



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE LÍQUIDO
NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO
DO ÍNDIGO TÊXTIL**

KÉSIA KARINA DE OLIVEIRA SOUTO SILVA

**NATAL - RN
DEZEMBRO/2007**

KÉSIA KARINA DE OLIVEIRA SOUTO SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE LÍQUIDO
NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO
DO ÍNDIGO TÊXTIL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ PEREIRA DE BRITO

NATAL-RN
DEZEMBRO/2007

CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE LÍQUIDO NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO ÍNDIGO TÊXTIL

KÉSIA KARINA DE OLIVEIRA SOUTO

Orientador: Prof. Dr. Luiz Pereira de Brito

**Dissertação de Mestrado defendida em 26 de dezembro de 2007,
sob julgamento da seguinte banca examinadora:**

Prof. Dra. Patrícia Guimarães – Ex. externa

Prof. Dr. Manoel Lucas Filho

Dra. Leocádia Terezinha Cordeiro Beltrame

**Natal-RN
Dezembro/2007**

“ATÉ AQUI NOS AJUDOU O SENHOR” (I Sm. 7:12b)

A Deus, minha rocha inabalável. A meu marido Igor Xavier e a minha
filha Ana Beatriz, tentando me redimir de tantos momentos
roubados de nosso convívio. E aos meus pais,
Souto e Chaguinha, pelo apoio e incentivo
durante toda a minha formação.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que ele tem feito em minha vida e continuará sempre fazendo.

Aos meus pais Francisco de Araújo Souto e Francisca das Chagas Ferreira de Oliveira Souto (Chaguinha), por terem priorizado a educação a mim e a meu irmão, ainda que muitas vezes com dificuldades.

Ao meu esposo Igor Xavier Pereira da Silva, pelo apoio e compreensão durante a realização deste trabalho.

Ao meu querido professor e orientador, Dr. Luiz Pereira de Brito, que sempre foi um guia para mim dentro da UFRN, um exemplo de profissional e ser humano, além da amizade construída, minha sincera e grande gratidão.

Ao professor Dr. Rasiah Ladchumananandasivam pela colaboração e orientações fornecidas.

Ao laboratorista Sandro Araújo e ao bolsista Amacell Barros, pela ajuda no desenvolvimento das análises laboratoriais e pela amizade desenvolvida.

Ao Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – LARHISA – UFRN – na pessoa do Prof. Dr. Luiz Pereira de Brito, pelo espaço e empréstimo de material cedido para realização prática deste trabalho.

Ao coordenador do PPGEM, Prof. Dr. Rubens Maribondo do Nascimento, pelo apoio e incentivo na viabilização deste estudo e à secretária Marisa Mendonça Guerreiro da Silva pela dedicação ao programa e amizade para com os alunos.

À CAPES, pelo incentivo à pesquisa.

À diretoria da indústria utilizada na pesquisa, por permitir o acesso as suas instalações para coleta de amostras e colaborações prestadas.

Aos senhores José Antônio Nunes da Costa e Francisco Dias da Cunha Júnior, supervisores da indústria, pela colaboração na disposição de informações solicitadas.

À minha amiga Alessandra Luzirene Costa Teófilo, pelas informações cedidas sobre o processo de beneficiamento do índigo têxtil.

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------|------|
| SUMÁRIO | vii |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE TABELAS | xvi |
| LISTA DE SÍMBOLOS | xvii |
| RESUMO | xix |
| ABSTRACT | xx |
| | |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. INTRODUÇÃO | 02 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | |
| 2.1. OBJETIVOS | 06 |
| 2.2. JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DO TRABALHO | 06 |
| | |
| CAPÍTULO 3 | |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 09 |
| 3.1. Processamento da Produção Têxtil | 09 |
| 3.1.1. Matéria-prima | 09 |
| 3.1.2. Fiação | 11 |
| 3.1.3. Engomagem | 11 |
| 3.1.4. Tecelagem | 13 |
| 3.1.5. Chamuscagem | 13 |
| 3.1.6. Beneficiamento | 13 |
| 3.1.6.1. Processo de tingimento básico (geral) | 14 |
| | vii |

