	0,076
Outubro	0,078
Novembro	0,089
Dezembro	0,068

FONTE: A autora

4.5 CLASSIFICAÇÃO GERAL DAS AMOSTRAS ANALISADAS NO ANO DE 2006

O quadro 4.1 sintetiza as informações discutidas neste capítulo, a respeito da quantidade de amostras analisadas e quantidade de amostras consideradas sob controle, por não terem ultrapassado os limites de controle, de especificação e das faixas de operação, para as quatro características monitoradas.

Quadro 4.1: Classificação geral das amostras coletadas em 2006

Características de qualidade da água tratada								
	Cloro Residual		Flúor		pH		Turbidez	
Meses	Amostras analisadas	Amostras sob controle	Amostras analisadas	Amostras sob controle	Amostras analisadas	Amostras sob controle	Amostras analisadas	Amostras sob controle
Janeiro	315	191	300	248	317	259	308	214
Fevereiro	347	257	316	233	315	276	315	211
Março	351	240	350	266	350	178	347	251
Abril	313	217	300	227	313	249	304	233
Maio	295	147	295	209	297	165	297	85
Junho	375	128	374	286	373	343	376	201
Julho	317	202	396	290	394	273	396	238
Agosto	391	288	389	334	385	353	392	207
Setembro	398	131	400	309	398	354	390	219
Outubro	437	149	437	299	436	193	432	266
Novembro	472	126	473	371	472	426	474	431
Dezembro	510	91	507	386	503	269	510	361

FONTE: A autora

Considerando que o objetivo da Companhia de Saneamento é fornecer a água para consumo humano dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, o quadro 4.2 apresenta a quantidade de amostras que excederam os limites de especificação para as características monitoradas.

Quadro 4.2 - Quantidade de amostras que excederam os limites de especificação da Portaria nº 518 de 25 de março de 2004

Características de qualidade da água tratada								
	Cloro Residual		Flúor		pH		Turbidez	
Meses	Amostras analisadas	Amostras que excederam os limites da Portaria	Amostras analisadas	Amostras que excederam os limites da Portaria	Amostras analisadas	Amostras que excederam os limites da Portaria	Amostras analisadas	Amostras que excederam os limites da Portaria
Janeiro	315	0	300	2	317	0	308	1
Fevereiro	347	1	316	0	315	0	315	0
Março	351	0	350	4	350	0	347	1
Abril	313	0	300	2	313	0	304	0
Maio	295	0	295	4	297	0	297	17
Junho	375	0	374	6	373	0	376	18
Julho	317	0	396	3	394	0	396	18
Agosto	391	0	389	5	385	0	392	47
Setembro	398	0	400	1	398	0	390	60
Outubro	437	3	437	9	436	0	432	64
Novembro	472	2	473	2	472	0	474	4
Dezembro	510	1	507	4	503	0	510	13
TOTAL	4521	7	4537	42	4553	0	4541	243

FONTE: A autora

Observando o quadro 4.2, é possível verificar que a Companhia de Saneamento está cumprindo as responsabilidades dispostas na Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, pois a quantidade de amostras que ultrapassaram os limites de especificação referentes às características Cloro Residual Livre, Flúor, foram mínimas.

Além disso, um dado relevante referente à análise do pH da água tratada é que nenhuma amostra coletada durante o ano de 2006, ultrapassou os LSE e LIE. Tal resultado revela a eficiência do controle do pH durante o tratamento da água.

Com relação à turbidez da água, tal característica deve ser analisada de forma mais criteriosa, pois um número considerável de amostras excedeu os limites de especificação da Portaria. Este resultado indica a ocorrência de causas especiais de variação no processo de produção da água tratada, que devem ser identificadas, a fim de evitar possíveis problemas decorrentes de tal situação.

5 CONCLUSÃO

Qualquer organização moderna, que pretenda manter-se sólida e atualizada diante das novas exigências e tendências do mundo globalizado, deve estar atenta a necessidades de adaptações, promovendo mudanças quando necessárias, no modelo organizacional.

A qualidade deve ser objetivo de todos os envolvidos com a produção e comercialização de um bem ou serviço, bem como a preocupação com a satisfação do cliente, que por sua vez é referenciado pelo cumprimento das normas técnicas indicadas para o produto.

Neste trabalho buscou-se apresentar uma visão geral da questão da qualidade e da utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP) como ferramenta de análise. Foram apresentados também as principais características do CEP, os índices de capacidade e os aspectos relevantes referentes ao tratamento de água.

A metodologia utilizada permitiu definir dimensões da qualidade no processo de produção da água tratada, referentes a características Cloro Residual Livre, Flúor, pH e Turbidez e validá-las por meio da aplicação de ferramentas de mensuração.

Tais métodos foram utilizados para alcançar o objetivo essencial, monitorar as características de qualidade da água tratada (produzida) pela Companhia de Saneamento do Paraná – Unidade Regional de Campo Mourão - e avaliar a capacidade do processo em manter a qualidade da água dentro dos limites de especificação estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

Neste capítulo são apresentadas conclusões sobre pontos relevantes a partir dos resultados da pesquisa e algumas contribuições.

Procedeu-se a investigação de problemas apresentados pelo produto final (água tratada) referentes a quatro características, já mencionadas. Para verificar a ocorrência da água com valores fora dos padrões de potabilidade, estabelecidos pela Portaria n° 518 de 15 de março de 2004 e estabelecidos pela Companhia de

Saneamento, as ferramentas estatísticas utilizadas foram as cartas de controle para medidas individuais e carta de controle para média com tamanho variável de amostra.

A coleta de dados foi efetuada no período de 01/01/06 a 31/12/06. Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que a produção de água tratada pela Companhia de Saneamento – Unidade Regional de Campo Mourão, de maneira geral, atende a legislação vigente, mas necessita tomar ações que tornem o processo de produção efetivamente capaz, tanto em relação às especificações da Portaria, quanto em relação as especificações estabelecidas pela própria companhia.

Referindo-se ao conceito estatístico de qualidade, envolvendo a capacidade do processo, que opera sua análise dentro das especificações estabelecidas pela Portaria e Companhia de Saneamento, é possível afirmar a respeito das seguintes características:

- Cloro Residual Livre: Tanto para as especificações da Portaria, quanto para as especificações da Companhia, em todos os meses, o índice $Cp > 1$, caracteriza o processo produtivo como capaz. Apesar desta caracterização, o processo apresenta descentralizado do ponto médio das especificações, $Cpkm < 1$, exceto para o mês de junho $(Cpkm = 1{,}06)$, referente a especificações da Companhia de Saneamento.

- Flúor: Referindo-se a especificações da Portaria, o mês de outubro foi o único a apresentar resultado inferior a 1 para o índice Cp; para os demais meses o $Cp > 1$, caracteriza o processo como potencialmente capaz. Já para o índice $Cpkm$, exceto os meses de janeiro e fevereiro, houve valores inferiores a 1. Mostrando que, apesar de capaz, o processo precisa ser alterado para produzir água com teor de flúor compatível com a média das especificações. Com relação as especificações da Companhia, o processo foi considerado incapaz, pois em todos os meses $Cp < 1$. E além disso, $Cpkm < 1$. Isso demonstra a não conformidade da água tratada em relação às normas estipuladas pela Companhia.

- pH: Para esta característica o processo produtivo foi considerado capaz, tanto referindo-se a especificações da Portaria como da Companhia, uma vez que $Cp > 1$ em

todos os meses. Em contrapartida, em todos os meses $Cpkm < 1$, o que enfatiza que o processo é capaz, mas necessita de ajustes que possibilitem sua otimização.

- Turbidez: A especificação para esta característica é unilateral. A especificação recomendada é apenas para o valor máximo permitido. Sendo assim, o índice analisado foi o Cpk. No período de maio a outubro, o processo é considerado incapaz $(Cpk < 1)$, em função da grande variabilidade dos dados, que por algumas vezes ultrapassaram os valores especificados. Com relação as especificações da empresa, os valores encontrados para Cpk revelam a dificuldade do processo em atender as especificações da companhia.

É necessário enfatizar que os índices de capacidade de processo são internacionalmente reconhecidos e adotados, sendo ideais para medir a adequação dos produtos às respectivas especificações.

Com relação aos limites de controle calculados estatisticamente com base na média do processo $\bar{x}$ e no desvio padrão dos dados σ, é possível concluir que uma elevada quantidade de amostras ultrapassou tais limites, revelando que os dados estão bastante dispersos.

No aspecto geral, observando-se o quadro 4.2, poucas amostras analisadas ultrapassaram os limites de especificação estabelecidos pela Portaria em relação ao total coletado, durante o ano de 2006, exceto no caso da característica turbidez, que foi superior aos demais meses. Isto indica que o processo de produção da água tratada é potencialmente capaz, mas para se tornar totalmente eficaz, algumas medidas preventivas e ferramentas auxiliares devem ser utilizadas, tais como: as cartas de controle, diagrama de causa e efeito, entre outras ferramentas do CEP.

Em virtude do que foi mencionado, grande número de variáveis que interferem na qualidade requer o monitoramento permanente do processo produtivo. Neste sentido, a Companhia de Saneamento, objeto de estudo, deve procurar avaliar seus processos produtivos basendo-se nas técnicas descritas nesta dissertação. Para isso, foi elaborado um manual (Apêndice 4) conciso, contendo informações de Controle

Estatístico de Processo e como utilizar o programa "MD Água Tratada" desenvolvido para a realização do monitoramento.

Tal ferramenta se faz necessária, pois esta metodologia poderá auxiliar na busca da satisfação do cliente por meio da otimização de seus processos, garantia de qualidade e com isso redução de custos e, conseqüentemente, o aumento da produtividade e lucro.

5.1 RECOMENDACÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Vários itens adicionais indicam a realização de futuros trabalhos, dentre eles:

a) O monitoramento com a utilização de cartas de controle da característica Turbidez, em todas as etapas do tratamento, coagulação, decantação, filtração e tratada (produzida). Dessa forma, obter-se-á uma análise completa, minimizando a ocorrência de amostras com aparência turva, pois os fatores que a influenciam poderão ser detectados no início do tratamento.

b) Fazer uma comparação entre os resultados obtidos para as características de qualidade da água tratada e as condições climáticas e a qualidade da água bruta.

c) Outra possibilidade é fixar um número de amostras coletadas diariamente. Isto facilitará o trabalho e manterá um padrão no controle de qualidade do processo de produção da água.

d) Desenvolver esta pesquisa em outras Unidades de Produção da Sanepar, com o objetivo de se fazer um comparativo, para que se possam generalizar resultados.

e) Investigar as reais causas de problemas, tais quais: qualidade do manancial, o processo de coleta das amostras, os equipamentos utilizados, entre outros.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, P. C. G. **Aplicação da metodologia, de análise e solução de problemas na célula lateral de uma linha de produção automotiva**. São Paulo, 2004. 66 f. Monografia (Especialização em Gestão Industrial) - Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté.

AGUIAR, S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma**. v.1. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002.

ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A. **Estatística aplicada à Administração e Economia**. 2.ed. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2003.

BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos em empresas modernas**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº518, 25 de março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e da outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 18 ago. 2006.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da qualidade total – no estilo japonês**. 2.ed. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. Rio de Janeiro: Ed. Bloch, 1992.

CARMO, F. H.; PRIANTI JUNIOR, N. G.; LACAVA, P. M. **Sistema de qualidade analítica em um laboratório de uma estação de tratamento de água**. Disponível em: <htttp://semasa.sp.govbr/Documentos/Publicar_Internet/trabalhos /trabalho_ 179 .pdf>. Acesso em 12/07/2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Informações**. Unidade Regional de Campo Mourão, 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Processo de tratamento de água**. Disponível em: <http//www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakdx/calandra. nsf/0/56A795A0E63C1732832570330041B525?OpenDocument&pub=T&proj= InternetSanepar>. Acesso em 14/08/2006.

COSTA, A. F. B. C.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2005.
CROSBY, P. B. **Qualidade falando sério**. São Paulo: Mc Graw - Hill, 1990.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO DANTAS, A. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v.1. 2.ed. São Paulo: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO DANTAS, A. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v.2. 2.ed. São Paulo: Rima, 2005.

FEIGENBAUM, A. **Controle da qualidade total – gestão e sistemas**. v.1. São Paulo: Makron Books, 1994.

FEIGENBAUM, A. **Controle da qualidade total - estratégia para o gerenciamento da tecnologia da qualidade**. v.2. São Paulo: Makron Books, 1994.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano - desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, Temas livres (on-line), p.993-1004, 2005.

FUNDAÇÃO PRÊMIO NACIONAL DA QUALIDADE. **Prêmio nacional da qualidade (PNQ)**. Disponível em:<http://www.fnq.org.br/site/407/default.aspx> Acesso em 21/12/2006.

HEIDEMANN, L. R. **Um modelo para melhoria da qualidade dos serviços: estudo de caso no setor ouvidoria do Procon/SC.** Florianópolis, 2001. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

HUDIBURG, J. J. **Vencer com qualidade: a história da Flórida Power & Light**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

JURAN, J. M.; GRYNA, F. M. **Controle de qualidade: componentes básicos da função qualidade**. São Paulo: Mc Graw – Hill, 1991.

KURCREVSKI, C. **Estudo do controle estatístico de processo das industrias cerâmicas da região Centro Sul do Estado do Paraná, com base nos índices de capacidade**. Curitiba, 2003. 432 f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Programa de Pós-graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, área de concentração: Programação Matemática) - Setor de Tecnologia, Departamento de Construção Civil e Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná - UFPR.

MEZOMO, J. C. **Gestão da qualidade na saúde: princípios básicos**. São Paulo: Editora Universidade de Guarulhos – UNG, 1994.

MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. São Paulo: Artliber, 2001.

MONTEIRO, J. A. **Qualidade total no serviço público: questionamento e recomendações segundo os 14 pontos de W. E. Deming**. 2.ed. Brasília: QA&T Consultores Associados, 1991.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2004.

NETZEL, H. Ganhos com a utilização de controle estatístico de processo (CEP) em estação de tratamento de água (ETA). **Sanare: Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.14, nº14, p.95-104, jun/dez. 2000.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços**. São Paulo: Atlas, 1995.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1995.

SANTOS, P. A. **Implementação de modelo de sistema da Qualidade em uma empresa de reboque: Avaliação dos resultados**. Taubaté, 2002. 83 f. Projeto de Dissertação apresentado ao Departamento de Economia, Ciências Contábeis, Administração e Secretariado, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Pós-graduação e Administração de Empresas. Área de Concentração: Gestão Empresarial. Universidade de Taubaté, São Paulo.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

STACCIARINI, R. **Avaliação da qualidade dos recursos hídricos junto ao município de Paulínia, Estado de São Paulo, Brasil**. Campinas, 2002. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas na área de Água e Solo.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Editora Atlas, 2000.

VENDEMIATTI, J. A. S. **Avaliação físico-quimica e microbiológica da água subterrânea em área irrigada com efluente de filtro anaeróbico**. São Paulo, 2003. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

WILLIAMS, R. **Como implementar a qualidade total na sua empresa**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1995.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Distribuição da Amplitude Amostral R 203
APÊNDICE 2 – Distribuições Amostrais da Variância e do Desvio Padrão 207
APÊNDICE 3 – Diagrama de Causa e Efeito.....210
APÊNDICE 4 – Manual de instrução do Controle Estatístico de Processos e utilização do Programa MD Água Tratada 212

APÊNDICE 1 – Distribuição da Amplitude Amostral R

Distribuição da Amplitude Amostral R

Segundo COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI (2005, p. 289) a distribuição da amplitude amostral R pode ser detalhada da seguinte maneira:

A amplitude R de uma amostra é, por definição, a diferença entre o maior e a menor observação dentro da amostra:

$$R = X_{máx} - X_{\min} \tag{A.1}$$

Tomando uma população de amostras, cada amostra com n observações, e se a amplitude de cada amostra for calculada, obter-se-à a população das amplitudes, cuja função de distribuição acumulada $F_n(R)$ pode ser obtida a partir da função densidade de probabilidade da variável aleatória X, $f(X)$. A probabilidade de que uma observação caia no intervalo $(X, X+R)$ é $F(X+R)-F(X)$, e a probabilidade de que uma observação caia num intervalo infinitesimalmente pequeno $(X, X+dX)$ é $dF(X)=f(X)dX$. Se o número de observações é n, a probabilidade de que $X_1, X_2, X_3, \cdots, X_{n-1}$ caiam no intervalo $(X, X+R)$ e a de que X_n caia no intervalo $(X, X+dX)$ é:

$$[F(X+R)-F(X)]^{n-1}\,dF(X) \tag{A.2}$$

Então, a probabilidade de que uma das n observações caia no intervalo $(X, X+aX)$ e as demais n-1 caiam no intervalo $(X, X+R)$ é dada por:

$$n\,[F(X+R)-F(X)]^{n-1}\,dF(X) \tag{A.3}$$

Em outras palavras, a expressa (A.3) é a probabilidade condicional de a amplitude da amostra ser menor ou igual a R, dado que a menor observação pertence ao intervalo $(X, X+dX)$. Daí, pela regra da probabilidade total, a probabilidade de que a amplitude seja menor ou igual a R para qualquer valor da menor observação torna-se:

$$F_n(R) = n\int_{-\infty}^{\infty}[F(X+R)-F(X)]^{n-1}\,dF(X) \tag{A.4}$$

Diferenciando a expressão (A.3) em relação a R, obter-se-à a função densidade de probabilidade da amplitude da amostra:

$$f_n(R) = n(n-1)\int_{-\infty}^{\infty}[F(X+R)-F(X)]^{n-2} f(X) f(X+R) dX \qquad \text{(A.5)}$$

Se $X_1, X_2, X_3, \cdots, X_n$ pertencem a uma população normal com média μ, e desvio padrão σ, a padronização conduz a:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma},\ i=1,2,...,\ n \qquad \text{(A.6)}$$

Define-se a variável W (amplitude relativa da amostra) como:

$$W = \frac{R}{\sigma} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\sigma} = \frac{(X_{\max} - \mu)}{\sigma} - \frac{(X_{\min} - \mu)}{\sigma} = Z_{máx} - Z_{\min} \qquad \text{(A.7)}$$

Verificamos que W é a amplitude de uma amostra de tamanho n de uma variável aleatória normal padrão. Portanto, a densidade de probabilidade de W para a amostras de tamanho n, $f_n(w)$, é dada diretamente por (A.5), simplesmente fazendo R=W e X=Z. De (A.7), tira-se, pelas propriedades da média e da variância:

$$E(W) = \frac{1}{\sigma} E(R) \Rightarrow E(R) = E(W) \cdot \sigma \qquad \text{(A.8)}$$

$$\sigma_w = \frac{1}{\sigma}\sigma_R \Rightarrow \sigma_R = \sigma_w \sigma \qquad \text{(A.9)}$$

onde σ, é o desvio padrão da variável X, e $E(W)$ e σ_w são dadas, por definição, por:

$$E(W) = \int_0^{\infty} w f_n(w) dw \qquad \text{(A.10)}$$

$$\sigma_w^2 = \int_0^{\infty} (w - d_2)^2 f_n(w) dw \qquad \text{(A.11)}$$

As constantes $E(W)$ e σ_w^2, que dependem do tamanho da amostra n, são obtidas por integração numérica. Definem-se então as constantes $d_2 = E(W)$ e $d_3 = \sqrt{\sigma_w^2} = \sigma_w$, que são tabeladas para diferentes valores de n (veja tabela A1). Substituindo essas constantes em (A.8) e (A.9), obtem-se:

$$E(R) = d_2 \sigma \qquad \text{(A.12)}$$

(A.13)

$$\sigma_R = d_3 \cdot \sigma$$

Finalmente, de (A.12), após substituir $E(R)$ por sua estimativa $\overline{R}$, obtêm-se o estimador não tendencioso S para o desvio padrão do processo, $\hat{\sigma} = S = \frac{\overline{R}}{d_2}$.

Tabela A1 – Constantes d_2, d_3 e c_4

n	d_2	d_3	c_4
2	1,128	0,853	0,798
3	1,693	0,888	0,886
4	2,059	0,880	0,921
5	2,326	0,864	0,940
6	2,534	0,848	0,952
7	2,704	0,833	0,959
8	2,847	0,820	0,965
9	2,970	0,808	0,969
10	3,078	0,797	0,973
11	3,173	0,787	0,975
12	3,258	0,778	0,978
13	3,336	0,770	0,979
14	3,407	0,763	0,981
15	3,472	0,756	0,982

FONTE: COSTA A. F. B; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2005.

APÊNDICE 2 – Distribuições Amostrais da Variância e do Desvio Padrão

Distribuições amostrais da variância e do desvio padrão

Segundo COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI (2005, 289) as distribuições amostrais da variância e do desvio padrão podem ser detalhada da seguinte maneira:

A variância de uma amostra é dada por:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)}{n-1} \tag{B.1}$$

Supondo que a variável X tenha distribuição normal, a distribuição da estatística S^2 está relacionada com a distribuição χ^2 (qui-quadrado),

$$\chi_\nu^2 = \frac{\sum_{i=1}^{\nu}\left(X_i - \mu\right)}{\sigma^2} = \sum_{i=1}^{\nu} Z_i^2 \tag{B.2}$$

onde X_i são valores de variáveis independentes com distribuição normal de média μ e desvio padrão σ. Assim, a distribuição χ_ν^2 com ν graus de liberdade nada mais é que a soma dos quadrados de ν valores independentes da variável aleatória normal padronizada *Z*, que tem média igual a 0 e variância igual a 1.

Ao substituir a média μ por sua estimativa $\overline{X}$, a distribuição de χ^2 perde um grau de liberdade:

$$\chi_{n-1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)}{\sigma^2} = \frac{n-1}{\sigma^2}\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)}{\sigma^2} = \frac{n-1}{\sigma^2}S^2 \tag{B.3}$$

ou, ainda:

$$S^2 = \frac{\sigma^2}{n-1}\chi_{n-1}^2 \tag{B.4}$$

Da propriedade matemática de que:

$VAR(X) = E\left(X^2\right) - \left[E(X)\right]^2$, conclui-se que $E\left(Z_i^2\right) = 1$, pois $VAR(Z_i) = 1$ e $E(Z_i) = 0$. Da expressão obtem-se $E\left(\chi_{n-1}^2\right) = n-1$, e da expressão (B.4), $E\left(S^2\right) = \sigma^2$. Em outras

palavras, a variância amostral S^2 é um estimador não tendencioso da variância populacional σ^2. O mesmo não pode ser dito do estimador S, pois, de acordo com a expressão (B.4),

$$S = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n-1}\chi^2_{n-1}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} Z_i^2} \tag{B.5}$$

$$E = \left[\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} Z_i^2}\right] = \sqrt{2}\,\frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \neq \sqrt{n-1} \tag{B.6}$$

Fazendo $c_4 = \dfrac{\sqrt{2}}{\sqrt{n-1}}\dfrac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left[\frac{(n-1)}{2}\right]}$, temos $E(S) = c_4\sigma$.

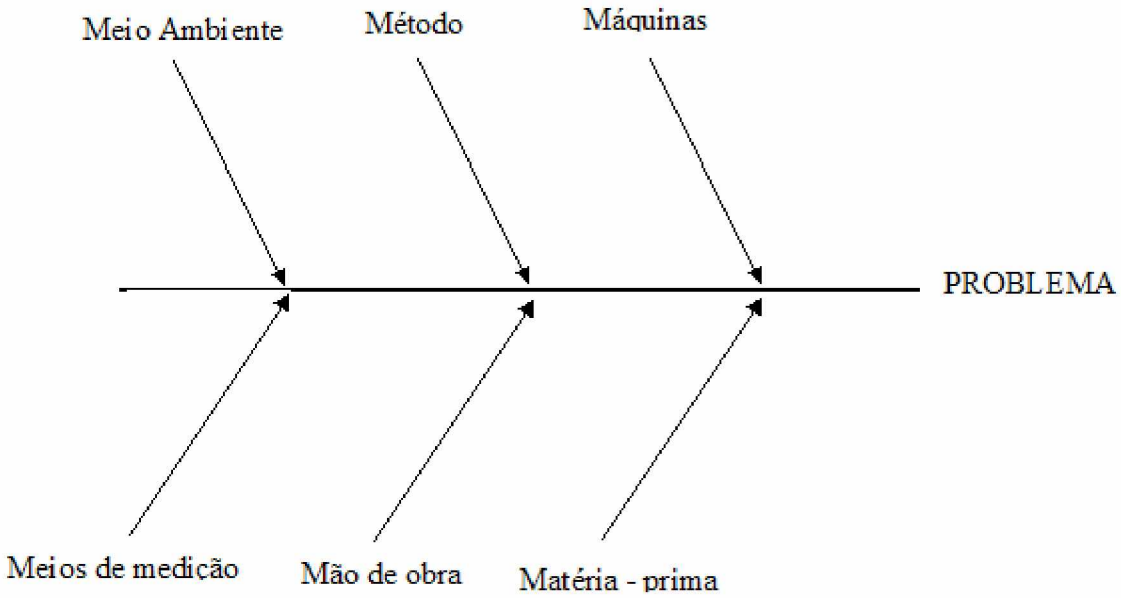
APÊNDICE 3 – Diagrama de Causa e Efeito

Diagrama de Causa e Efeito – Espinha de Peixe

Nome do operador: _____

Data do preenchimento: _____

Turno do preenchimento: _____`as _____



APÊNDICE 4 – Manual de instrução do Controle Estatístico de Processos e utilização do Programa MD Água Tratada

1 INTRODUÇÃO

A redução de perdas tem-se apresentado como um dos maiores desafios de qualquer empresa. Tais perdas devem ser encaradas como indicador de caráter institucional, devendo ser tratado sistematicamente e não isoladamente.

O Controle Estatístico de Processo (CEP), aplicado à empresa de saneamento, tem por finalidade utilizar ferramentas e técnicas estatísticas para analisar variações nos processos produtivos, com o objetivo de mantê-los dentro do padrão de potabilidade e monitorar a qualidade da água.

O presente manual pretende sugerir e apresentar a organização de saneamento, algumas ferramentas essenciais no monitoramento das características de qualidade da água potável e analisar a capacidade do processo, por meio dos índices de capacidade, em produzir água potável dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde através da Portaria n° 518, de 25 de março de 2004 e pela própria empresa de saneamento. Além disso, apresentar uma forma de se aplicar o Controle Estatístico de Processos a empresa de saneamento buscando, entre outras possibilidades de utilização, auxiliar os membros no controle de produção da água tratada, possibilitando o planejamento das ações corretivas e a solução de problemas por meio das análises das cartas de controle.

A seguir serão apresentados aspectos teóricos acerca de cartas de controle, índices de capacidade, além de orientações da utilização de um programa em Excel utilizado no monitoramento das características Cloro Residual Livre, Flúor, pH e Turbidez da água tratada.

2 CARTAS DE CONTROLE

As cartas de controle são utilizadas para os seguintes fins:

- Verificar se o processo de produção em determinado período está sob controle;
- Auxiliar na melhoria do processo de produção, reduzindo sua variabilidade;
- Orientar a administração na manutenção do processo sob controle, verificando se algo além do acaso está influenciando o valor das observações.

As cartas de controle são divididas em duas categorias:

- Cartas de controle por variáveis: consistem nas características que resultam de algum tipo de medição, ou seja, característica quantitativa (Cloro Residual Livre, Flúor, entre outras);
- Cartas de controle por atributos: consistem nas características originárias de uma classificação ou contagem (perfeito, defeituoso, número de análise fora do padrão, etc).

2.1 ANÁLISE DE UMA CARTA DE CONTROLE

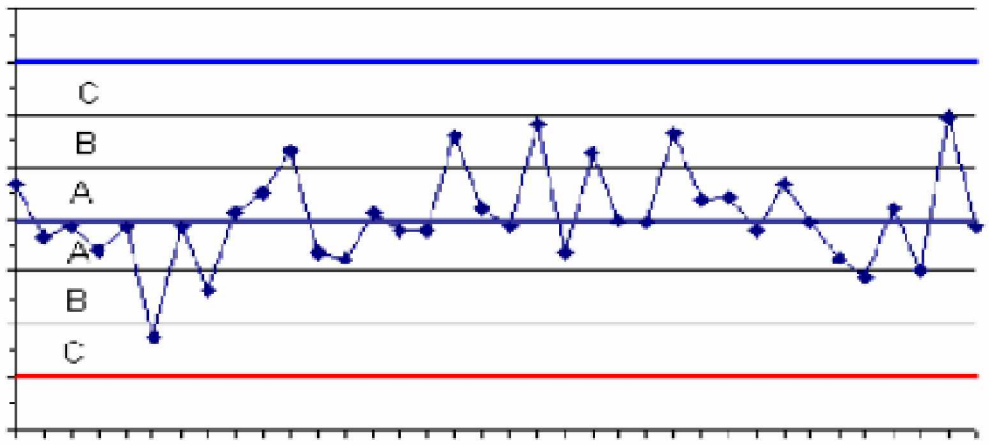
Inúmeros são os critérios para se definir se um processo de produção está ou não fora de controle (instável). Tais critérios estão baseados na baixa probabilidade de um processo produtivo apresentar pontos com tais ocorrências.