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.1. Potencial Hidrogeniônico (pH) | 77 |
| 5.3.2. Temperatura | 79 |
| 5.3.3. Condutividade Elétrica | 81 |
| 5.3.4. Oxigênio Dissolvido | 85 |
| 5.3.5. Alcalinidade Total | 87 |
| 5.3.6. Turbidez | 91 |
| 5.3.7. Cor | 96 |
| 5.3.8. Sólidos Totais | 101 |
| 5.3.9. Sólidos Suspensos Totais | 105 |
| 5.3.10. DQO | 107 |
| 5.3.11. Metais Pesados | 114 |
| 5.4. Comparação dos Resultados com a Resolução n.º357/2005 – CONAMA | 134 |
| 5.5. Resultados das Eficiências Globais | 135 |
| CAPÍTULO 6 | |
| 6. CONCLUSÕES | 138 |
| CAPÍTULO 7 | |
| 7. CONSIDERAÇÕES EXTRAS | 143 |
| 7.1. Limitações da Pesquisa | 143 |
| 7.2. Sugestão de Reaproveitamento de água | 143 |
| 7.3. Sugestões para trabalhos futuros | 143 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 145 |
| ANEXOS | 154 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Despejos provenientes do processamento de tecidos de algodão e sintéticos | 10 |
| Figura 2 – Máquina de tingimento de fios (índigo) | 20 |
| Figura 3 – Processo de beneficiamento do índigo têxtil da indústria em estudo | 22 |
| Figura 4 – Seqüência dos processos utilizados na ETE da indústria em estudo | 53 |
| Figura 5 – Distribuição dos pontos de coleta na indústria | 55 |
| Figura 6 – Interrelações de sólidos encontrados em águas e efluentes | 65 |
| Figura 7 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração do pH | 78 |
| Figura 8 – Variação Temporal do pH | 78 |
| Figura 9 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Temperatura | 80 |
| Figura 10 – Variação Temporal da Temperatura | 80 |
| Figura 11 - Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Condutividade Elétrica | 82 |
| Figura 12 – Variação Temporal da Condutividade Elétrica | 82 |
| Figura 13 - Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Condutividade Elétrica no ponto P1 | 83 |
| Figura 14 – Variação Temporal da Condutividade Elétrica no ponto P1 | 83 |
| Figura 15 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Condutividade Elétrica no ponto P6 | 84 |
| Figura 16 – Variação Temporal da Condutividade Elétrica no ponto P6 | 84 |
| Figura 17 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de Oxigênio Dissolvido | 86 |
| Figura 18 – Variação Temporal de Oxigênio Dissolvido | 86 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 19 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de Alcalinidade Total | 88 |
| Figura 20 – Variação Temporal de Alcalinidade Total | 88 |
| Figura 21 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Alcalinidade Total no ponto P1 | 89 |
| Figura 22 – Variação Temporal da Alcalinidade Total no ponto P1 | 89 |
| Figura 23 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Alcalinidade Total no ponto P6 | 90 |
| Figura 24 – Variação Temporal da Alcalinidade Total no ponto P6 | 90 |
| Figura 25 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Turbidez | 92 |
| Figura 26 – Variação Temporal da Turbidez | 92 |
| Figura 27 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Turbidez no ponto P1 | 93 |
| Figura 28 – Variação Temporal da Turbidez no ponto P1 | 93 |
| Figura 29 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Turbidez no ponto P2 | 94 |
| Figura 30 – Variação Temporal da Turbidez no ponto P2 | 94 |
| Figura 31 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração da Turbidez no ponto P6 | 95 |
| Figura 32 – Variação Temporal da Turbidez no ponto P6 | 95 |
| Figura 33 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Cor | 97 |
| Figura 34 – Variação Temporal da Cor | 97 |
| Figura 35 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Cor no ponto P1 | 98 |
| Figura 36 – Variação Temporal da Cor no ponto P1 | 98 |
| Figura 37 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Cor no ponto P2 | 99 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 38 – Variação Temporal da Cor no ponto P2 | 99 |
| Figura 39 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Cor no ponto P6 | 100 |
| Figura 40 – Variação Temporal da Cor no ponto P6 | 100 |
| Figura 41 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de Sólidos Totais | 102 |
| Figura 42 – Variação Temporal de Sólidos Totais | 102 |
| Figura 43 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de Sólidos Totais no ponto P1 | 103 |
| Figura 44 – Variação Temporal de Sólidos Totais no ponto P1 | 103 |
| Figura 45 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de Sólidos Totais no ponto P4 | 104 |
| Figura 46 – Variação Temporal de Sólidos Totais no ponto P4 | 104 |
| Figura 47 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de Sólidos Suspensos Totais | 106 |
| Figura 48 – Variação Temporal de Sólidos Suspensos Totais | 106 |
| Figura 49 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO | 108 |
| Figura 50 – Variação Temporal de DQO | 108 |
| Figura 51 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P1 | 109 |
| Figura 52 – Variação Temporal de DQO no ponto P1 | 109 |
| Figura 53 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P3 | 110 |
| Figura 54 – Variação Temporal de DQO no ponto P3 | 110 |
| Figura 55 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P4 | 111 |
| Figura 56 – Variação Temporal de DQO no ponto P4 | 111 |
| Figura 57 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P6 | 112 |
| Figura 58 – Variação Temporal de DQO no ponto P6 | 112 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 59 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P8 | 113 |
| Figura 60 – Variação Temporal de DQO no ponto P8 | 113 |
| Figura 61 – Variação Temporal de MP (Cádmio) no ponto P1 | 117 |
| Figura 62 – Variação Temporal de MP (Chumbo) no ponto P1 | 117 |
| Figura 63 – Variação Temporal de MP (Zinco) no ponto P1 | 118 |
| Figura 64 – Variação Temporal de MP (Ferro) no ponto P1 | 118 |
| Figura 65 – Variação Temporal de MP (Cobre) no ponto P1 | 119 |
| Figura 66 – Variação Temporal de MP (Manganês) no ponto P1 | 119 |
| Figura 67 – Variação Temporal de MP (Prata) no ponto P1 | 120 |
| Figura 68 – Variação Temporal de MP (Níquel) no ponto P1 | 120 |
| Figura 69 – Variação Temporal de MP (Cromo) no ponto P1 | 121 |
| Figura 70 – Variação Temporal de MP no ponto P1 | 121 |
| Figura 71 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de MP ponto P1 | 122 |
| Figura 72 – Variação Temporal de MP (Cádmio) no ponto P7 | 122 |
| Figura 73 – Variação Temporal de MP (Chumbo) no ponto P7 | 123 |
| Figura 74 – Variação Temporal de MP (Zinco) no ponto P7 | 123 |
| Figura 75 – Variação Temporal de MP (Ferro) no ponto P7 | 124 |
| Figura 76 – Variação Temporal de MP (Cobre) no ponto P7 | 124 |
| Figura 77 – Variação Temporal de MP (Manganês) no ponto P7 | 125 |
| Figura 78 – Variação Temporal de MP (Prata) no ponto P7 | 125 |
| Figura 79 – Variação Temporal de MP (Níquel) no ponto P7 | 126 |
| Figura 80 – Variação Temporal de MP (Cromo) no ponto P7 | 126 |
| Figura 81 – Variação Temporal de MP no ponto P7 | 127 |
| Figura 82 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de MP ponto P7 | 127 |
| Figura 83 – Variação Temporal de MP (Cádmio) no ponto P8 | 128 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 84 – Variação Temporal de MP (Chumbo) no ponto P8 | 128 |
| Figura 85 – Variação Temporal de MP (Zinco) no ponto P8 | 129 |
| Figura 86 – Variação Temporal de MP (Ferro) no ponto P8 | 129 |
| Figura 87 – Variação Temporal de MP (Cobre) no ponto P8 | 130 |
| Figura 88 – Variação Temporal de MP (Manganês) no ponto P8 | 130 |
| Figura 89 – Variação Temporal de MP (Prata) no ponto P8 | 131 |
| Figura 90 – Variação Temporal de MP (Níquel) no ponto P8 | 131 |
| Figura 91 – Variação Temporal de MP (Cromo) no ponto P8 | 132 |
| Figura 92 – Variação Temporal de MP no ponto P8 | 132 |
| Figura 93 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da Concentração de MP ponto P8 | 133 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Aditivos utilizados no processo de tingimento | 16 |
| Tabela 2 – Concentração de alguns metais encontrados em algumas classes de corantes por tipo de fibra | 25 |
| Tabela 3 – Resumo de técnicas de remoção da cor | 26 |
| Tabela 4 – Diagrama geral dos processos de tratamento de águas residuárias | 31 |
| Tabela 5 – Tipos de tratamentos para determinados contaminantes | 34 |
| Tabela 6 – Padrões para recebimentos de efluentes no sistema de tratamento de efluentes líquidos do Distrito Industrial de Natal – SITEL-DIN | 44 |
| Tabela 7 - Alguns parâmetros inorgânicos característicos dos corpos receptores classe 2 da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA – Art.14º | 48 |
| Tabela 8 – Algumas condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA – Art. 34º | 49 |
| Tabela 9 – Estatística básica P1 (Água Natural) | 72 |
| Tabela 10 – Estatística básica P2 (Lavagem) | 73 |
| Tabela 11 – Estatística básica P3 (Tingimento) | 73 |
| Tabela 12 – Estatística básica P4 (Engomagem) | 74 |
| Tabela 13 – Estatística básica P5 (Amaciamento) | 74 |
| Tabela 14 – Estatística básica P6 (Sanforizadeira) | 75 |
| Tabela 15 – Estatística básica P7 (Afluente) | 75 |
| Tabela 16 – Estatística básica P8 (Efluente) | 76 |
| Tabela 17 – Apresentação dos resultados de comparação entre redução e aumento nos valores de MP dos pontos P7 e P8 | 115 |
| Tabela 18 – Resultados das eficiências globais no pré-tratamento | 135 |

LISTA DE SÍMBOLOS

ARSBAN – Agência Reguladora de Serviços de Saneamento Básico do município de Natal

BRASECO – Empresa operadora do Aterro Sanitário da Região Metropolitana de Natal

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

CE – Condutividade Elétrica

CT – Coliformes Termotolerantes

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

COMSAB – Conselho Municipal de Saneamento Básico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EDTA – Etileno diamina tetra acetato

Ef – Eficiência Global

EPA – Environmental Protection Agency

ETE – Estação de Tratamentos de Efluentes

ETA – Estação de Tratamento de Águas

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente

LARHISA – Laboratório de Recurso Hídricos e Saneamento Ambiental

MP – Metais Pesados

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial hidrogeniônico

PVA – Álcool polivinílico

SITEL-DIN – Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos do Distrito Industrial de Natal

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SST – Sólidos Suspensos Totais

ST – Sólidos Totais

T – Temperatura

TAC – Termo de Ajustamento de conduta

RESUMO

A grande diversidade das atividades industriais têxteis ocasiona, durante o processo produtivo, a geração de efluentes com características bastante complexas, variando de acordo com o tipo de processo industrial utilizado. O presente trabalho tem como objetivo principal a caracterização do efluente líquido de uma indústria de beneficiamento do índigo têxtil, localizada no Distrito Industrial de Natal-RN, para conhecermos a carga contaminante de cada etapa do processo e o enquadramento do efluente final com os padrões de recebimento do Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos do Distrito Industrial de Natal – SITEL-DIN, operado pela Companhia de Águas e Esgotos do RN – CAERN. Analisou-se as seguintes propriedades e agentes poluentes: temperatura, pH, alcalinidade, cor, DQO, sólidos totais, sólidos suspensos totais, metais pesados, coliformes termotolerantes, turbidez, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Como conclusão destaca-se que o efluente final não obteve resultados satisfatórios, segundo comparações com outras fontes, em apenas três parâmetros: turbidez, oxigênio dissolvido e Condutividade elétrica, porém nenhum desses parâmetros são critérios de recebimentos do SITEL-DIN, portanto o efluente final se encontra dentro da normalidade. Após a análise dos resultados observamos ser indispensável à existência do SITEL-DIN para tratamento final dos efluentes da indústria.