Primeiramente, vale ressaltar que diversos fatores podem contribuir para a variação no nível de defeitos encontrados num processo. Podem ser, por exemplo, irregularidade no material utilizado na produção, temperatura, manutenção dos equipamentos, entre outros. Estes fatores, possíveis de ser identificados, denominam-se de fatores particulares ou causas especiais de variação. Mesmo eliminando-se todos esses fatores particulares, o processo ainda irá produzir produtos fora das especificações, devido à existência de fatores inerentes ao processo ou próprios do processo, que não sejam identificáveis.

Quando se eliminam todos os fatores particulares de variação, a carta de controle mostrará somente a variação aleatória causada pelos fatores de variação inerentes ao processo, neste caso o processo é dito sob controle.

As cartas de controle podem ser divididas em três zonas (A, B e C). Estas zonas representam os valores 1σ, 2σ e 3σ. Cada uma tem uma probabilidade de conter os dados. Abaixo, é mostrado um exemplo de carta de controle de um processo sob controle, dividido em três áreas.

Figura - Zonas A,B, e C de uma carta de controle



FONTE - GOUVEIA E SILVA, A. P. **H Operações do Brasil em qualidade em operação: Controle Estatístico de Processos aplicado a empresas de saneamento – manual de treinamento**. Curitiba, 2005.

A seguir serão apresentadas testes de não aleatoriedade, a fim de identificar a existência de pontos fora de controle. Vale observar, que a experiência do analista é essencial na identificação de um processo fora de controle, pois nenhum teste é infalível na identificação de causas especiais de variação. Caso haja dúvida em tal análise, melhor investigar uma possível causa especial de variação, mesmo que seja alarme falso, do que permitir que o processo permaneça fora controle.

QUADRO - Testes de não aleatoriedade

1	Um ou mais pontos fora dos limites de controle
2	Dois ou três pontos consecutivos fora dos limites de alerta dois-sigma
3	Quatro ou cinco pontos consecutivos além dos limites um-sigma
4	Uma seqüência de oito pontos consecutivos de um mesmo lado da linha central
5	Seis pontos em uma seqüência sempre crescente ou decrescente
6	Quinze pontos em seqüência na zona C, tanto acima quanto abaixo da linha central
7	Quatorze pontos em seqüência alternadamente para cima e para baixo
8	Oito pontos em seqüência de ambos os lados da linha central com nenhum na zona C
9	Um padrão não-usual ou não-aleatório nos dados
10	Um ou mais pontos perto de um limite de alerta ou de controle

FONTE: MONTGMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Editora LTC: São Paulo, 2004, p. 108.

Essas regras são em geral utilizadas na prática para acentuar a sensitividade das cartas de controle. Elas permitem que mudanças menores no processo sejam detectadas mais rapidamente do que seriam se o único critério fosse a violação dos limites de controle 3 sigmas.

2.2 PLANO DE AÇÃO APLICADO A CAUSAS ESPECIAIS DE VARIAÇÃO

Eliminar as causas especiais de variação é fácil quando são identificáveis rapidamente. Analisar a existência das causas especiais de variação remete à lembrança do que pode ter causado a variação. Neste caso, quando se identifica um ponto fora de controle causado por causas especiais, deve-se:

- Buscar uma solução imediata e provisória para qualquer problema grave que tenha sido causado ao produto (por exemplo, nível de pH extremamente alto).

- Analisar o problema e buscar assinalar a causa provável.

- Após localizar a causa especial de variação, tomar medidas definitivas para evitar que esta causa volte a atuar sobre o processo. Caso a causa especial de variação seja benéfica, procurar integrá-la ao processo.

2.3 PLANO DE AÇÃO APLICADO A CAUSAS INERENTES DE VARIAÇÃO

Quando um processo de produção encontra-se estável, sob controle, não significa necessariamente que o produto esteja atingindo as especificações estabelecidas. Assim, otimizar um processo, consiste em reduzir a variabilidade sistematicamente, mesmo em processos estáveis, permitindo faixas mais estreitas de especificações.

Existem varias técnicas de otimização de processos produtivos. A mais comum é a experimentação. A experimentação consiste em planejar uma ação, executá-la, testar o resultado obtido e atuar ou em um novo planejamento ou na padronização das ações realizadas.

2.4 CARTAS DE CONTROLE UTILIZADAS NO MONITORAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL

Dois tipos de cartas de controle foram utilizadas no monitoramento das características de qualidade da água potável durante a realização desta pesquisa. São elas:

- Carta de controle para medidas individuais;

A utilização da carta de controle para medidas individuais justifica-se pelo fato de que não é possível obter mais de uma observação para amostra. Os dados disponíveis são chamados de "medidas individuais" ou "valores individuais". Neste caso, a amostra não é representada pela média das observações, mas pelo valor individual em si e a amplitude não reflete a variação dentro da amostra. Usa-se então a amplitude móvel.

Os limites de controle para este gráfico são:

$$LSC = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$LC = \bar{x}$$

$$LIC = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$$

A amplitude móvel é definida como: $MR_i = |x_i - x_{i-1}|$. Como a amplitude móvel utilizada é de $n = 2$ observações, então $d_2 = 1{,}128$.

- Carta de controle para média com tamanho variável de amostra.

Esta carta de controle é utilizada para analisar o processo de produção mensal das características de qualidade da água potável. Ela é construída ao término de cada mês, para as seguintes características: Cloro Residual Livre, Flúor, pH e Turbidez. A utilização de tal carta de controle justifica-se pelo fato de que o número de amostras analisadas não são fixas. Exemplificando, para a característica Flúor no dia 10 de outubro de 2006 foram analisadas 10 amostras e no dia 11 de outubro de 2006, 13 amostras.

Observa-se também que a construção de uma carta de controle mensal proporciona à empresa, a cada mês um resumo da situação do processo produtivo, de acordo com a característica em questão.

Para calcular os limites de controle para a carta $\bar{x}$ com tamanho de amostra variável é necessário tomar *m* amostras, onde n_i é o número de observações na i-ésima amostra, logo:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i} \quad \text{e} \quad \bar{S} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m} (n_i - 1) S_i^{\,2}}{\sum_{i=1}^{m} n_i - m} \right]$$

Os limites de controle são dados por:

$$LSC = \bar{x} + 3\frac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}}$$

Linha central= $\bar{x}$ e

$$LIC = \bar{x} - 3\frac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}}$$

Como $A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}}$ é um valor tabelado de acordo com o tamanho da amostra, os parâmetros do gráfico se tornam:

$$LSC = \overline{x} + A_3\overline{S}$$

$$LC = \overline{x} \text{ e}$$

$$LIC = \overline{x} - A_3\overline{S}$$

Quadro: Constante utilizada na construção da carta de controle

nº de observações na amostra (n)	A_3
2	2,659
3	1,954
4	1,628
5	1,427
6	1,287
7	1,182
8	1,099
9	1,032
10	0,975
11	0,927
12	0,886
13	0,850
14	0,817
15	0,789
16	0,763
17	0,739
18	0,718
19	0,698
20	0,680
21	0,663
22	0,647
23	0,633
24	0,619
25	0,606
n>25	$A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}}$ e $c_4 \cong \frac{4(n-1)}{4n-3}$

FONTE - MONTGMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Editora LTC: São Paulo, 2004, p. 489.

3 ÍNDICES DE CAPACIDADE DE UM PROCESSO

Os estudos de capacidade de processos têm por objetivo verificar a capacidade de um processo em fabricar um produto que atenda a especificações de engenharia. Não há uma relação fixa entre o seu valor e a porcentagem de ítens que o processo é capaz de produzir dentro das especificações.

Existem diversas técnicas para a análise da capacidade do processo, dentre eles os índices *Cp, Cpk* e *Cpkm* que serão abordados a seguir.

3.1 ÍNDICE *Cp* (CAPACIDADE POTENCIAL)

A razão da capacidade de um processo (RCP) *Cp* é uma forma de expressar quantitativamente a capacidade de um processo. E sua fórmula é dada por:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

onde: LSE e LIE são os limites superior e inferior de especificação, respectivamente.

Como σ normalmente não é conhecido, tem-se a sua estimativa dada por:

$$\hat{Cp} = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

A interpretação do resultado do calculo do *Cp* é a seguinte:

Se $Cp \geq 1$ o processo é dito capaz;

Se $Cp < 1$ o processo é dito incapaz;

O *Cp* mede a dispersão do processo em relação aos limites de especificação, desconsiderando a localização da média do processo.

3.2 ÍNDICE *Cpk* (CAPACIDADE REAL)

A razão da capacidade de um processo *Cp*, como dito anteriormente, não leva em conta onde a média do processo está localizada em relação a especificações. Ela mede simplesmente a dispersão das especificações em relação à dispersão seis-sigma no processo.

Neste contexto, uma forma de refletir a capacidade de um processo, com mais precisão, é utilizar uma nova razão da capacidade do processo que leve em conta a centralização do mesmo.Tal grandeza é denotada por *Cpk* e nada mais é do que a RCP unilateral, que é razão da capacidade de um processo unilateral que indicará o valor da capacidade, de acordo com o limite de especificação mais próximo da média do processo. Sua fórmula é dada por:

$$Cpk = Min\{Cps, Cpi\}, \text{ onde:}$$

$$Cpi = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \qquad Cps = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Se o processo está descentrado $Cpi \neq Cps$. Assim:

- Se $Cpi > Cps$ o processo é dito incapaz superiormente, ele produz ítens acima da média do processo, estando descentrado à direita;

- Se $Cps > Cpi$ o processo é dito incapaz inferiormente, ele produz ítens abaixo da média do processo, estando descentrado à esquerda.

De um modo geral, se a média do processo não pertencer ao intervalo das especificações, o índice *Cpk* assumirá valores negativos. Além disso, se $Cp = Cpk$, o processo está centrado no ponto médio das especificações, e quando $Cpk < Cp$, o processo está descentrado.

A magnitude de *Cpk* em relação à *Cp* é uma medida direta de quão fora do centro o processo está operando. Por esta razão, é possível dizer que *Cp* mede a capacidade potencial no processo, enquanto que *Cpk* mede a capacidade efetiva.

3.3 ÍNDICE *Cpkm*

O índice *Cpkm* é definido de forma análoga ao *Cp* com a diferença de que, ao invés do desvio padrão σ, usa-se a raiz quadrada do erro quadrático médio. Assim, sua expressão é dada por:

$$Cpkm = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{EQM}} \quad \frac{IE}{1}$$

Onde: $\mathrm{EQM} = \mathrm{E}(\mathrm{x} - \mathrm{T})^2 = \mathrm{V}(\mathrm{x} - \mathrm{T}) + [\mathrm{E}(\mathrm{x} - \mathrm{T})]^2 = \sigma^2 + (\mu - \mathrm{T})^2$, pois $V(T) = 0$.

Sendo T = alvo (média dos limites das especificações) e μ a média do processo, que é geralmente estimada por $\bar{x}$.

Assim, é possível escrever: $Cpkm = \dfrac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$. Caso o desvio padrão não seja conhecido é possível estima-lo por s, assim *Cpkm* pode ser dado por:

$$Cpkm = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{E\hat{Q}M}}$$

onde o erro quadrático médio $E\hat{Q}M = s^2 + (\bar{x} - T)$

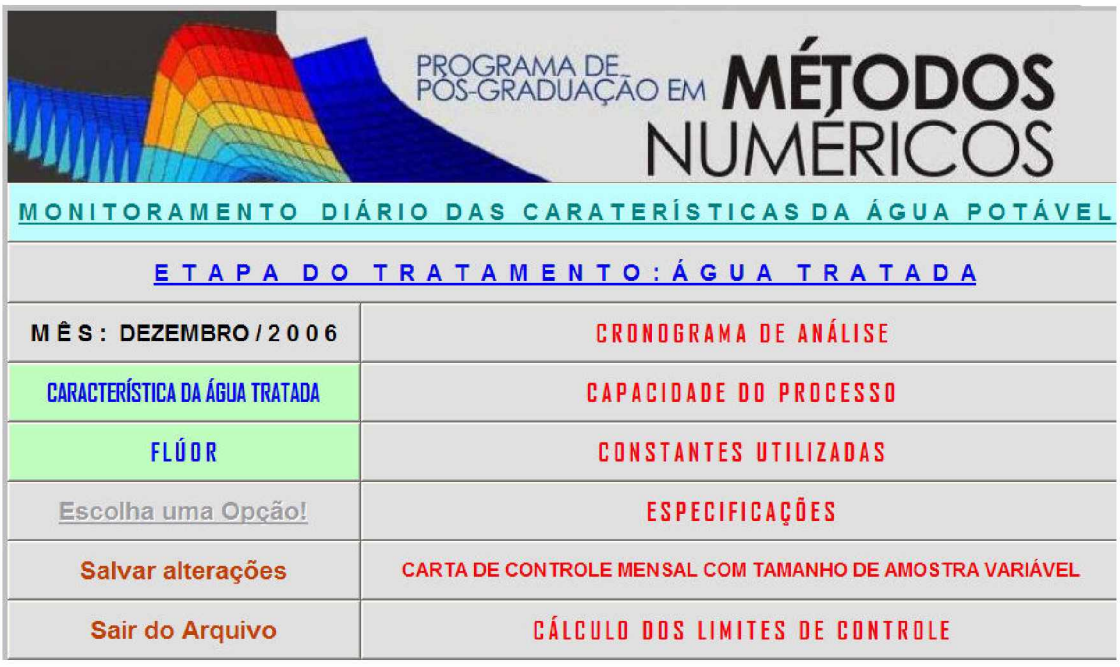
O índice de capacidade de *Cpkm* mede a capacidade do processo levando em conta tanto a sua localização como também a variação em torno do valor nominal; sendo, portanto, sensível em relação à centralização do processo medida por $(\mu - T)$. Este é um índice muito superior aos demais.