PALAVRAS CHAVES: Efluente têxtil - Tratamento - Carga poluidora - Índigo Têxtil

ABSTRACT

The great diversity of the textile industries activities causes the formation of wastewaters with high complex characteristics during the productive process, according to the industrial process used. The principal aim of the present work is the characterization of the wastewater from the textile industry that process the indigo, located in the Industrial District of Natal-RN, to know the contaminante load of each stage of the process and the framing of the wastewater with the standards of act of receiving of the System of Treatment of Wastewater of the Industrial District of Natal-RN – SITEL-DIN, operated for the Company of Waters and Sewers of the RN – CAERN. It was analyzed the following properties and pollutants agents: temperature; pH; alcalinity; color; COD (Chemical Oxygen Demand); total and suspended solids; heavy metals, thermotolerants coliformes, turbidity, dissolved oxygen and electrical conductivity. As conclusion it is distinguished that the wastewater did not get resulted satisfactory, according to comparisons with other sources, in only three parameters: turbidity, dissolved oxygen and electrical conductivity, however none of these parameters is criteria of acts of receiving of the SITEL-DIN, therefore the wastewater if finds inside of normality. After the analysis of the obtained results it was verified that SITEL-DIN is indispensable for completing the wastewater treatment.

KEY WORDS: Textile effluent - Treatment - Load polluting - Indigo Textile

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Atualmente, mais de um terço do planeta se encontra em situação de escassez quantitativa e qualitativa de recursos hídricos, seja por condições climáticas e/ou principalmente pela poluição das águas superficiais e subterrâneas, surgindo então à necessidade de implementação de sistemas que visem reciclar esses efluentes, preservando, ao máximo, o meio-ambiente (Brito, 1999).

Embora o Brasil possua 8% das reservas de água doce do planeta, 70% desta reserva hídrica se concentram na Amazônia (Peres e Abrahão, 1998). A região Nordeste, especialmente, tem sofrido por muitos anos pela falta de água.

A indústria é uma das atividades econômicas que mais utiliza água em seus processos, gerando os mais diversos tipos de contaminantes, conforme sua característica. Pioneiro na industrialização do Brasil, o setor têxtil ocupa lugar de destaque na economia nacional, gerando milhões de empregos na atividade secundária.

A indústria têxtil é uma das maiores consumidoras de água, variando entre 120 a 180 litros por metro de tecido acabado, porque esta substância serve como meio de transporte para os produtos químicos adicionados aos processos, como também na remoção do excesso dos produtos indesejáveis impregnados no fio ou tecido.

A indústria têxtil caracteriza-se por seus altos volumes de efluentes gerados e pela alta carga poluidora, sendo que 90% dos produtos químicos utilizados no beneficiamento têxtil são eliminados após cumprirem seus objetivos (Silva Filho, 1994).

As características dos efluentes industriais geralmente são bastante complexas e variam essencialmente com o tipo de atividade e com o processo industrial utilizado. Em particular, na indústria têxtil, existem diferenças nas caracterizações desses efluentes devido aos diferentes tipos de fibras utilizados nas confecções de fios ou tecidos, ou seja, para cada tipo de fibra utilizado, têm um tipo de efluente, cada um com suas próprias características.

A grande diversidade das atividades industriais ocasiona durante o processo produtivo, a geração de efluentes, os quais podem poluir/contaminar o solo e a água, sendo preciso observar que nem todas as indústrias geram efluentes com poder impactante nesses dois ambientes. Em um primeiro momento, é possível imaginar serem simples os procedimentos e atividades de controle de cada tipo de efluente na indústria. Todavia, as diferentes composições físicas, químicas e biológicas, as variações de volumes gerados em relação ao tempo de duração do processo produtivo, a potencialidade de toxicidade e os diversos pontos de geração na mesma unidade de processamento recomendam que os efluentes sejam caracterizados, quantificados e tratados e/ou acondicionados, adequadamente, antes da disposição final no meio ambiente.

Portanto, faz-se necessário controlar os efluentes líquidos industriais e em particular do setor têxtil, devido aos grandes volumes gerados e em função de que estes despejos são constituídos de substâncias que oferecem grandes riscos à qualidade ambiental, entre as quais se destacam: corantes, ácidos, álcalis, agentes tensoativos, e outros produtos químicos utilizados principalmente no processo de tingimento.

Este trabalho está baseado na caracterização do efluente de uma indústria têxtil, em suas diversas etapas de tingimento de fios. A empresa está localizada no Distrito industrial de Natal, composta de Fiação (algodão), Tingimento de Fios, Tecelagem e Acabamento Final, com produção mensal de tecido acabado em torno de 1.400.000 metros, e produção mensal de fio tingido (máquina índigo) de 1.890.000 metros.

Na caracterização definimos os parâmetros de pH, temperatura, alcalinidade total, cor, turbidez, DQO, metais pesados, condutividade elétrica, Sólidos Totais e Suspensos, coliformes termotolerantes e oxigênio dissolvido para monitoramento de oito pontos durante doze semanas, baseando-se no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”.

Essa caracterização teve por finalidade o conhecimento da carga contaminante de cada etapa do processo de beneficiamento do índigo têxtil, como também o enquadramento nos critérios de recebimento de efluentes industriais que são tratados no sistema de tratamento de efluentes líquidos do Distrito Industrial de Natal (SITEL-DIN), operado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Este estudo está dividido da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução geral do tema desenvolvido;
- Capítulo 2 – Apresenta o objetivo e justificativas do presente trabalho;
- Capítulo 3 – Trata da revisão bibliográfica relacionada ao processamento têxtil, tipos de tratamentos e os critérios de recebimentos e lançamentos de efluentes;
- Capítulo 4 – É apresentada a metodologia e matérias utilizados para parte experimental do estudo;
- Capítulo 5 – Apresenta a análise discussão dos resultados obtidos;
- Capítulo 6 – Trata das conclusões encontradas após análises dos resultados;
- Capítulo 7 – Apresenta algumas considerações extras como limitações da pesquisa, sugestões de trabalhos futuros e de reaproveitamento da água;
- Referências Bibliográficas e Anexos - Apresentada no final do trabalho.

CAPÍTULO 2
OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS

2.1. OBJETIVO

A pesquisa tem como objetivo principal caracterizar o efluente líquido em cada processo do beneficiamento do índigo têxtil, visando conhecer suas características físico-químicas e microbiológicas, objetivando o enquadramento nos critérios de recebimento de efluentes industriais que são tratados no sistema de tratamento de efluentes líquidos do Distrito Industrial de Natal (SITEL-DIN), operado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

2.2. JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Em 16 de setembro de 2004, o Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte, através da 45ª Promotoria de Justiça de Defesa do Meio Ambiente, e a Companhia de Águas e Esgotos do RN (CAERN) firmaram um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) visando à implementação do projeto do Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos (SITEL), localizado no Distrito Industrial de Natal (DIN) e do emissário de disposição do efluente final no estuário do Rio Potengi/Jundiaí.

Este TAC prevê, entre outros aspectos:

- que o efluente final do SITEL deve ser lançado no estuário atendendo aos critérios estabelecidos pela Resolução N.º 20/1986 – CONAMA para lançamento de efluentes em corpos receptores;
- que efluentes, mesmo tratados, não poderiam ser lançados no Riacho Golandim, que se encontrava na época com elevado nível de degradação ambiental;

- que o SITEL, operado pela CAERN, não pode receber efluentes industriais fora dos padrões estabelecidos nas licenças ambientais emitidas pelo IDEMA para as indústrias que utilizam o SITEL.

Depois deste TAC, a citada promotoria firmou outros termos de ajustamento de conduta com cada uma das indústrias, visando estabelecer critérios de lançamento dos efluentes industriais pré-tratados no SITEL-DIN e, sobretudo, oferecer condições operacionais adequadas ao sistema, para que alcancem eficiência de tratamento que possibilite o lançamento do efluente final com características adequadas à capacidade suporte do corpo receptor (estuário dos Rios Jundiá e Potengi).

A importância da caracterização realizada no presente trabalho de pesquisa, reside na verificação se os critérios de lançamentos dos efluentes pré-tratados da indústria têxtil pesquisada estão sendo atendidos. Isto permitirá a recuperação ambiental definitiva do Riacho Golandim e a preservação dos atuais corpos receptores.

CAPÍTULO 3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PROCESSAMENTO DA PRODUÇÃO TÊXTIL

A indústria têxtil é um dos mais significativos consumidores de produtos químicos. Estes são aplicados na fabricação de fibras sintéticas, naturais e como auxiliares no beneficiamento (Peres & Abrahão, 1998).

O processamento têxtil caracteriza-se basicamente por Fiação, Tecelagem e Acabamento. Existem operações que são apenas mecânicas, não gerando efluentes. As etapas que se produzem efluentes num processamento básico de uma indústria têxtil são: tingimento, engomagem, desengomagem, purga, alveamento, mercerização, estamparia, tinturaria e acabamentos finais, conforme podemos visualizar na figura 1.

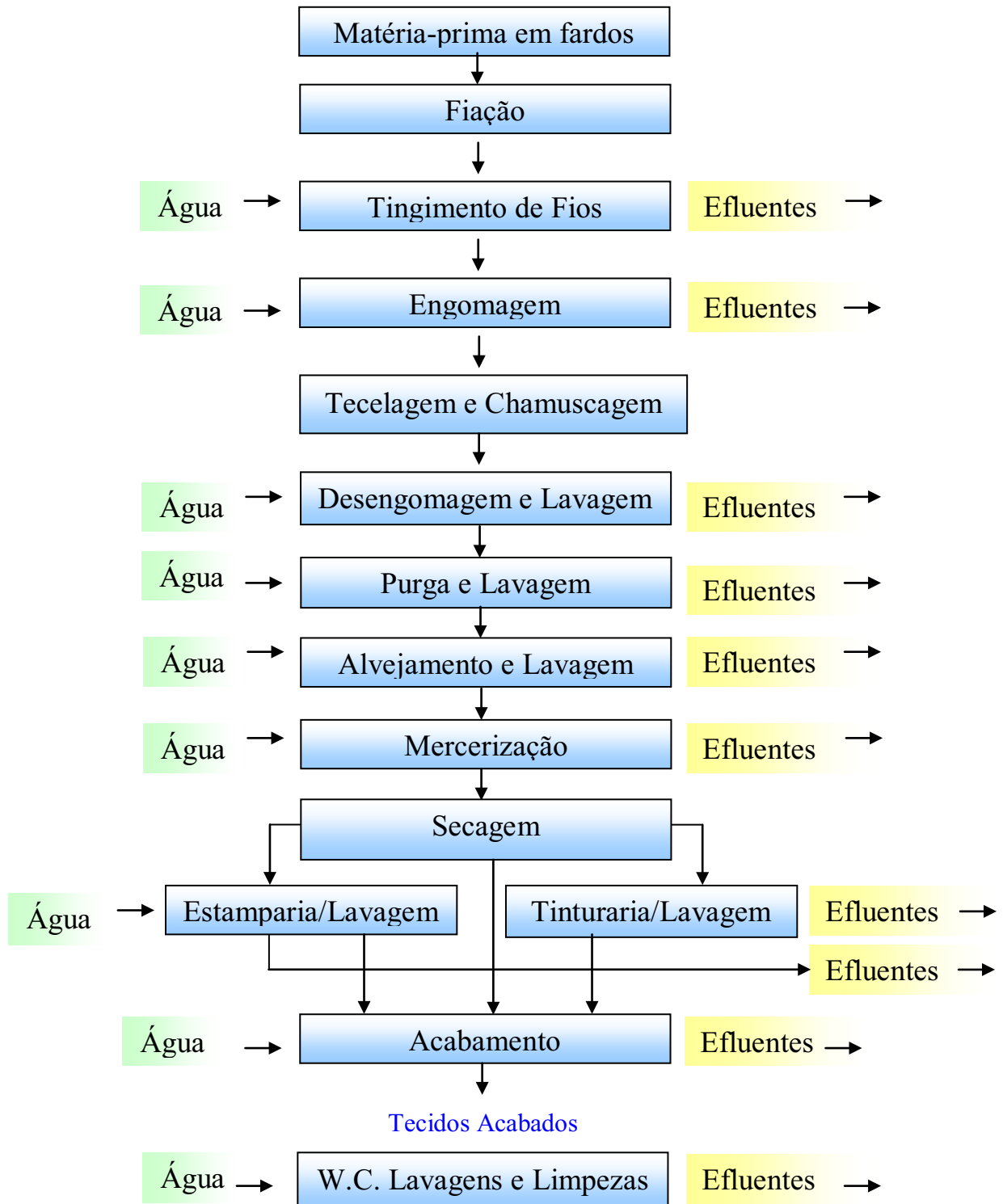
A indústria têxtil possui diversas etapas em seu processo industrial, que vão desde a preparação da matéria-prima em fardos até o acabamento do tecido propriamente dito. A seguir, apresentam-se as diversas etapas do processo industrial têxtil, dispostas de forma ordenada.

3.1.1. Matéria-prima

A matéria-prima utilizada nas indústrias têxteis do Nordeste em maior quantidade é o algodão, que chega sob a forma de fardos, e se encontra fortemente comprimido e intimamente misturado a restos de folhas e à cápsula que o continha, sementes ou partes de sementes, impurezas terrosas, etc.

Na confecção dos fardos, o algodão encontra-se aglomerado sob a forma de emaranhados de fibras irregulares, umas maiores e outras de menores dimensões, o que não facilitará a limpeza individual das impurezas existentes no algodão, sendo os fardos

submetidos a processos de industrialização para que possam ser submetidos à fiação (Araújo & Castro, 1986).



Fonte: Braile e Cavalcanti, 1993

Figura 1 – Despejos provenientes do processamento de tecidos de algodão e sintéticos

3.1.2. Fiação

Entende-se por fiação o conjunto das operações necessárias à transformação de fibras têxteis em fios.

O processo de fiação completo pode compreender três aspectos que podem ou não coexistir simultaneamente (Araújo e Castro, 1986):

- limpeza, abertura e homogenização da matéria-prima;
- regularização e redução da massa por unidade de comprimento;
- coesão da massa fibrosa linear.

Na fiação, a matéria-prima já preparada será reduzida à finura final previamente fixada, obtendo ainda a consistência necessária à sua utilização posterior através da aplicação de torção.

Existem duas maneiras de se produzir o fio de algodão: pelo processo do fio cardado e pelo processo do fio penteado.

3.1.3. Engomagem

Na tecelagem, os fios estão sujeitos a esforços intensos, o que provocaria elevado número de ruptura nos fios se não introduzisse um produto de proteção que aumenta a resistência dos fios. Trata-se da engomagem.