4 UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE NO MONITORAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL

Os arquivos para o monitoramento das características de qualidade da água potável (Cloro Residual Livre, Flúor, pH e Turbidez) foram construídos separadamente, como mostrados a seguir:

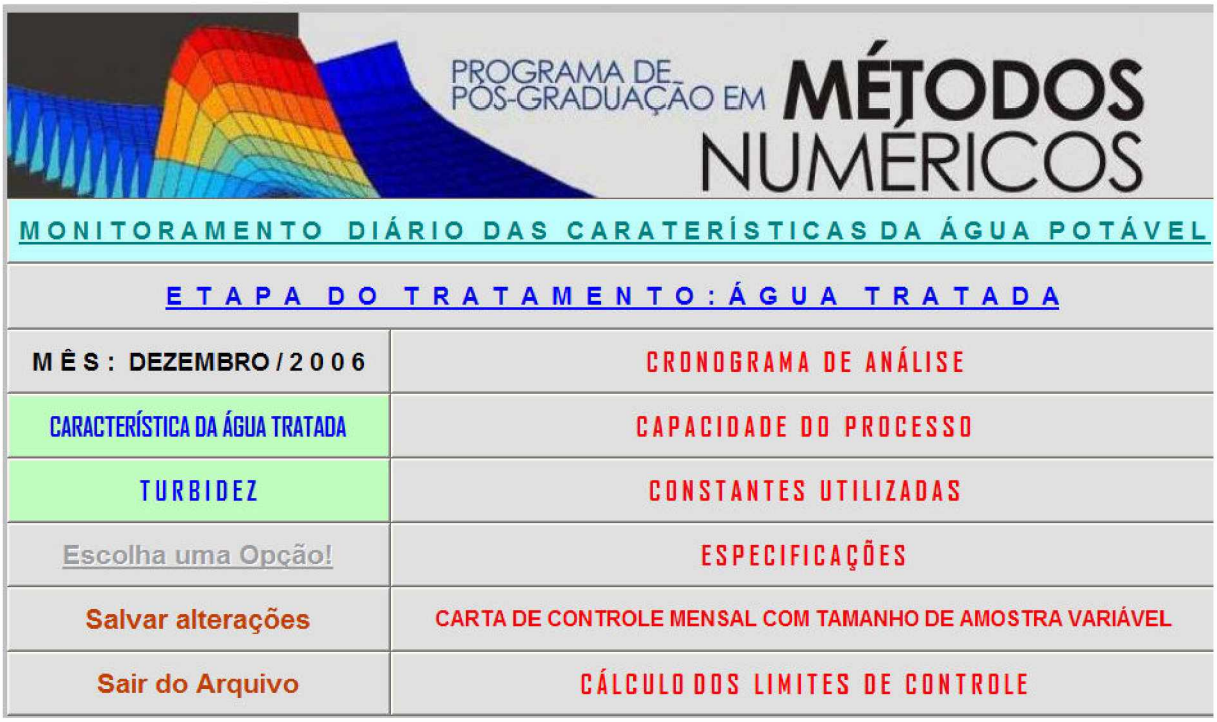
4.1 Menu Cloro Residual Livre

4.2 Menu Flúor



4.3 Menu pH

4.4 Menu Turbidez



Pode-se observar que todas as planilhas possuem os mesmos *links*: Cronograma de análise, Capacidade do Processo, Constantes Utilizadas, Especificações, Carta de controle

mensal, com tamanho de amostra variável e cálculo dos limites de controle. Para explicação destes *links* será abordada apenas uma característica de qualidade (Flúor) no mês de dezembro de 2006, pois para as demais características o processo é análogo.

4.5 Cronograma de análise

Clicando neste *link* será acessada uma planilha que apresenta os dias do mês analisado, como mostrado a seguir.

A tela acima é o caminho de acesso às cartas de controle para medidas individuais, construídas diariamente. Sendo assim, basta escolher a data de interesse e clicar sobre o mesmo. Este comando acessará as cartas de controle diárias, além dos valores dos índices de capacidade. É necessário observar que, para construção diária das cartas de controle, a única necessidade é digitar o valor das análises no campo "valor da análise", a carta será construída automaticamente e os valores dos índices de capacidade calculados. Caso alguma amostra ultrapasse os valores dos limites, seja de controle, de especificação ou de segurança (especificação da empresa), a mesma será destacada em vermelho e registrada no quadro geral de informações. Para melhor entendimento, será apresentada como exemplo a carta de controle do dia 17 de dezembro de 2006, para o Flúor.

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS

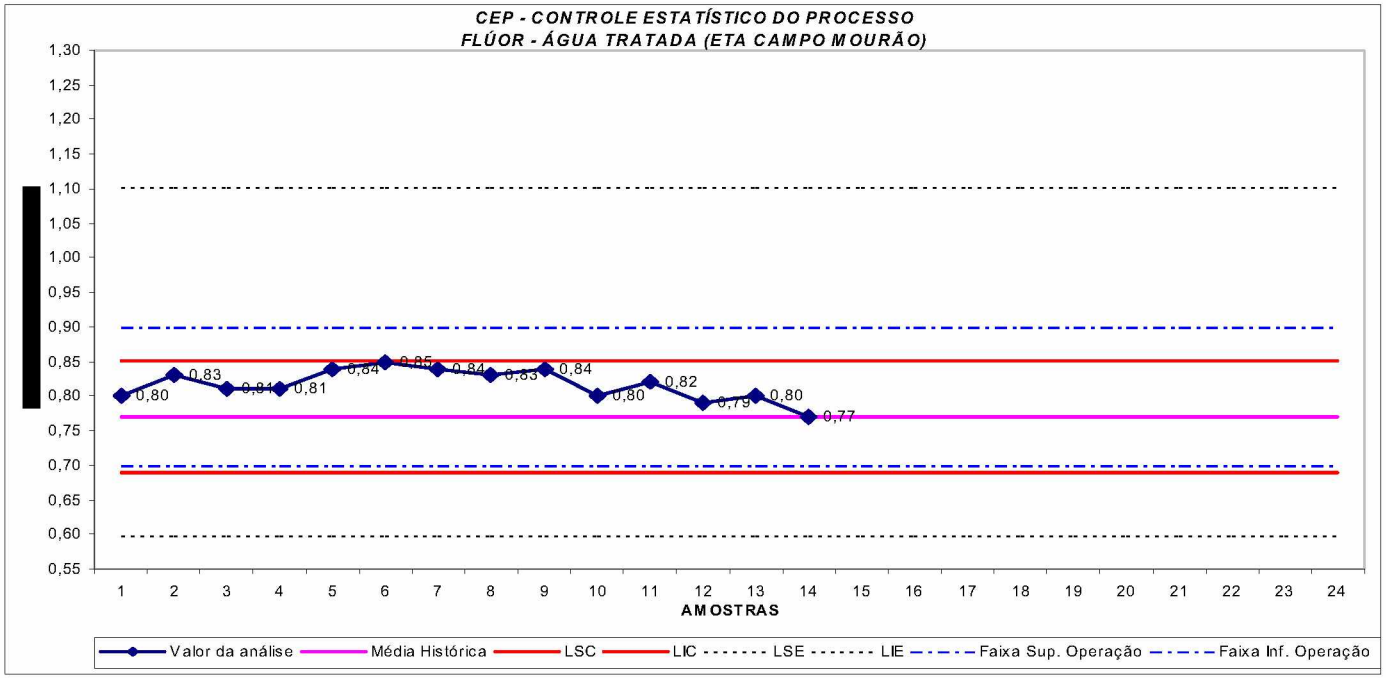
Nome do funcionário: Operador de tratamento

DATA: 17/12/06

Análises: Diária

CARACTERÍSTICA: FLÚOR - Água Tratada

Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Valor da análise	0,80	0,83	0,81	0,81	0,84	0,85	0,84	0,83	0,84	0,80	0,82	0,79	0,80	0,77										
Número de análises	14																							
Média Diária	0,82																							
Média Histórica	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Desvio Padrão	0,02																							
LSC	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
LIC	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
LSE	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
LIE	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Faixa Sup. Operação	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Faixa Inf. Operação	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70



CAPACIDADE DO PROCESSO

Especificações da Portaria		Especificações da EMPRESA	
LSE	1,10	LSE	0,90
LIE	0,60	LIE	0,70
Capacidade Potencial		Capacidade Potencial	
Cp	3,63	Cp	1,44
O processo é CAPAZ		O processo é CAPAZ	
Capacidade real		Capacidade real	
Cps	4,11	Cps	1,21
Cpi	3,14	Cpi	1,68
Cpk	3,14	Cpk	1,21
O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações		O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações	
Capacidade Efetiva		Capacidade Efetiva	
Cpkm	2,05	Cpkm	1,18

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES

Amostra(s) que excede(m) LSC	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIC	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LSE (EMPRESA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excede(m) o LIE (EMPRESA)	
Quantidade:	00

Clicando no menu "Cronograma", o programa retornará à tela anterior e clicando em "Menu" o programa retornará à tela inicial.

4.6 Capacidade do Processo

Os valores das razões da capacidade do processo foram calculados diariamente. Clicando sobre o *link* "Capacidade do processo" uma tela será acessada. Ela será mostrada mais adiante e contém os seguintes dados:

- Um campo especificando a característica em análise;
- Um campo indicando o mês;
- Um campo indicando o ano;
- Uma tabela contendo os valores dos índices de capacidade Cp, Cp_i, Cp_s, Cpk e $Cpkm$ de acordo com as especificações da Portaria nº 518 de 25 de março de 2004;
- Uma tabela contendo os valores dos índices de capacidade Cp, Cp_i, Cp_s, Cpk e $Cpkm$, de acordo com as especificações da Empresa (Faixa de operação, aproximadamente 20% dos valores da Portaria);
- Um gráfico de tendência, mostrando o comportamento mensal dos índices de capacidade, de acordo com as especificações da Portaria; e
- Um gráfico de tendência, mostrando o comportamento mensal dos índices de capacidade, de acordo com as especificações da Empresa.

HISTÓRICO MENSAL - CAPACIDADE DO PROCESS0

CARACTERÍSTICA: *FLÚOR - Água Tratada* **MÊS:** DEZEMBRO **ANO:** 2006

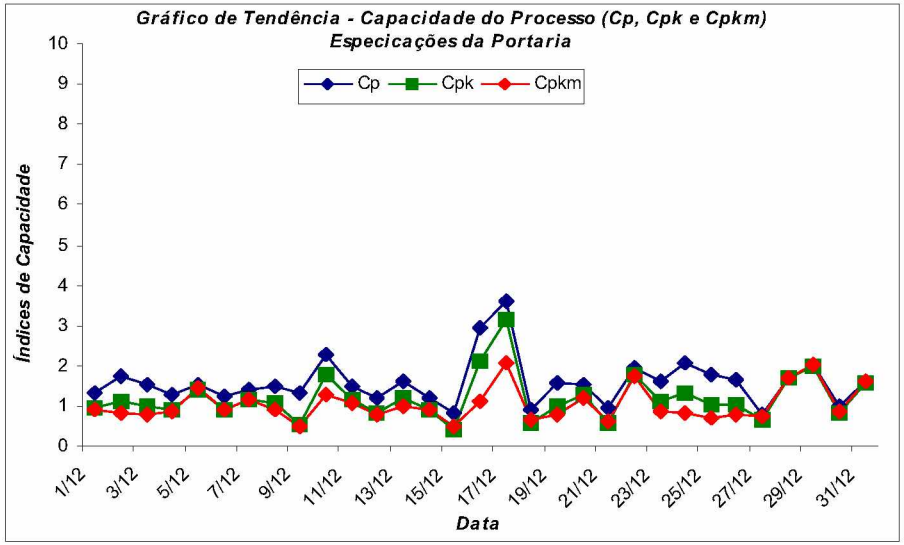
ESPECIFICAÇÃO PORTARIA

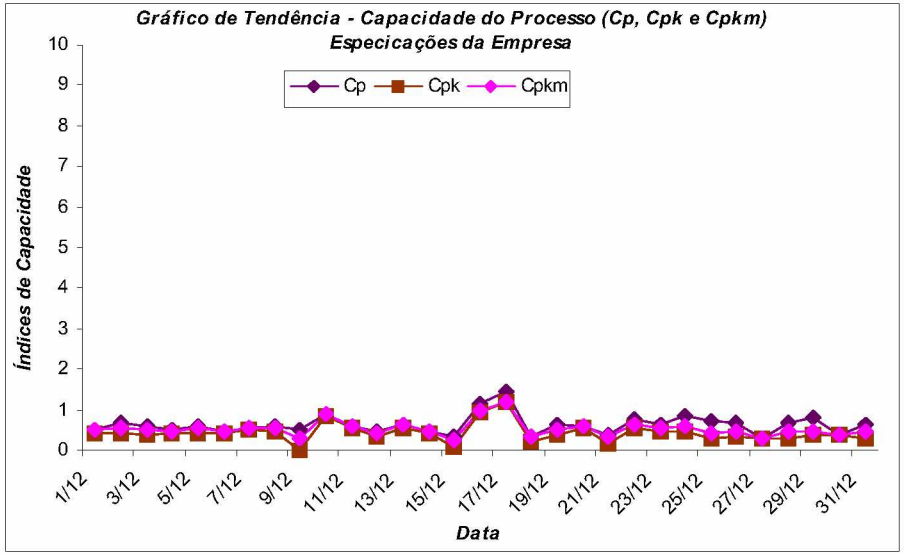
	ÍNDICES DE CAPACIDADE				
DATA	Cp	Cps	Cpi	Cpk	Cpkm
1-dez	1,31	1,65	0,97	0,97	0,91
2-dez	1,74	2,34	1,13	1,13	0,84
3-dez	1,52	2,06	0,98	0,98	0,80
4-dez	1,30	1,67	0,93	0,93	0,87
5-dez	1,54	1,67	1,42	1,42	1,44
6-dez	1,23	1,53	0,92	0,92	0,90
7-dez	1,41	1,65	1,17	1,17	1,14
8-dez	1,49	1,92	1,07	1,07	0,92
9-dez	1,32	2,10	0,54	0,54	0,52
10-dez	2,29	2,78	1,79	1,79	1,28
11-dez	1,50	1,83	1,18	1,18	1,08
12-dez	1,19	1,57	0,82	0,82	0,79
13-dez	1,62	2,03	1,20	1,20	1,01
14-dez	1,22	1,53	0,92	0,92	0,90
15-dez	0,81	1,22	0,41	0,41	0,52
16-dez	2,93	3,73	2,13	2,13	1,13
17-dez	3,63	4,11	3,14	3,14	2,05
18-dez	0,90	1,20	0,60	0,60	0,67
19-dez	1,59	2,17	1,00	1,00	0,79
20-dez	1,53	1,78	1,27	1,27	1,21
21-dez	0,96	1,36	0,56	0,56	0,62
22-dez	1,96	2,14	1,78	1,78	1,73
23-dez	1,64	2,17	1,11	1,11	0,87
24-dez	2,09	2,86	1,33	1,33	0,84
25-dez	1,80	2,59	1,02	1,02	0,71
26-dez	1,68	2,32	1,03	1,03	0,77
27-dez	0,79	0,92	0,66	0,66	0,73
28-dez	1,72	1,69	1,75	1,69	1,71
29-dez	2,04	2,00	2,08	2,00	2,03
30-dez	0,98	1,16	0,81	0,81	0,87
31-dez	1,62	1,60	1,63	1,60	1,61
Mensal	1,42	1,79	1,06	1,06	0,96