A engomagem consiste na impregnação e revestimento dos fios de urdume com substâncias adesivas, formando um filme. Sua finalidade é aumentar a resistência mecânica dos fios, resistindo aos esforços nos teares, resultando em um tecido mais incorporado na etapa da confecção. A maior adesão entre as fibras torna o fio mais liso, sem fibras projetadas, diminuindo as tensões e atritos sofridos. Na engomagem, os deságües são intermitentes e se

devem à lavagem dos cozinhadores de goma e dos foulards da engomadeira. Embora a goma apresente uma DBO elevada, a quantidade expulsa é muito reduzida, comparando-se com a carga e quantidade de efluentes gerados no beneficiamento (Beltrame, 2000).

A engomagem baseia-se na utilização de gomas que são próprias para cada tipo de fio. Normalmente, são utilizados dois tipos básicos de goma: a goma de fécula de mandioca e as gomas sintéticas, à base de poli-acrilato, carboximetilcelulose e álcool polivinílico. Os fios são engomados a uma temperatura média de 100°C, através de processos contínuos ou por imersão (Martins, 1997).

De modo geral, a goma deve ter (Alcântara e Daltin, 1996):

- Boa fluidez;
- Bom poder de penetração;
- Poder de adesão à fibra;
- Poder de coesão;
- Boa capacidade de formação de película;
- Poder lubrificante sobre os fios engomados;
- Elasticidade e resistência à ruptura;
- Resistência à abrasão;
- Flexibilidade e maleabilidade;
- Razoável higroscopicidade;
- Resistência ao mofo;
- Facilidade de remoção;
- Custo econômico.

A engomagem dos fios de urdume é feita em equipamentos onde os fios são desenrolados e mergulhados em banho contendo a goma. Na saída, os fios passam por rolos aquecidos para retirar o excesso de goma e serem secos (Beltrame, 2000).

3.1.4. Tecelagem

A Tecelagem é a operação que transforma os fios em tecidos propriamente dito, e é usualmente uma operação seca. No entanto, há teares que empregam jatos d'água como sistema de inserção de trama e geralmente trabalham no processamento de fios sintéticos (Peres e Abrahão, 1998).

Existem três tipos de tecelagem: tecelagem de tecido plano, tecelagem de tecido de malha e de tecidos não tecidos.

3.1.5. Chamuscagem

De acordo com Martins (1997), a chamuscagem é o processo de queima da penugem do pano, obtida pelo contato do mesmo com a chama direta. Esta etapa é subsequente à tecelagem e não gera efluente, assim como a tecelagem.

3.1.6. Beneficiamento

É durante o beneficiamento que são gerados os efluentes têxteis, objeto deste trabalho.

O beneficiamento reúne as etapas de transformação do tecido quanto à aparência, aumento da resistência, toque, capacidade de absorção de água, etc. Estas etapas variam bastante, mas em geral são: pré-tratamento, tingimento, estamparia e acabamento final.

De acordo com a indústria em estudo, trataremos apenas das etapas de tingimento e acabamento final, que são etapas características do beneficiamento do índigo têxtil, embora o tingimento nesse processo em estudo seja de fios e não de tecido.

3.1.6.1. Processo de Tingimento básico (geral)

Tingimento é a técnica de proporcionar cor aos substratos mediante corantes e pigmentos por uma seleção de acordo com exigência ou finalidade em questão. É uma modificação físico-química do substrato de forma que a luz refletida provoque uma percepção de cor. Os produtos que provocam estas modificações são denominados matérias corantes.

Matérias corantes são compostos orgânicos capazes de colorir substrato têxtil ou não têxtil, de forma que a cor seja relativamente sólida à luz e a tratamentos úmidos. Na indústria têxtil são classificados (Freitas et al, 2002):

- Corantes – utilizados em tinturaria, são solúveis ou dispersáveis no meio. No tingimento são adsorvidos e se difundem para o interior da fibra. Há interações físico-químicas entre corante e fibra.
- Pigmentos – utilizados em estamparia, são insolúveis no meio, sendo aplicados e fixados por meio de resinas sintéticas (pastas de estampar).

As etapas do processo de tingimento são selecionadas de acordo com a natureza têxtil da fibra, classificação e disponibilidade do corante a ser empregado, propriedades de fixação do material a ser tingido assim como dos equipamentos a serem utilizados na tinturaria.

Devido à natureza química dos produtos utilizados no processo de tingimento, o efluente gerado na tinturaria possui uma difícil identificação por tipos genéricos. Os corantes utilizados são, de maneira geral, pequenas moléculas que possuem dois componentes principais: o cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional, que une o corante à fibra.

Por sua vez, os corantes residuais, formados nos efluentes, ligados aos auxiliares químicos, tanto orgânicos como inorgânicos, são os responsáveis pela cor, sólidos dissolvidos e os altos valores de DQO e DBO nos efluentes de tingimento. Dessa forma, as características desses efluentes dependem também dos corantes utilizados, da fibra têxtil e do método de tingimento empregado no processo (Peres e Abrahão, 1998).

Num tingimento, devemos considerar os seguintes fatores:

- Material a tingir;
- Corante;
- Água;
- Produtos auxiliares;
- Maquinaria;
- Fatores humanos e econômicos.

O material a tingir é muito importante em todo o processo de tingimento. As fibras constituintes restringem à partida a gama de corantes possíveis. Por outro lado, a contextura, o título e a torção dos fios, bem como particularmente o tratamento prévio realizado são fatores determinantes no resultado obtido. Grande parte dos defeitos verificados após tingimento deve na realidade ser imputados ao material a tingir (Araújo e Castro, 1987).

O alto grau de adsorção é função de vários fatores como tempo, temperatura, pH e auxiliares químicos. Entre os auxiliares químicos, os tensoativos têm especial importância. Pode vir misturados ao corante na forma líquida para facilitar a dispersão do corante insolúvel, ou serem usados para homogenizar, apressar a umectação, etc. A tabela 1 mostra uma lista dos produtos auxiliares de tingimento mais utilizados (Beltrame, 2000).

Os metais pesados são outros compostos provenientes principalmente do efluente do tingimento, que podem ser originados da própria molécula do corante, como é o caso do

cromo nos corantes ácidos, ou do cobre, nos corantes diretos, podendo, também, ser originários de outros materiais utilizados no processo.

TABELA 1 – Aditivos utilizados no processo de tingimento

| PRODUTO | FUNÇÃO | BASE QUÍMICA |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| UMECTANTES | Homogeniza e acelera a hidrofiliidade do tecido evitando diferentes tempos de contato de regiões de fibras com a solução de corante, provocando manchas. | Nonilfenol etoxilado Ácidos graxos etoxilados |
| ANTIESPUMANTES | Evita o transbordamento do banho de corante pela formação de espuma em máquinas de alta agitação. | Emulsões de silicone Hidrocarbonetos alifáticos |
| UMECTANTES DE BAIXA ESPUMA | Evita a formação de espuma sem a necessidade de antiespumantes. | Álcool graxo etoxilado e propoxilado |
| SEQUESTRANTES | Evita que altos teores de metais na água precipitem os corantes ou manchem os tecidos. | Acrilatos Ácidos cítrico EDTA |
| AJUSTADORES DE PH | Ajusta o pH da solução para que ocorra a reação fibra/corante. | Carbonatos (barrilha) Hidróxido de sódio Ácido Acético Ácido sulfúrico Soda |
| ELETRÓLITOS | Aumenta a força iônica do meio facilitando a montagem do corante e diminui a quantidade de corante perdido na solução após o tingimento. | Cloreto de sódio Sulfato de sódio |
| RETARDAMENTO DE MONTAGEM OU IGUALIZANTE | Evita o tingimento muito rápido das partes expostas do tecido, para que com agitação, haja uniformidade no tingimento. | Éteres poliglicólicos Naftaleno sulfonato de sódio Cloreto de sódio Sulfato de sódio |
| DISPERSANTES | Usados para dispersar corantes não solúveis em água. | Tensoativos em geral |
| INSOLUBILIZANTES DE CORANTES | Faz com que o corante solubilizado se torne novamente insolúvel por oxidação. | Peróxido de Hidrogênio Nitrito de Sódio |
| REMOVEDORES DE CORANTES NÃO FIXADOS; SOLUBILIZANTES | Eliminam os corantes não fixados às fibras através da solubilização destes, evitando a formação de manchas por lavagens. | Hidrossulfito de Sódio Sulfeto de Sódio |
| CARRIERS | Facilitam o transporte do corante à fibra aumentando a absorção por inchamento. | Organoclorados |

Fonte: Alcântara e Daltin, 1996; Peres e Abrahão, 1998

O tingimento de fio muito usado é o tingimento em urdume, que pode ser com o urdume em aberto ou em corda. Ambos muito utilizados para o tingimento com corante índigo.

Tipos de processos de tingimento (Araújo e Castro, 1987):

- Processo descontínuo ou por bateladas: Processo indicado para lotes com metragens menores, ou pouca produção. Na mesma máquina podem ser feitos todos os processos de preparação, alvejamento, tingimento e lavagem. Pode ser com o tecido em corda ou aberto, dependendo da máquina usada, sendo as mais comuns do tipo: Barca, Jet, Flow ou Jigger.
- Processo semi-contínuo: Impregnação do tecido com banho de tingimento realizado por Foulard, após esse processo o tecido fica em repouso por algumas horas para a reação do corante e posterior lavagem. Processo conhecido como ‘pad-batch’.
- Processo Contínuo: Indicado para grandes produções e lotes com maior metragem. A reação do corante com a fibra é acelerada com a adição de vapor ou temperatura. Com isso o tecido ou fio pronto para tingir entra na máquina e sai tingido e lavado. Os processos mais comuns para tecido são ‘pad-steam’, com vaporizador, para tecidos de algodão, e, ‘pad-dry’, com circulação de ar-quente (hot-flue), para tecidos sintéticos. Para tingimento de fios, temos como exemplo o processo contínuo da máquina de índigo.

3.1.7. Acabamento Final

O acabamento final tem o objetivo de conferir ao tecido características especiais como: toque mais agradável, resistência ao uso (desgaste e esgarçamento), aumento do brilho,

evitar ataques microbiológicos, entre outros, com a finalidade também de torná-los mais atrativos aos consumidores.

Para isso se utiliza acabamentos mecânicos e químicos, dos quais podemos destacar:

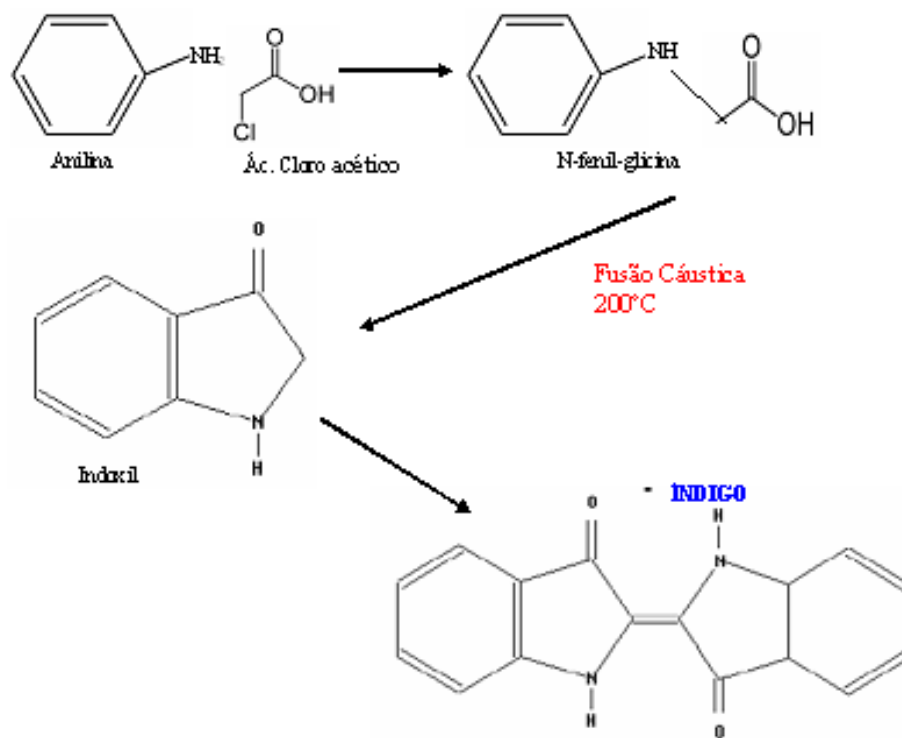
- Aplicação de amaciantes;
- Aplicação de resinas;
- Aplicação de encorpantes, anti-mofos e antiestáticos;
- Utilização de máquinas como a Rama e a Sanforizadeira, que tem como objetivo conferir estabilidade dimensional ao tecido e prevenir seu pré-encolhimento.

3.2. ÍNDIGO TÊXTIL

O nome índigo faz referência a uma planta indiana chamada “indigus”, que continha em sua raiz um corante azul usado, na época, como base para tingimentos nas tribos. Índigo se define como corante em tom de azul e também é o nome dado aos tecidos utilizados para confecção de calças jeans.

O corante índigo era inicialmente de origem vegetal (extraído de plantas), mas posteriormente foi substituído por produtos sintéticos. Foi obtido sinteticamente, em 1880, e a cultura desta planta logo deixou de ser um bom negócio, pois o custo para a sua fabricação era menor do que para seu cultivo e extração (Guaratini e Zanone, 2000).

Em 1880, Karl Heumann descobriu uma rota sintética para um dos corantes naturais mais utilizados: o índigo. Sua síntese envolvia a fusão cáustica da N-fenil-glicina, que podia ser obtida pela reação de ácido cloro acético com a anilina.



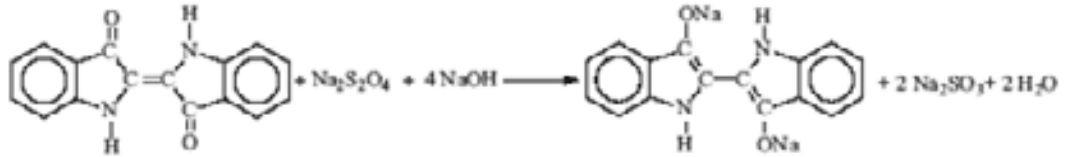
O corante índigo blue é usado no tingimento de fios de algodão empregados na manufatura do tecido conhecido como jeans. É um composto azul escuro que tem ponto de fusão em 390°-392°C, insolúvel na água, no álcool, ou no éter, mas solúvel no clorofórmio, no nitrobenzeno, ou no ácido sulfúrico concentrado. A estrutura química do indigo corresponde à fórmula $C_{16}H_{10}N_2O_2$.

Nas suas vias de síntese usam-se anilina, formaldeído e outros produtos químicos muito tóxicos, que obrigam a medidas de protecção especiais quer para trabalhadores, quer para o meio ambiente.

A característica química deste composto é a presença do grupo cetônico ($C = O$), que é insolúvel em água, mas, quando se altera na forma reduzida ($C - OH$), torna-se solúvel e o corante passa a ter afinidade química pela fibra celulósica.