ESPECIFICAÇÃO EMPRESA

	ÍNDICES DE CAPACIDADE				
DATA	Cp	Cps	Cpi	Cpk	Cpkm
1-dez	0,52	0,60	0,44	0,44	0,51
2-dez	0,69	0,95	0,43	0,43	0,55
3-dez	0,61	0,84	0,37	0,37	0,49
4-dez	0,52	0,63	0,41	0,41	0,49
5-dez	0,62	0,43	0,80	0,43	0,54
6-dez	0,49	0,55	0,43	0,43	0,48
7-dez	0,56	0,52	0,60	0,52	0,56
8-dez	0,59	0,72	0,47	0,47	0,56
9-dez	0,52	1,04	0,01	0,01	0,28
10-dez	0,91	0,95	0,87	0,87	0,91
11-dez	0,60	0,62	0,57	0,57	0,60
12-dez	0,48	0,61	0,34	0,34	0,44
13-dez	0,64	0,74	0,55	0,55	0,62
14-dez	0,49	0,55	0,43	0,43	0,48
15-dez	0,32	0,57	0,08	0,08	0,26
16-dez	1,17	1,38	0,95	0,95	0,98
17-dez	1,44	1,21	1,68	1,21	1,18
18-dez	0,36	0,48	0,23	0,23	0,34
19-dez	0,63	0,90	0,36	0,36	0,49
20-dez	0,61	0,56	0,65	0,56	0,60
21-dez	0,38	0,59	0,18	0,18	0,33
22-dez	0,78	0,57	0,99	0,57	0,66
23-dez	0,65	0,86	0,45	0,45	0,56
24-dez	0,83	1,18	0,49	0,49	0,58
25-dez	0,72	1,14	0,29	0,29	0,44
26-dez	0,67	0,98	0,36	0,36	0,49
27-dez	0,31	0,29	0,34	0,29	0,31
28-dez	0,68	0,31	1,06	0,31	0,46
29-dez	0,81	0,37	1,26	0,37	0,49
30-dez	0,39	0,37	0,42	0,37	0,39
31-dez	0,64	0,30	0,98	0,30	0,45
Mensal	0,57	0,65	0,49	0,49	0,55

MENU

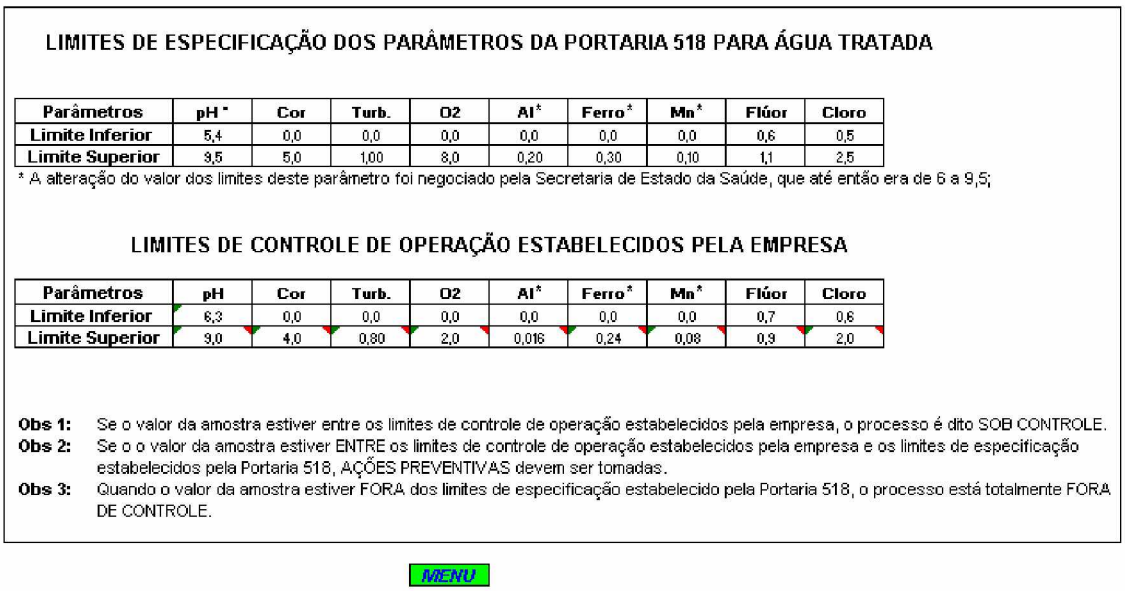




4.7 ESPECIFICAÇÕES

Este *link* apresenta as especificações para as características de qualidade da água tratada, estabelecidos tanto pela Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 quanto pela Empresa de Saneamento. Os valores apresentados nas tabelas são utilizados na construção das cartas de controle e nos cálculos dos índices de capacidade.

Desta forma, clicando no *link* "Especificações", no menu principal (tela inicial), a seguinte tela será apresentada.



LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DA PORTARIA 518 PARA ÁGUA TRATADA

Parâmetros	pH *	Cor	Turb.	O2	Al*	Ferro*	Mn*	Flúor	Cloro
Limite Inferior	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5
Limite Superior	9,5	5,0	1,00	8,0	0,20	0,30	0,10	1,1	2,5

* A alteração do valor dos limites deste parâmetro foi negociado pela Secretaria de Estado da Saúde, que até então era de 6 a 9,5;

LIMITES DE CONTROLE DE OPERAÇÃO ESTABELECIDOS PELA EMPRESA

Parâmetros	pH	Cor	Turb.	O2	Al*	Ferro*	Mn*	Flúor	Cloro
Limite Inferior	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6
Limite Superior	9,0	4,0	0,80	2,0	0,016	0,24	0,08	0,9	2,0

Obs 1: Se o valor da amostra estiver entre os limites de controle de operação estabelecidos pela empresa, o processo é dito SOB CONTROLE.
Obs 2: Se o o valor da amostra estiver ENTRE os limites de controle de operação estabelecidos pela empresa e os limites de especificação estabelecidos pela Portaria 518, AÇÕES PREVENTIVAS devem ser tomadas.
Obs 3: Quando o valor da amostra estiver FORA dos limites de especificação estabelecido pela Portaria 518, o processo está totalmente FORA DE CONTROLE.

MENU

Clicando no botão "Menu", o programa retornará ao menu principal.

4.7 CONSTANTES UTILIZADAS

A construção das cartas de controle pode envolver várias constantes tabeladas. Assim, o *link* "constantes utilizadas" indicará algumas constantes, cujo valor depende apenas do tamanho da amostra.

No programa de monitoramento em Excel, a carta de controle para média com tamanho variável de amostra, conforme abordada anteriormente, utiliza a constante A_3 na determinação de seus limites de controle. Mas, outras cartas de controle utilizam diversas constantes para facilitar a determinação de seus limites de controle, tais como: $A_2, c_4, \frac{1}{c_4}, B_2, B_4, D_2, D_4, d_2$ e E_2 e seus valores são apresentados a seguir.

CONSTANTES TABELADAS

Nº obs. na amostra (n)	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	D_3	D_4	d2	E_2
2	1,880	2,659	0,798	1,253	0	3,267	0	3,267	1,128	2,660
3	1,023	1,954	0,886	1,128	0	2,568	0	2,575	1,693	1,772
4	0,729	1,628	0,921	1,085	0	2,266	0	2,282	2,059	1,457
5	0,577	1,427	0,940	1,064	0	2,089	0	2,115	2,326	1,290
6	0,483	1,287	0,952	1,051	0,030	1,970	0	2,004	2,534	1,184
7	0,419	1,182	0,959	1,042	0,118	1,882	0,076	1,924	2,704	1,109
8	0,373	1,099	0,965	1,036	0,185	1,815	0,136	1,864	2,847	1,054
9	0,337	1,032	0,969	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816	2,970	1,010
10	0,308	0,975	0,973	1,028	0,284	1,716	0,223	1,777	3,078	0,975
11	0,285	0,927	0,975	1,025	0,321	1,679	0,256	1,744	3,173	0,945
12	0,266	0,886	0,978	1,023	0,354	1,646	0,283	1,717	3,258	0,921
13	0,249	0,850	0,979	1,021	0,382	1,618	0,307	1,693	3,336	0,899
14	0,235	0,817	0,981	1,019	0,406	1,594	0,328	1,672	3,407	0,881
15	0,223	0,789	0,982	1,018	0,428	1,572	0,347	1,653	3,472	0,864
16	0,212	0,763	0,984	1,017	0,448	1,552	0,363	1,637	3,532	0,849
17	0,203	0,739	0,985	1,016	0,466	1,534	0,378	1,622	3,588	0,836
18	0,194	0,718	0,985	1,015	0,482	1,518	0,391	1,608	3,640	0,824
19	0,187	0,698	0,986	1,014	0,497	1,503	0,403	1,597	3,689	0,813
20	0,180	0,680	0,987	1,013	0,51	1,490	0,415	1,585	3,735	0,803
21	0,173	0,663	0,988	1,013	0,523	1,477	0,425	1,575	3,778	0,794
22	0,167	0,647	0,988	1,012	0,534	1,466	0,434	1,566	3,819	0,786
23	0,162	0,633	0,989	1,011	0,545	1,455	0,443	1,557	3,858	0,778
24	0,157	0,619	0,989	1,011	0,555	1,445	0,451	1,548	3,895	0,770
25	0,153	0,606	0,990	1,011	0,565	1,435	0,459	1,541	3,931	0,763

MENU

4.8 CARTA DE CONTROLE MENSAL COM TAMANHO VARIÁVEL DE AMOSTRA

Além das cartas de controle diárias para medidas individuais, o programa de monitoramento também fornece a carta de controle mensal, com tamanho variável de amostra. A construção desta carta de controle possibilita verificar, em quais dias do mês, o processo de produção da água tratada mostrou-se mais apto a produzir a água dentro dos padrões de potabilidade da Portaria, dentro dos limites de Especificação da Empresa e dentro dos Limites de Controle.

Os campos existentes na tela da carta de controle mensal são:

- Data: este campo indica os dias do mês (1 a 30) ou (1 a 31);
- Média diária (análises): neste campo estão dispostos os valores das médias diárias das amostras;
- Número de análises diárias: é apresentada a quantidade de amostras analisadas por dia;
- Número de médias diárias: este campo indica a quantidade de médias diárias no mês. Assim, se o mês possui 31 dias, este campo deverá indicar 31 médias diárias;
- Desvio padrão diário: a variabilidade dos dados é analisada diariamente. Desta forma, este campo apresenta os valores diários do desvio padrão das amostras analisadas;
- Desvio padrão médio: com base no desvio padrão diário (item anterior), é calculado o desvio padrão médio, utilizado no cálculo dos limites de controle;
- Média global: é a média global dos valores das médias diárias das análises. Este valor é a Linha Central $(\overline{\overline{x}})$ da carta de controle;
- A_3: constante utilizada na construção dos limites de controle, que depende exclusivamente do tamanho da amostra;
- Limite superior de controle: LSC: $\overline{\overline{x}} + A_3 \cdot \overline{S}$
- Limite inferior de controle: LIC: $\overline{\overline{x}} - A_3 \cdot \overline{S}$

- LSE: É o limite superior de especificação estabelecido pela Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. No caso da característica de qualidade Flúor, este valor é 1,10.

- LIE: É o limite inferior de especificação estabelecido pela Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. No caso da característica de qualidade Flúor, este valor é 0,60.

- Faixa Superior de Operação: limite inferior de especificação estabelecido pela empresa de saneamento. Atua como um limite alerta. O valor da faixa superior de operação para o flúor é 0,90.

- Faixa Inferior de Operação: limite inferior de especificação estabelecido pela empresa de saneamento. Atua como um limite alerta. O valor da faixa superior de operação para o flúor é 0,70.

- Capacidade do Processo: este campo é composto por um quadro contendo os valores dos índices de capacidade, calculados a partir das especificações da Portaria e da empresa de saneamento. As fórmulas foram apresentadas anteriormente.

- Quadro geral de informações: o objetivo deste quadro é especificar a quantidade de amostras que excederam os limites de controle, os limites de especificação e as faixas de operação. Para identificar qual amostra excedeu os limites, a mesma é destacada em vermelho. É necessário observar que uma mesma amostra pode exceder mais de um limite.

A seguir, será apresentada uma carta de controle mensal para médias diárias com tamanho de amostra variável, do mês de dezembro para a característica Flúor.

CRONOGRAMA

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CARTA DE CONTROLE PARA MÉDIAS DIÁRIAS COM TAMANHO VARIÁVEL DE AMOSTRAS

Nome do funcionário: Operador de tratamento

CARACTERÍSTICA: FÚOR - Água Tratada

DATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Média diária (análises)	0,78	0,76	0,76	0,78	0,83	0,79	0,81	0,78	0,70	0,80	0,80	0,77	0,79	0,79	0,73	0,78	0,82	0,77	0,76	0,81	0,75	0,83	0,77	0,76	0,74	0,75	0,81	0,85	0,86	0,81	0,85
Nº de análises diárias	19	17	15	14	18	16	15	16	18	17	14	16	16	19	21	20	14	16	20	17	14	14	17	14	12	13	19	16	16	20	14
Nº médias diárias	31																														
Desvio padrão diário	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,07	0,05	0,07	0,10	0,03	0,02	0,09	0,05	0,05	0,09	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,11	0,05	0,04	0,09	0,05
Desvio Padrão médio	0,06																														
Média Global	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
A_3	0,70	0,74	0,79	0,82	0,72	0,76	0,79	0,76	0,72	0,74	0,82	0,76	0,76	0,70	0,66	0,68	0,82	0,76	0,68	0,74	0,82	0,82	0,74	0,82	0,89	0,85	0,70	0,76	0,76	0,68	0,82
LSC	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
LIC	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,74	0,74	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,75	0,74
LSE	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
LIE	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Faixa Sup. Operação	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Faixa Inf. Operação	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