Na indústria têxtil, o índigo é reduzido à forma leucoíndigo (verde) pelo ditionito de sódio em solução alcalina, para se tornar solúvel em meio aquoso. A forma leuco, por sua vez,

é fixada na fibra pela reoxidação com o ar, regenerando a forma original do corante (azul) sobre a fibra, observado na figura 2 (UFSC,2004).

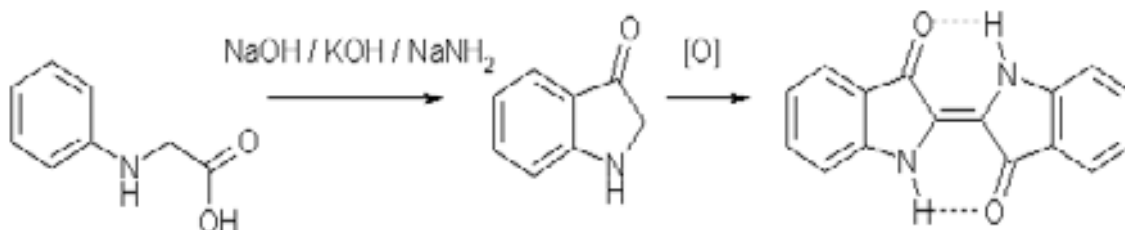


Redução do índigo à leucoíndigo



Figura 2 - Máquina de Tingimento de fios (índigo)

A síntese moderna do índigo é diferente dessa forma usada originalmente e sua descoberta é creditada a Pflieger em 1901. Neste processo, N-fenilglicina é tratado com um derretimento alcalino dos hidróxidos de sódio e de potássio e o amido de sódio. Isto produz o indoxil, que é oxidado subsequentemente no ar ao anil (Guaratini e Zanone, 2000).



Síntese de Pfleger

Cerca de 5 a 20% do corante é perdido no processo de tingimento. Se essa perda for descartada diretamente no meio ambiente, poderá gerar sérios problemas nos processos biológicos aquáticos fundamentais.

O corante índigo não tem muita afinidade com o algodão, por isso o tingimento fica apenas superficial nos fios de urdume, formando em cada fio um anel azul e deixando o núcleo branco. Com isso a solidez do tecido é muito baixa ao atrito, aonde o tecido sofre atrito perdendo no local a sua camada superficial de fibras e com isso a sua cor, podendo ser observado no anexo 1.

Atualmente, estima-se o consumo mundial desse tecido acima de 3 bilhões de metros lineares por ano. Sendo os principais consumidores os Estados Unidos, a Europa e o Japão, representando juntos mais de 65% do consumo mundial. O Brasil é um dos principais produtores desse tipo de tecido do mundo, com uma capacidade instalada de produção acima de 600 milhões de metros lineares por ano.

Na figura 3, temos o fluxograma produtivo do beneficiamento da indústria em estudo que utiliza o corante índigo.

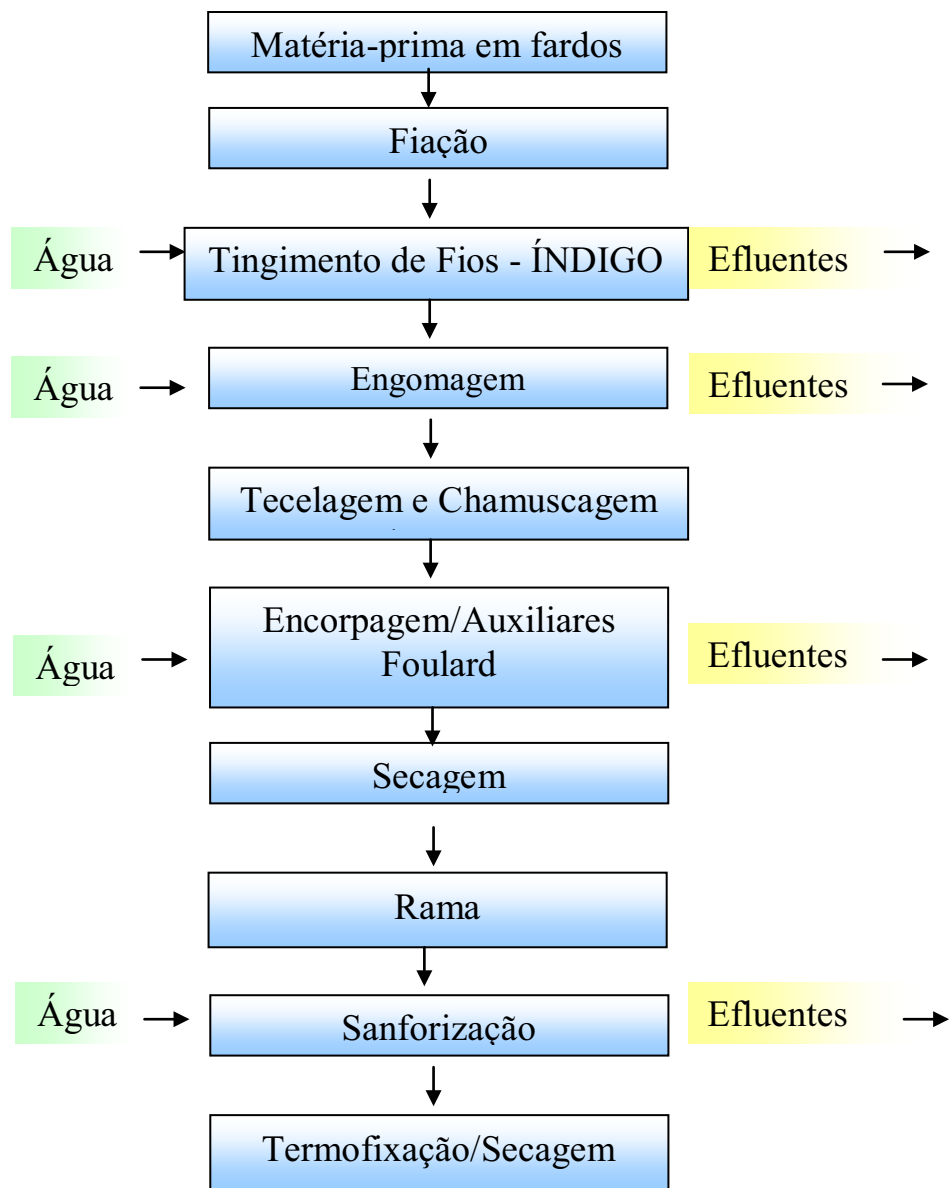


Figura 3 - Processo de Beneficiamento do Índigo Têxtil da indústria em estudo

3.3. A COR NO EFLUENTE TÊXTIL

A cor do efluente têxtil é provocada pelas descargas dos banhos de tingimento e/ou lavagem da indústria têxtil. No caso de um efluente têxtil, a cor é variada e intensa. Os corantes residuais ligados aos auxiliares químicos orgânicos e inorgânicos são responsáveis pela cor, sólidos dissolvidos e altos valores de DQO e DBO. Além da poluição estética, há o impedimento da passagem da luz necessária para a realização da fotossíntese, responsável pela produção de parte do oxigênio necessária para a degradação da matéria orgânica via aeróbica.

A maioria dos corantes não é considerada tóxica por ingestão. De acordo com Lucca Neto (1995), a toxicidade oral é maior que 5000mg/kg, ou seja, um adulto médio deveria ingerir de 1 a 1,5kg de corante para que este tivesse efeito letal. Com raras exceções e em altos níveis de exposição, podem ser tóxicos aos peixes.

Lucca Neto (1995), também afirma que a maioria dos corantes não é bioacumulativo em sistemas naturais ou em tecidos dos organismos. Contudo, alguns corantes que entram no corpo humano podem ser metabolizados, transformando-se em agentes cancerígenos, de acordo com estudos do Instituto Nacional do Câncer, EPA (Environmental Protection Agency) e ETAD (Ecological and Toxicological Association of Dyes and Organic Pigments Manufacturers). Entre estes corantes estão o Direct Blue 1, Vat Yellow, Direct Blak 38, Direct Brown 95, Acid Yellow 114 e Direct Blue15 (Beltrame, 2000).