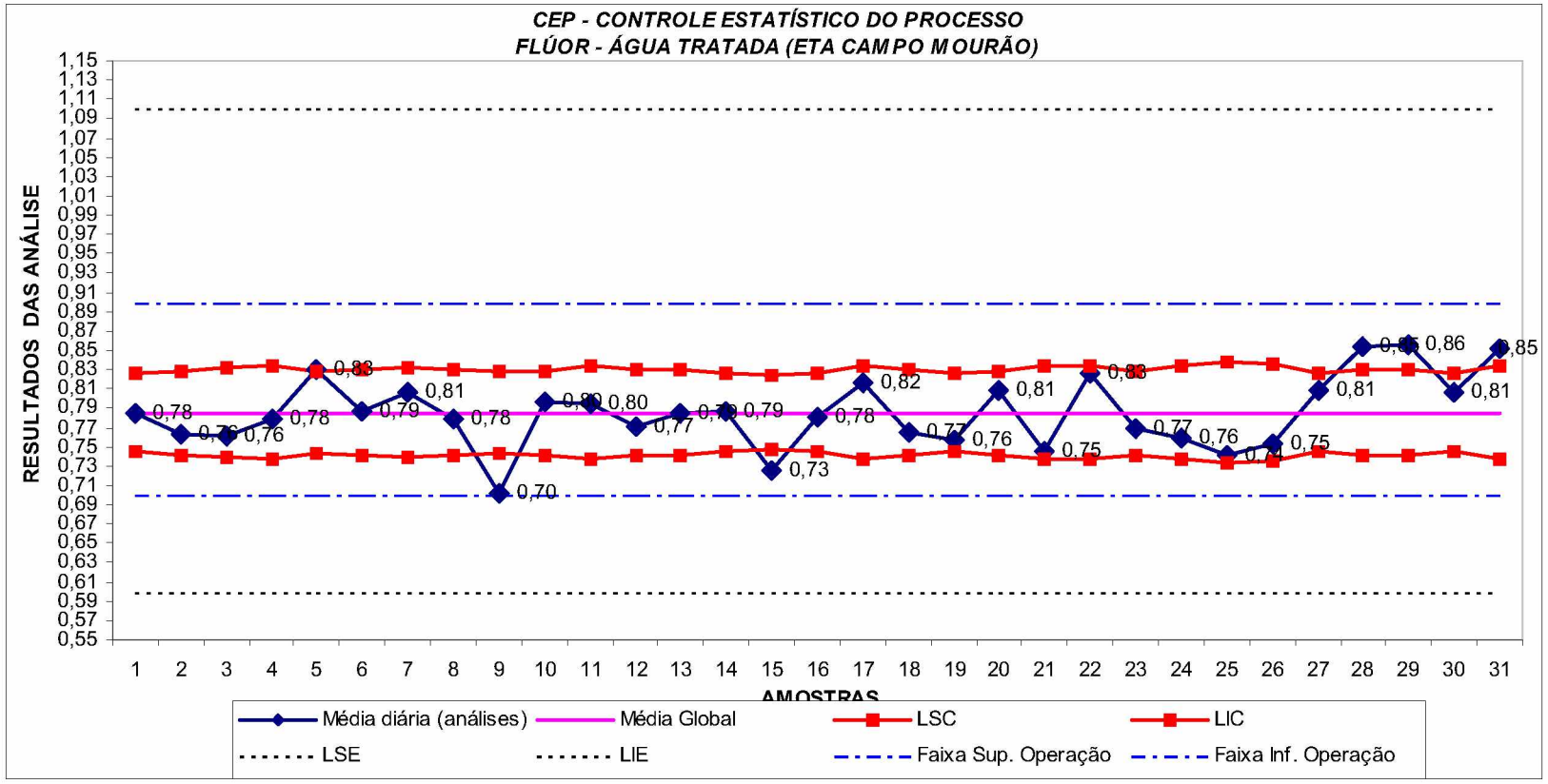
CAPACIDADE DO PROCESSO

Especificações da Portaria		Especificações da EMPRESA	
LSE	1,10	LSE	0,90
LIE	0,60	LIE	0,70
Capacidade Potencial		Capacidade Potencial	
Cp	1,42	Cp	0,57
O processo é CAPAZ		O processo é INCAPAZ	
Capacidade real		Capacidade real	
Cps	1,79	Cps	0,65
Cpi	1,06	Cpi	0,49
Cpk	1,06	Cpk	0,49
O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações		O processo está DESCENTRADO do ponto médio das especificações	
Capacidade Efetiva		Capacidade Efetiva	
Cpkm	0,96	Cpkm	0,55

QUADRO GERAL DE INFORMAÇÕES

Amostra(s) que excederam LSC	
Quantidade:	04
Amostra(s) que excederam o LIC	
Quantidade:	02
Amostra(s) que excederam o LSE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excederam o LIE (PORTARIA)	
Quantidade:	00
Amostras que excederam o LSE (EMPRESA)	
Quantidade:	00
Amostra(s) que excederam o LIE (EMPRESA)	
Quantidade:	00

continua


CEP - CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO
FLÚOR - ÁGUA TRATADA (ETA CAMPO MOURÃO)
RESULTADOS DAS ANÁLISE
AMOSTRAS
Média diária (análises)
Média Global
LSC
LIC
LSE
LIE
Faixa Sup. Operação
Faixa Inf. Operação

Fim

4.9 CÁLCULO DOS LIMITES DE CONTROLE

Os cálculos dos limites de controle são feitos ao término de cada mês, com base nos valores das amostras que não excederam os limites de controle (LSC e LIC), os limites de especificação (LSE e LIE) e as faixas superior e inferior de operação. Os valores destas amostras são registrados a cada dia e calculados a amplitude média e a média diária. Depois estes valores são transferidos para a planilha "cálculo dos limites de controle". Esta tela contém os seguintes campos:

- Data: especifica os dias do mês;
- Número de amostras sob controle: resgata a quantidade de amostras diárias que não excederam os limites de controle, de especificação e as faixas de operação;
- Média diária (amostras sob controle): valor médio das amostras diárias sob controle;
- Amplitude média (amostras sob controle): valor médio da amplitude entre as amostras sob controle;
- Média global ($\overline{x}$): média do valor médio das amostras diárias sob controle;
- Amplitude média global: média do valor médio da amplitude das amostras sob controle;
- Desvio padrão médio: média dos desvios padrão diários;
- Limite superior de controle: $\overline{x}$ + 3.(desvio padrão médio). Este resultado será utilizado como limite superior de controle para a carta de controle, para o próximo mês.
- Linha central: $\overline{x}$. Este resultado será utilizado como linha central na carta de controle para o próximo mês.
- Limite inferior de controle: $\overline{x}$ -3.(desvio padrão médio). Este resultado será utilizado como limite superior de controle para a carta de controle, para o próximo mês.

ÁREA: ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (SANEPAR - CAMPO MOURÃO)

CÁLCULO DOS LIMITES DE CONTROLE PARA O PRÓXIMO MËS

CARACTERÍSTICA: Flúor - Água Tratada

Data	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Número de amostras sob controle	17	16	14	12	12	12	12	15	15	16	12	13	14	16	15	20	14	10	20	13	11	11	16	14	11	12	14	8	8	12	6
Média diária (amostras sob controle)	0,77	0,77	0,75	0,76	0,79	0,76	0,79	0,79	0,72	0,79	0,78	0,77	0,77	0,77	0,74	0,78	0,82	0,77	0,75	0,78	0,78	0,81	0,76	0,76	0,73	0,74	0,77	0,81	0,82	0,77	0,80
Amplitude Média (amostras sob controle)	0,03	0,01	0,03	0,03	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04

Média Global (x barra)	0,774
Amplitude Média Global	0,029
Desvio Padráo Médio	0,026
Limite Superior de Controle	0,851
Linha Central	0,774
Limite Inferior de Controle	0,697

5 PLANO DE AÇÃO 5W1H

As ferramentas do Controle Estatístico de Processos são excelentes no controle dos processos de produção e na garantia da qualidade dos produtos/serviços. Mas, quando algo incomum ocorre, certas providências devem ser tomadas, a fim de garantir a eficácia do processo produtivo.

Neste aspecto, as ações para serem eficazes devem ser planejadas cuidadosamente e com antecedência. Assim, um plano de ação é uma estratégia excelente na otimização de um sistema, uma excelente ferramenta para planejar qualquer tipo de ação, seja ela corretiva, preventiva ou até mesmo investigativa.

O plano de ação 5W1H recebe esta denominação por se tratar de um documento com cinco colunas W e uma coluna H. Estes cinco W (What, When, Who, Where e Why) significam o que fazer, quando fazer, quem fará, onde fazer e por que fazer e o H (How) significa como fazer. O preenchimento correto das colunas do quadro abaixo, garante o sucesso do planejamento das ações e auxiliará na tomada de decisão.

O QUE	COMO	QUEM	QUANDO	ONDE	POR QUE

REFERÊNCIAS DO MANUAL

GOUVEIA E SILVA, A. P. H Operações do Brasil em qualidade em operação: Controle Estatístico de Processos aplicado a empresas de saneamento – manual de treinamento**. Curitiba, 2005.**

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. São Paulo: Editora LTC, 2004.

ANEXOS

ANEXO 1 – BOLETIM DIÁRIO DE TRATAMENTO (08/04/2006) 240
ANEXO 2 – PORTARIA Nº 518 DE 25/03/2004 243

ANEXO 1 – Boletim Diário de Tratamento (08/04/2006)

BOLETIM DIÁRIO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - BDT

Data: 8/4/2006 Sábado **ETA:** CAMPO MOURÃO

HORAS	LCO	TEMPERAT.		IN-NATURA - (Aduzido)								COAGULADA		DECANTADA		FILTRADA		TRATADA - (Produzida)									APROVAÇÃO	
		Ar	Água	pH	O2	Cor	Turb.	Alcal.	Ferro*	Mn*		pH	Cloro*	Turb.	Cloro*	Turb.	Cloro*	pH	Cor	Turb.	O2	Al*	Ferro*	Mn*	Flúor	Cloro		
	Inf.	0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		4,5	-	0,0	-	0,0	-	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6		
	Sup.	32	30,0	8,6	8,0	80,0	80,0	90,0	4,0	0,4		7,4	-	15,0	-	1,00	-	9,0	4,0	0,80	2,0	16,00	0,24	0,08	0,9	2,0	SIM	NÃO
1:00																												
2:00																												
3:00																												
4:00																												
5:00																												
6:00																												
7:00																												
8:00																												
9:00		24,0	21,0	6,9		80,0	15,6					6,8		2,9		0,5		6,7	2,5	0,7					1,0	0,7		
10:00		24,00	21,00	6,85		80,00	16,10					6,80		1,41		0,51		6,62	2,50	0,64					0,68	1,20		
11:00		25,00	21,00	6,83		80,00	17,60					6,80		1,83		0,75		6,72	2,50	0,76					0,71	1,10		
12:00		25,00	21,00	6,84		80,00	17,80					6,80		1,92		0,81		6,73	2,50	0,78					0,73	0,99		
13:00		25,00	21,00	6,84		80,00	17,10					6,80		1,96		0,78		6,72	2,50	0,76					0,74	1,02		
14:00				FILTROS																								
15:00		26,00	21,00	6,84		80,00	22,40					6,78		1,83		0,63		6,72	2,50	0,80					0,76	0,85		
16:00		26,00	21,00	6,84		80,00	22,30					6,65		2,30		0,65		6,60	2,50	0,59					0,61	1,12	X	
17:00		26,00	21,00	6,84		80,00	22,50					6,66		2,48		0,69		6,60	2,50	0,61					0,62	1,12	X	
18:00																												
19:00		25,0	21,0	6,8		80,0	22,1					6,7		1,5		0,7		6,6	2,5	0,6					0,7	1,1	X	
20:00		25,0	21,0	6,8		80,0	22,0					6,8		1,4		0,8		6,6	2,5	0,7					0,7	1,1	X	
21:00		25,0	21,0	6,8		80,0	22,0					6,8		1,3		0,9		6,5	2,5	0,7					0,7	1,1	X	
22:00		25,0	21,0	6,8		80,0	20,9					6,7		1,3		0,9		6,5	2,5	0,8					0,7	1,1	X	
23:00		25,0	21,0	6,8		80,0	19,4					6,7		1,3		1,0		6,5	2,5	0,8					0,7	1,0	X	
24:00		25,0	21,0	6,8		80,0	19,5					6,7		1,4		1,0		6,5	2,5	0,7					0,7	1,0	X	
media		25,1	21,0	6,8		80,0	19,8					6,7		1,8		0,8		6,6	2,5	0,7					0,7	1,0	Parâmetro*	
max.		26,0	21,0	6,9		80,0	22,5					6,8		2,9		1,0		6,7	2,5	0,8					1,0	1,2	Analisar quando	
min.		24,0	21,0	6,8		80,0	15,6					6,7		1,3		0,5		6,5	2,5	0,6					0,6	0,7	for necessário	

Jar-Test	COAG.	CAL	ALC.	TIPO DE ÁGUA				AGITAÇÃO
	mg/ml	mg/ml	mg/ml	FLOCULADA		DECANTADA		
Frasco	ppm	ppm	ppm	pH	ASP.	TURB.	pH	
1								Rápida (rpm)
2								120
3								Lenta (rpm)
4								60
5								Decant. (min)
6								30

Jar-Test	COAG.	CAL	ALC.	TIPO DE ÁGUA				AGITAÇÃO
	mg/ml	mg/ml	mg/ml	FLOCULADA		DECANTADA		
Frasco	ppm	ppm	ppm	pH	ASP.	TURB.	pH	
1								Rápida (rpm)
2								
3								Lenta (rpm)
4								
5								Decant. (min)
6								

Jar-Test	COAG.	CAL	ALC.	TIPO DE ÁGUA				AGITAÇÃO
	mg/ml	mg/ml	mg/ml	FLOCULADA		DECANTADA		
Frasco	ppm	ppm	ppm	pH	ASP.	TURB.	pH	
1								Rápida (rpm)
2								
3								Lenta (rpm)
4								
5								Decant. (min)
6								

Das	OPERADOR:
7:00 hs	
às 16:00 hs	FRANCISCO -980005

Das	OPERADOR:
hs	
às hs	

Das	OPERADOR:
hs	
às hs	

Das	OPERADOR:
hs	
às hs	

Frente

HORA	VOLUME ADUZIDO			Coagulante (Sulfato de Alumínio)							Flúor					Cloro					Alcalinizante (Barrilha)					Alcalinizante (Geocálcio)					PRODUÇÃO		Tempo (C=Chuvoso ou B=Bom)
	Leitura Macro	Vazão Inst. (l/s)	Aduzido (m³)	% = 50		g/cm= 18					% =		g/cm=			% =		g/cm=			% = 25		g/cm=			% =		g/cm=			Macro (EET I)	Macro (EET III)	
				ppm inst.	Tanque					JT ppm	Tanque					Clorador/Tanque					Tanque					Tanque							
					Nº	Mira	dif cm	Kg	ppm		Nº	Mira	dif cm	Kg	ppm	Nº	Mira	dif cm	Kg	ppm	Nº	Mira	dif cm	Kg	ppm	Nº	Mira	dif cm	Kg	ppm			
1:00	7.011.330					17,50													267,00												1.689.050	4.014.486	
2:00																																
3:00																																
4:00																																
5:00																																
6:00																																
7:00																																
8:00																																
9:00		184,0		9,78																									3,13			
10:00		185,0		9,73																									3,11			
11:00		185,0		9,73																									3,11			
12:00		185,0		9,73																									3,11			
13:00		185,0		9,73																									3,11			
14:00																																
15:00		188,0		9,57																									3,06			
16:00		188,5		9,55											0,61					1,12									3,08			
17:00		188,9		9,53											0,62					1,12									3,04			
18:00						JANTAR																										
19:00		189,6		9,23											0,73					1,05									3,03			
20:00		190,0		9,21											0,74					1,06									3,03			
21:00		190,1		9,21											0,72					1,05									3,02			
22:00		191,4		9,14											0,74					1,05									3,00			
23:00		190,5		9,19											0,73					1,00									3,02			
24:00	7.022.894	187,9		9,31		5,00									0,74				255,00	1,02									3,06	1.697.131	4.017.294	
Média															0,70														3,07			
Total	11.564						12,50		9,73						0,88				12,00	1,10									#####	8.081	2.808	

RESUMO DAS OPERAÇÕES			
ESPECIFICAÇÃO	DO DIA	ACUM. ANTERIOR	ACUM. ATUAL
Tempo de funcionamento (h/dia)	17:15:00	90:50:00	108:05:00
Volume Aduzido (m^3)	11.564	61.598	73.162
Volume Produzido (m^3)	10.889	60.541	71.430
PSP (m³)	675	1.057	1.732
Volume gasto lav filtro (m^3)	198	1.782	1.980
Volume gasto lav decantador (m³)		60	60
Cons. Sulfato de Alumínio (Kg)	225,00	1.197,00	1.422,00
Cons. Barrilha (Kg)		347,90	347,90
Cons. Geocálcio (Kg)	163,04	378,28	541,32
Cons. Cloro (Kg)	12,00	79,00	91,00
Cons. Flúor (Kg)	9,58	58,00	67,58
PREPARAÇÃO DE PRODUTOS	DO DIA	ACUM. ANTERIOR	ACUM. ATUAL
Barrilha Prep. (Kg)		200,00	200,00
Flúor Prep. (Kg)		100,00	100,00

VOLUME GASTO EM LAVAGENS																	
	FILTROS						DECANTADORES										
Nº	Início	Fim	Dur. (h)	Dur. (min.)	Cons.		Nº	Início	Fim	Dur. (h)	Dur. (min.)	Cons.					
01							01										
02							02										
03							03										
04							04										
05	13:00	13:15	00:15	15,00	99,0		05										
06	13:15	13:30	00:15	15,00	99,0		06										
07							07										
08							08										
09							09										
10							10										
11							11										
12							12										
Total	198,00						Total										

CONJ. MOTO-BOMBAS	
HORÁRIO	
Início	Fim
00:00	00:45
07:30	00:00
TOTAL	
17:15:00	

OBS:

Verso

8/4/2006

ANEXO 2 – Portaria nº 518, de 25 de março de 2004

MINISTÉRIO DA SAÚDE

PORTARIA N.º 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004

Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

O MINISTRO DE ESTADO DA SAÚDE, no uso de suas atribuições e considerando o disposto no Art. 2º do Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977,

RESOLVE:

Art. 1º Aprovar a Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano, na forma do Anexo desta Portaria, de uso obrigatório em todo território nacional.

Art. 2º Fica estabelecido o prazo máximo de 12 meses, contados a partir da publicação desta Portaria, para que as instituições ou órgãos aos quais esta Norma se aplica, promovam as adequações necessárias a seu cumprimento, no que se refere ao tratamento por filtração de água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização e da obrigação do monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas.

Art. 3º É de responsabilidade da União, dos Estados, dos Municípios e do Distrito Federal a adoção das medidas necessárias para o fiel cumprimento desta Portaria.

Art. 4º O Ministério da Saúde promoverá, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde – SVS, a revisão da Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano estabelecida nesta Portaria, no prazo de 5 anos ou a qualquer tempo, mediante solicitação devidamente justificada de órgãos governamentais ou não governamentais de reconhecida capacidade técnica nos setores objeto desta regulamentação.

Art. 5º Fica delegada competência ao Secretário de Vigilância em Saúde para editar, quando necessário, normas regulamentadoras desta Portaria.

Art. 6º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

HUMBERTO COSTA

Anexo a Portaria n.º , de de de 2004.

NORMA DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

CAPÍTULO I
DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Esta Norma dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece seu padrão de potabilidade e dá outras providências.

Art. 2º Toda a água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Art. 3º Esta Norma não se aplica às águas envasadas e a outras, cujos usos e padrões de qualidade são estabelecidos em legislação específica.

CAPÍTULO II
DAS DEFINIÇÕES

Art. 4º Para os fins a que se destina esta Norma, são adotadas as seguintes definições:

I. água potável – água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde;

II. sistema de abastecimento de água para consumo humano – instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão;

III. solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano – toda modalidade de abastecimento coletivo de água distinta do sistema de abastecimento de água, incluindo, entre outras, fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontal e vertical;

IV. controle da qualidade da água para consumo humano – conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelo(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição;

V. vigilância da qualidade da água para consumo humano – conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública, para verificar se a água consumida pela população atende à esta Norma e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana;

VI. coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) - bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a 35,0 ± 0,5 °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima ß -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia, Citrobacter, Klebsiella e Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;

VII. coliformes termotolerantes - subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a 44,5 ± 0,2°C em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;

VIII. *Escherichia Coli* - bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com

produção de ácido e gás a 44,5 ± 0,2°C em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas ß galactosidase e ß glucoronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos;

IX. contagem de bactérias heterotróficas - determinação da densidade de bactérias que são capazes de produzir unidades formadoras de colônias (UFC), na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriada, sob condições pré-estabelecidas de incubação: 35,0, ± 0,5°C por 48 horas;

X. cianobactérias - microorganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde; e

XI. cianotoxinas - toxinas produzidas por cianobactérias que apresentam efeitos adversos à saúde por ingestão oral, incluindo:

a) microcistinas - hepatotoxinas heptapeptídicas cíclicas produzidas por cianobactérias, com efeito potente de inibição de proteínas fosfatases dos tipos 1 e 2A e promotoras de tumores;

b) cilindrospermopsina - alcalóide guanidínico cíclico produzido por cianobactérias, inibidor de síntese protéica, predominantemente hepatotóxico, apresentando também efeitos citotóxicos nos rins, baço, coração e outros órgãos; e

c) saxitoxinas - grupo de alcalóides carbamatos neurotóxicos produzido por cianobactérias, não sulfatados (saxitoxinas) ou sulfatados (goniautoxinas e C-toxinas) e derivados decarbamil, apresentando efeitos de inibição da condução nervosa por bloqueio dos canais de sódio.

CAPÍTULO III
DOS DEVERES E DAS RESPONSABILIDADES

Seção I
Do Nível Federal

Art. 5º São deveres e obrigações do Ministério da Saúde, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde - SVS:

I. promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água, em articulação com as Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal e com os responsáveis pelo controle de qualidade da água, nos termos da legislação que regulamenta o SUS;

II. estabelecer as referências laboratoriais nacionais e regionais, para dar suporte às ações de maior complexidade na vigilância da qualidade da água para consumo humano;

III. aprovar e registrar as metodologias não contempladas nas referências citadas no artigo 17 deste Anexo;

III. definir diretrizes específicas para o estabelecimento de um plano de amostragem a ser implementado pelos Estados, Distrito Federal ou Municípios, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, no âmbito do Sistema Único de Saúde – SUS; e

IV. executar ações de vigilância da qualidade da água, de forma complementar, em caráter excepcional, quando constatada, tecnicamente, insuficiência da ação estadual, nos termos da regulamentação do SUS.

Seção II
Do Nível Estadual e Distrito Federal

Art. 6º São deveres e obrigações das Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal:

I. promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com o nível municipal e os responsáveis pelo controle de qualidade da água, nos termos da legislação que regulamenta o SUS;

II. garantir, nas atividades de vigilância da qualidade da água, a implementação de um plano de amostragem pelos municípios, observadas as diretrizes específicas a serem elaboradas pela SVS/MS;

III. estabelecer as referências laboratoriais estaduais e do Distrito Federal para dar suporte às ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano; e

IV. executar ações de vigilância da qualidade da água, de forma complementar, em caráter excepcional, quando constatada, tecnicamente, insuficiência da ação municipal, nos termos da regulamentação do SUS.

Seção III
Do Nível Municipal

Art. 7º São deveres e obrigações das Secretarias Municipais de Saúde:

I. exercer a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com os responsáveis pelo controle de qualidade da água, de acordo com as diretrizes do SUS;

II. sistematizar e interpretar os dados gerados pelo responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, assim como, pelos órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, em relação às características da água nos mananciais, sob a perspectiva da vulnerabilidade do abastecimento de água quanto aos riscos à saúde da população;

III. estabelecer as referências laboratoriais municipais para dar suporte às ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano;

IV. efetuar, sistemática e permanentemente, avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento ou solução alternativa, por meio de informações sobre:

a) a ocupação da bacia contribuinte ao manancial e o histórico das características de suas águas;

b) as características físicas dos sistemas, práticas operacionais e de controle da qualidade da água;

c) o histórico da qualidade da água produzida e distribuída; e

d) a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade do sistema.

V. auditar o controle da qualidade da água produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas;

VI. garantir à população informações sobre a qualidade da água e riscos à saúde associados, nos termos do inciso VI do artigo 9 deste Anexo;

VII. manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível à população e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VIII. manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes;

IX. informar ao responsável pelo fornecimento de água para consumo humano sobre anomalias e não conformidades detectadas, exigindo as providências para as correções que se fizerem necessárias;

X. aprovar o plano de amostragem apresentado pelos responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, que deve respeitar os planos mínimos de amostragem expressos nas Tabelas 6, 7, 8 e 9;

XI. implementar um plano próprio de amostragem de vigilância da qualidade da água, consoante diretrizes específicas elaboradas pela SVS; e

XII. definir o responsável pelo controle da qualidade da água de solução alternativa.

Seção IV
Do Responsável pela Operação de Sistema e/ou Solução Alternativa

Art. 8º Cabe ao(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, exercer o controle da qualidade da água.

Parágrafo único. Em caso de administração, em regime de concessão ou permissão do sistema de abastecimento de água, é a concessionária ou a permissionária a responsável pelo controle da qualidade da água.

Art. 9º Ao(s) responsável(is) pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

I. operar e manter sistema de abastecimento de água potável para a população consumidora, em conformidade com as normas técnicas aplicáveis publicadas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e com outras normas e legislações pertinentes;

II. manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de:

a) controle operacional das unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição;

b) exigência do controle de qualidade, por parte dos fabricantes de produtos químicos utilizados no tratamento da água e de materiais empregados na produção e distribuição que tenham contato com a água;

c) capacitação e atualização técnica dos profissionais encarregados da operação do sistema e do controle da qualidade da água; e

d) análises laboratoriais da água, em amostras provenientes das diversas partes que compõem o sistema de abastecimento.

III. manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída;

IV. encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação do atendimento a esta Norma, relatórios mensais com informações sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo estabelecido pela referida autoridade;

V. promover, em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, as ações cabíveis para a proteção do manancial de abastecimento e de sua bacia contribuinte, assim como efetuar controle das características das suas águas, nos termos do artigo 19 deste Anexo, notificando imediatamente a autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde ou sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente;

VI. fornecer a todos os consumidores, nos termos do Código de Defesa do Consumidor, informações sobre a qualidade da água distribuída, mediante envio de relatório, dentre outros mecanismos, com periodicidade mínima anual e contendo, no mínimo, as seguintes informações:

a) descrição dos mananciais de abastecimento, incluindo informações sobre sua proteção, disponibilidade e qualidade da água;

b) estatística descritiva dos valores de parâmetros de qualidade detectados na água, seu significado, origem e efeitos sobre a saúde; e

c) ocorrência de não conformidades com o padrão de potabilidade e as medidas corretivas providenciadas.

VII. manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VIII. comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia operacional no sistema ou não conformidade na qualidade da água tratada, identificada como de risco à saúde, adotando-se as medidas previstas no artigo 29 deste Anexo; e

IX. manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes.

Art. 10. Ao responsável por solução alternativa de abastecimento de água, nos termos do inciso XII do artigo 7 deste Anexo, incumbe:

I. requerer, junto à autoridade de saúde pública, autorização para o fornecimento de água apresentando laudo sobre a análise da água a ser fornecida, incluindo os parâmetros de qualidade previstos nesta Portaria, definidos por critério da referida autoridade;

II. operar e manter solução alternativa que forneça água potável em conformidade com as normas técnicas aplicáveis, publicadas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, e com outras

normas e legislações pertinentes;

III. manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de análises laboratoriais, nos termos desta Portaria e, a critério da autoridade de saúde pública, de outras medidas conforme inciso II do artigo anterior;

IV. encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação, relatórios com informações sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo e periodicidade estabelecidos pela referida autoridade, sendo no mínimo trimestral;

V. efetuar controle das características da água da fonte de abastecimento, nos termos do artigo 19 deste Anexo, notificando, imediatamente, à autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde ou sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente;

VI. manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VII. comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública competente e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia identificada como de risco à saúde, adotando-se as medidas previstas no artigo 29; e

VIII. manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes.

CAPÍTULO IV
DO PADRÃO DE POTABILIDADE

Art.11. A água potável deve estar em conformidade com o padrão microbiológico conforme Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano

PARÂMETRO	VMP(1)
Água para consumo humano(2)	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes(3)	Ausência em 100ml
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100ml
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes(3)	Ausência em 100ml
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: Ausência em 100ml em 95% das amostras examinadas no mês;

	Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100ml

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido.

(2) água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras.

(3) a detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

§1° No controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que as novas amostras revelem resultado satisfatório.

§2° Nos sistemas de distribuição, a recoleta deve incluir, no mínimo, três amostras simultâneas, sendo uma no mesmo ponto e duas outras localizadas a montante e a jusante.

§3° Amostras com resultados positivos para coliformes totais devem ser analisadas para *Escherichia coli* e, ou, coliformes termotolerantes, devendo, neste caso, ser efetuada a verificação e confirmação dos resultados positivos.

§4° O percentual de amostras com resultado positivo de coliformes totais em relação ao total de amostras coletadas nos sistemas de distribuição deve ser calculado mensalmente, excluindo as amostras extras (recoleta).

§5° O resultado negativo para coliformes totais das amostras extras (recoletas) não anula o resultado originalmente positivo no cálculo dos percentuais de amostras com resultado positivo.

§6° Na proporção de amostras com resultado positivo admitidas mensalmente para coliformes totais no sistema de distribuição, expressa na Tabela 1, não são tolerados resultados positivos que ocorram em recoleta, nos termos do § 1° deste artigo.

§7° Em 20% das amostras mensais para análise de coliformes totais nos sistemas de distribuição, deve ser efetuada a contagem de bactérias heterotróficas e, uma vez excedidas 500 unidades formadoras de colônia (UFC) por ml, devem ser providenciadas imediata recoleta, inspeção local e, se constatada irregularidade, outras providências cabíveis.

§8° Em complementação, recomenda-se a inclusão de pesquisa de organismos patogênicos, com o objetivo de atingir, como meta, um padrão de ausência, dentre outros, de enterovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp.

§9° Em amostras individuais procedentes de poços, fontes, nascentes e outras formas de abastecimento sem distribuição canalizada, tolera-se a presença de coliformes totais, na ausência de *Escherichia coli* e, ou, coliformes termotolerantes, nesta situação devendo ser investigada a origem da ocorrência, tomadas providências imediatas de caráter corretivo e preventivo e realizada nova análise de coliformes.

Art. 12. Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser observado o padrão de turbidez expresso na Tabela 2, abaixo:

Tabela 2 - Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

TRATAMENTO DA ÁGUA	VMP(1)
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 UT(2) em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1,0 UT(2)
	2,0 UT(2) em 95% das amostras

Filtração lenta	

NOTAS: (1) Valor máximo permitido.
(2) Unidade de turbidez.

§ 1° Entre os 5% dos valores permitidos de turbidez superiores aos VMP estabelecidos na Tabela 2, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 UT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 UT em qualquer ponto da rede no sistema de distribuição.

§ 2° Com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp., recomenda-se, enfaticamente, que, para a filtração rápida, se estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 UT em 95% dos dados mensais e nunca superiores a 5,0 UT.

§ 3° O atendimento ao percentual de aceitação do limite de turbidez, expresso na Tabela 2, deve ser verificado, mensalmente, com base em amostras no mínimo diárias para desinfecção ou filtração lenta e a cada quatro horas para filtração rápida, preferivelmente, em qualquer caso, no efluente individual de cada unidade de filtração.

Art. 13. Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

Parágrafo único. Admite-se a utilização de outro agente desinfetante ou outra condição de operação do processo de desinfecção, desde que fique demonstrado pelo responsável pelo sistema de tratamento uma eficiência de inativação microbiológica equivalente à obtida com a condição definida neste artigo.

Art.14. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco para a saúde expresso na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)
INORGÂNICAS		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cianeto	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto(2)	mg/L	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01
ORGÂNICAS		

Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	5
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroeteno	µg/L	30
Diclorometano	µg/L	20
Estireno	µg/L	20
Tetracloreto de Carbono	µg/L	2
Tetracloroeteno	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroeteno	µg/L	70
AGROTÓXICOS		
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Bentazona	µg/L	300
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2
2,4 D	µg/L	30
DDT (isômeros)	µg/L	2
Endossulfan	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato	µg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	µg/L	1
Lindano (γ-BHC)	µg/L	2
Metolacloro	µg/L	10
Metoxicloro	µg/L	20
Molinato	µg/L	6
Pendimetalina	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Permetrina	µg/L	20
Propanil	µg/L	20
Simazina	µg/L	2
Trifluralina	µg/L	20
CIANOTOXINAS		
Microcistinas(3)	µg/L	1,0
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO		
Bromato	mg/L	0,025
Clorito	mg/L	0,2
Cloro livre (4)	mg/L	5
Monocloramina	mg/L	3
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido.

(2) Os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto devem observar à legislação específica vigente relativa à fluoretação da água, em qualquer caso devendo ser respeitado o VMP desta Tabela.

(3) É aceitável a concentração de até 10 µg/L de microcistinas em até 3 (três) amostras, consecutivas ou não, nas análises realizadas nos últimos 12 (doze) meses.

(4) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.

§ 1º Recomenda-se que as análises para cianotoxinas incluam a determinação de cilindrospermopsina e saxitoxinas (STX), observando, respectivamente, os valores limites de 15,0 µg/L e 3,0 µg/L de equivalentes STX/L.

§ 2º Para avaliar a presença dos inseticidas organofosforados e carbamatos na água, recomenda-se a determinação da atividade da enzima acetilcolinesterase, observando os limites máximos de 15% ou 20% de inibição enzimática, quando a enzima utilizada for proveniente de insetos ou mamíferos, respectivamente.

Art. 15. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de radioatividade expresso na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4 - Padrão de radioatividade para água potável

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)
Radioatividade alfa global	BQ/L	0,1(2)
Radioatividade beta global	BQ/L	1,0(2)

NOTAS: (1) Valor máximo permitido.

(2) Se os valores encontrados forem superiores aos VMP, deverá ser feita a identificação dos radionuclídeos presentes e a medida das concentrações respectivas. Nesses casos, deverão ser aplicados, para os radionuclídeos encontrados, os valores estabelecidos pela legislação pertinente da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, para se concluir sobre a potabilidade da água.

Art. 16. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo expresso na Tabela 5, a seguir:

Tabela 5 - Padrão de aceitação para consumo humano

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH_3)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH(2)	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável(3)
Gosto	-	Não objetável(3)
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT(4)	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

NOTAS: (1) Valor máximo permitido.
(2) Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).
(3) critério de referência
(4) Unidade de turbidez.

§ 1° Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

§ 2° Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg/L.

§ 3° Recomenda-se a realização de testes para detecção de odor e gosto em amostras de água

coletadas na saída do tratamento e na rede de distribuição de acordo com o plano mínimo de amostragem estabelecido para cor e turbidez nas Tabelas 6 e 7.

Art. 17. As metodologias analíticas para determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de radioatividade devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria, da edição mais recente da *publicação Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF)*, ou das normas publicadas pela ISO *(International Standartization Organization)*.

§ 1° Para análise de cianobactérias e cianotoxinas e comprovação de toxicidade por bioensaios em camundongos, até o estabelecimento de especificações em normas nacionais ou internacionais que disciplinem a matéria, devem ser adotadas as metodologias propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em sua publicação *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.*

§ 2° Metodologias não contempladas nas referências citadas no § 1° e "caput" deste artigo, aplicáveis aos parâmetros estabelecidos nesta Norma, devem, para ter validade, receber aprovação e registro pelo Ministério da Saúde.

§ 3° As análises laboratoriais para o controle e a vigilância da qualidade da água podem ser realizadas em laboratório próprio ou não que, em qualquer caso, deve manter programa de controle de qualidade interna ou externa ou ainda ser acreditado ou certificado por órgãos competentes para esse fim.

CAPÍTULO V
DOS PLANOS DE AMOSTRAGEM

Art. 18. Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água devem elaborar e aprovar, junto à autoridade de saúde pública, o plano de amostragem de cada sistema, respeitando os planos mínimos de amostragem expressos nas Tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 6

Número mínimo de amostras para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (NÚMERO DE AMOSTRAS POR UNIDADE DE TRATAMENTO)	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)		
			População abastecida		
			< <50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Cor, Turbidez pH	Superficial	1	10	1 para cada 5.000 hab.	40 + (1 para cada 25.000 hab.)
	Subterrâneo	1		1 para cada	20 + (1 para cada

			5	10.000 hab.	50.000 hab.)
CRL[1]	Superficial	1	(Conforme § 3° do artigo 18).		
	Subterrâneo	1			
Fluoreto	Superficial ou Subterrâneo	1	5	1 para cada 10.000 hab.	20 + (1 para cada 50.000 hab.)
Cianotoxinas	Superficial	1 (Cf. § 5° do art.18)	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	1	1[2]	4[2]	4[2]
	Subterrâneo	-	1[2]	1[2]	1[2]
Demais parâmetros[3]	Superficial ou Subterrâneo	1	1[4]	1[4]	1[4]

NOTAS: (1) Cloro residual livre.

(2) As amostras devem ser coletadas, preferencialmente, em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição.

(3) Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial.

(4) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Tabela 7 - Freqüência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (FREQÜÊNCIA POR UNIDADE DE TRATAMENTO)	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RSERVATÓRIOS E REDE)		
			População abastecida		
			<50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Cor, Turbidez, pH, Fluoreto	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	Mensal	Mensal
	Subterrâneo	Diária			
CRL[1]	Superficial	A cada 2 horas	(Conforme § 3° do artigo 18).		
	Subterrâneo	Diária			
Cianotoxinas	Superficial	Semanal (Cf. § 5° do art. 18)	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
	Subterrâneo	-		Semestral	Semestral

			Anual		
Demais parâmetros[2]	Superficial ou Subterrâneo	Semestral	Semestral[3]	Semestral[3]	Semestral[3]

NOTAS: (1) Cloro residual livre.

(2) Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial.

(3) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Tabela 8 - Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida.

PARÂMETRO	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)			
	População abastecida			
	< 5.000 hab.	5.000 a 20.000 hab.	20.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Coliformes totais	10	1 para cada 500 hab.	30 + (1 para cada 2.000 hab.)	105 + (1 para cada 5.000 hab.) Máximo de 1.000

NOTA: na saída de cada unidade de tratamento devem ser coletadas, no mínimo, 2 (duas) amostras semanais, recomendando-se a coleta de, pelo menos, 4 (quatro) amostras semanais.

Tabela 9 - Número mínimo de amostras e freqüência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem.

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (para água canalizada)	NÚMERO DE AMOSTRAS RETIRADAS NO PONTO DE CONSUMO[1] (para cada 500 hab.)	FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM
Cor, turbidez, pH e coliformes totais[2]	Superficial	1	1	Semanal
	Subterrâneo	1	1	Mensal
CRL[2] [3]	Superficial ou Subterrâneo	1	1	Diário

NOTAS: (1) Devem ser retiradas amostras em, no mínimo, 3 pontos de consumo de água.

(2) Para veículos transportadores de água para consumo humano, deve ser realizada 1 (uma) análise de CRL em cada carga e 1 (uma) análise, na fonte de fornecimento, de cor, turbidez, PH e coliformes totais com freqüência mensal, ou outra amostragem determinada pela autoridade de saúde pública.

(3) Cloro residual livre.

§ 1° A amostragem deve obedecer aos seguintes requisitos:

I. distribuição uniforme das coletas ao longo do período; e

II. representatividade dos pontos de coleta no sistema de distribuição (reservatórios e rede),

combinando critérios de abrangência espacial e pontos estratégicos, entendidos como aqueles próximos a grande circulação de pessoas (terminais rodoviários, terminais ferroviários, etc.) ou edifícios que alberguem grupos populacionais de risco (hospitais, creches, asilos, etc.), aqueles localizados em trechos vulneráveis do sistema de distribuição (pontas de rede, pontos de queda de pressão, locais afetados por manobras, sujeitos à intermitência de abastecimento, reservatórios, etc.) e locais com sistemáticas notificações de agravos à saúde tendo como possíveis causas agentes de veiculação hídrica.

§ 2º No número mínimo de amostras coletadas na rede de distribuição, previsto na Tabela 8, não se incluem as amostras extras (recoletas).

§ 3º Em todas as amostras coletadas para análises microbiológicas deve ser efetuada, no momento da coleta, medição de cloro residual livre ou de outro composto residual ativo, caso o agente desinfetante utilizado não seja o cloro.

§ 4º Para uma melhor avaliação da qualidade da água distribuída, recomenda-se que, em todas as amostras referidas no § 3º deste artigo, seja efetuada a determinação de turbidez.

§ 5º Sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder 20.000 células/ml (2mm^3/L de biovolume), durante o monitoramento que trata o § 1º do artigo 19, será exigida a análise semanal de cianotoxinas na água na saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, sendo que esta análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos.

Art. 19. Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas e de soluções alternativas de abastecimento supridos por manancial superficial devem coletar amostras semestrais da água bruta, junto do ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente de classificação e enquadramento de águas superficiais, avaliando a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente.

§ 1º O monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer freqüência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 células/ml (ou 1mm^3/L de biovolume), e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor.

§ 2º É vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias ou qualquer intervenção no manancial que provoque a lise das células desses microrganismos, quando a densidade das cianobactérias exceder 20.000 células/ml (ou 2mm^3/L de biovolume), sob pena de comprometimento da avaliação de riscos à saúde associados às cianotoxinas.

Art. 20. A autoridade de saúde pública, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, deve implementar um plano próprio de amostragem, consoante diretrizes específicas elaboradas no âmbito do Sistema Único de Saúde - SUS.

CAPÍTULO VI
DAS EXIGÊNCIAS APLICÁVEIS AOS SISTEMAS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Art. 21. O sistema de abastecimento de água deve contar com responsável técnico, profissionalmente habilitado.

Art. 22. Toda água fornecida coletivamente deve ser submetida a processo de desinfecção, concebido e operado de forma a garantir o atendimento ao padrão microbiológico desta Norma.

Art. 23. Toda água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização deve incluir tratamento por filtração.

Art. 24. Em todos os momentos e em toda sua extensão, a rede de distribuição de água deve ser operada com pressão superior à atmosférica.

§ 1º Caso esta situação não seja observada, fica o responsável pela operação do serviço de

abastecimento de água obrigado a notificar a autoridade de saúde pública e informar à população, identificando períodos e locais de ocorrência de pressão inferior à atmosférica.

§ 2° Excepcionalmente, caso o serviço de abastecimento de água necessite realizar programa de manobras na rede de distribuição, que possa submeter trechos a pressão inferior à atmosférica, o referido programa deve ser previamente comunicado à autoridade de saúde pública.

Art. 25. O responsável pelo fornecimento de água por meio de veículos deve:

I. garantir o uso exclusivo do veículo para este fim;

II. manter registro com dados atualizados sobre o fornecedor e, ou, sobre a fonte de água; e

III. manter registro atualizado das análises de controle da qualidade da água.

§ 1° A água fornecida para consumo humano por meio de veículos deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L.

§ 2° O veículo utilizado para fornecimento de água deve conter, de forma visível, em sua carroceria, a inscrição: "ÁGUA POTÁVEL".

CAPÍTULO VII
DAS PENALIDADES

Art. 26. Serão aplicadas as sanções administrativas cabíveis, aos responsáveis pela operação dos sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água, que não observarem as determinações constantes desta Portaria.

Art. 27. As Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios estarão sujeitas a suspensão de repasse de recursos do Ministério da Saúde e órgãos ligados, diante da inobservância do contido nesta Portaria.

Art. 28. Cabe ao Ministério da Saúde, por intermédio da SVS/MS, e às autoridades de saúde pública dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, representadas pelas respectivas Secretarias de Saúde ou órgãos equivalentes, fazer observar o fiel cumprimento desta Norma, nos termos da legislação que regulamenta o Sistema Único de Saúde – SUS.

CAPÍTULO VIII
DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 29. Sempre que forem identificadas situações de risco à saúde, o responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água e as autoridades de saúde pública devem estabelecer entendimentos para a elaboração de um plano de ação e tomada das medidas cabíveis, incluindo a eficaz comunicação à população, sem prejuízo das providências imediatas para a correção da anormalidade.

Art. 30. O responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água pode solicitar à autoridade de saúde pública a alteração na freqüência mínima de amostragem de determinados parâmetros estabelecidos nesta Norma.

Parágrafo único. Após avaliação criteriosa, fundamentada em inspeções sanitárias e, ou, em histórico mínimo de dois anos do controle e da vigilância da qualidade da água, a autoridade de saúde pública decidirá quanto ao deferimento da solicitação, mediante emissão de documento específico.

Art. 31. Em função de características não conformes com o padrão de potabilidade da água ou de outros fatores de risco, a autoridade de saúde pública competente, com fundamento em relatório técnico, determinará ao responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água que amplie o número mínimo de amostras, aumente a freqüência de amostragem ou realize análises laboratoriais de parâmetros adicionais ao estabelecido na presente Norma.

Art. 32. Quando não existir na estrutura administrativa do estado a unidade da Secretaria de Saúde, os deveres e responsabilidades previstos no artigo 6° deste Anexo serão cumpridos pelo órgão equivalente.