Os eletrólitos, ácidos e álcalis usados no tingimento contribuem para os teores de sólidos totais, sendo baixos os níveis de SST (sólidos suspensos totais) e de moderados a altos os níveis de SDT (sólidos dissolvidos totais). Isto é bastante evidenciado em tingimentos com corantes reativos, onde são utilizadas altas concentrações de sais e pH entre 12 e 12,5 (Beltrame, 2000).

De acordo com Beltrame (2000), os metais pesados podem ser provenientes da própria molécula do corante, como o cromo no caso de corantes ácidos ou cobre nos corantes diretos, ou serem originários de outros materiais utilizados no processo de tingimento, como o mercúrio presente em vários reagentes químicos ou o cromo proveniente do dicromato de potássio utilizado na oxidação de corantes ao enxofre, conforme tabela 2.

A cor da água colorida industrialmente necessita ser removida antes de ser despejada nos cursos d'água e este é um desafio mundial. Os tratamentos de efluentes existentes são capazes de remover apenas parte da cor, restando sempre um residual que pode variar de acordo com o tratamento aplicado.

Uma das alternativas para a eliminação dos corantes nos efluentes seria a transferência de todo o corante presente no banho de tingimento para a fibra. Isto ainda não é possível, embora existam produtos e métodos em que o corante pode alcançar uma taxa de fixação em algodão superior a 90%, como os corantes reativos em processo de pad-batch a frio (Horstmann, 1995).

De acordo com Cooper (1993), várias pesquisas demonstram que a cor é reduzida a níveis aceitáveis com este tipo de tratamento. Kermer e Richter (1995), apontam redução da cor na ordem de 80 a 90% dependendo da classe do corante, mas segundo eles, estes níveis não são aceitáveis, principalmente no caso de corantes complexometálicos cuja cor residual está relacionada com uma concentração de complexos de metais pesados (Beltrame, 2000).

TABELA 2 - Concentração de alguns metais encontrados em algumas classes de corantes por tipo de fibra

| Classe de Corantes | Fibra | Metais | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|------------|------------|-------------|---------------|------------|
| | | Cádmio mg/L | Cromo mg/L | Cobre mg/L | Chumbo mg/L | Mercúrio mg/L | Zinco mg/L |
| Ácidos | Poliamida Lã | 0,02 | 0,08 | 1,43 | 0,21 | 0,38 | 1,39 |
| | | 0,04 | 0,11 | 0,07 | 0,22 | 0,48 | 3,43 |
| Ácidos pré-metalizados | Poliamida | 0,02 | 0,85 | 0,48 | 0,12 | 1,23 | 1,78 |
| Básicos | Lã | 7,5 | 0,21 | 0,05 | 0,10 | 1,53 | 3,10 |
| | Acrílico | 0,03 | 0,03 | 0,09 | 0,12 | 0,39 | 1,06 |
| | Poliéster | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,26 | 0,43 | 0,46 |
| Diretos | Algodão | 0,16 | 0,07 | 12,05 | 0,42 | 1,39 | 0,87 |
| | Viscose | 0,18 | 2,71 | 8,52 | 1,95 | 0,50 | 1,32 |
| Reativos | Algodão | 0,20 | 0,12 | 0,23 | 0,54 | 0,62 | 0,65 |
| Azóicos | Algodão | 0,02 | 0,05 | 0,06 | 0,16 | 1,12 | 2,02 |
| Ao enxofre | Algodão | 0,01 | 0,08 | 0,08 | 0,28 | 1,15 | 0,54 |
| À tina | Algodão | 0,05 | 0,07 | 0,37 | 0,42 | 2,20 | 0,83 |
| Dispersos | Poliéster | 0,02 | 0,04 | 3,93 | 0,15 | 0,50 | 0,66 |
| | Poliamida | 0,05 | 0,10 | 0,16 | 0,18 | 0,99 | 1,53 |
| | Triacetato | 0,02 | 0,14 | 0,08 | 0,15 | 0,58 | 1,00 |

Fonte: Peres e Abrahão, 1998

O processo apresenta algumas desvantagens (Kermer e Richter, 1995):

- Devem ser realizados testes para cada efluente que se queira descolorir para se determinar às condições ótimas de precipitação/floculação. Estes testes são caros e consomem muito tempo;
- O processo produz grande quantidade de lodo;
- O excesso de floculante catiônico, (normalmente utilizado devido às variações do efluente para aumentar a eficiência do tratamento e permitir que moléculas escuras e menos reativas sejam removidas (Cooper, 1993), leva a um alto nível de nitrogênio no efluente. Além disso, são tóxicos para os peixes, pouco biodegradáveis e inibem a nitrificação em plantas de tratamentos biológicos.

Cooper (1993), apresenta um resumo contendo cinco técnicas de remoção da cor, de acordo com a tabela 3.

TABELA 3 - Resumo de técnicas de remoção da cor

| MÉTODO | REMOÇÃO DA COR | CAPACIDADE DE VOLUME | VELOCIDADE | CUSTO | OUTROS FATORES |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------|--------------|----------------------------------------------|
| Carvão ativado | Muito boa | Pequena | Baixa | Alto | Regeneração |
| Membranas | Boa | Grande | Alta | Alto | Limpeza Problemas de disposição |
| Ozônio | Boa | Grande | Média | Alto | Produtos tóxicos Reduz DQO |
| Coagulação/floculação | Boa | Grande | Média/alta | Médio | Remoção do lodo Nitrificação Reduz DQO |

Fonte: Cooper, 1993

A remoção da cor de um efluente têxtil é o maior problema enfrentado pelo setor. A necessidade de um tratamento de baixo custo, simples e eficiente continua e até agora, de acordo com Cooper (1993), esta tecnologia ainda não existe (Beltrame, 2000).

3.4. TRATAMENTO DE EFLUENTES

3.4.1. Redução de fontes contaminantes

Uma das soluções mais aceita pela comunidade é a prevenção, ou seja, a redução máxima de resíduo na sua fonte, dentro de um objetivo econômico. Não gerar resíduo significa deixar de perder matéria-prima e deixar de ter custos adicionais para eliminá-la ou reduzi-la (Beltrame, 2000).

Lagunas e Lis (1998) e CHT (1998), indicam algumas medidas para reduzir as fontes contaminantes de efluentes:

- Eliminar o uso de substâncias tóxicas;
- Seleção dos produtos químicos por sua utilidade, tendo em conta seu impacto ambiental;

- Neutralização dos efluentes com CO₂ ou ácido fórmico, em substituição ao ácido sulfúrico ou acético, o que reduz a DQO;
- Utilização da mínima quantidade possível de produtos químicos compatíveis com a qualidade desejada;
- Redução das relações de banho;
- Recuperação dos agentes de engomagem como PVA e acrilatos;
- Recuperação de corantes;
- Utilização de corantes com elevado índice de esgotamento;
- Alvejamento com peróxidos em substituição aos compostos de cloro;
- Recuperação do NaOH da mercerização.
- Uso de lavadoras contínuas de longo tempo de reação, para que os tensoativos possam ser reduzidos;
- Uso de equipamentos de impregnação com conteúdo mínimo de banho, para que não haja sobra de banho;
- Reciclar os banhos em processos descontínuos, por exemplo, o último banho do enxágüe será o primeiro banho de uma nova partida;
- Empregar a automação – como a dosagem computadorizada – que permite uma receita específica para o artigo e conseqüente dimensionamento do volume de água do enxágüe.

Algumas destas medidas são simples e não requerem inversão em equipamentos, apenas estudos. Outras deverão ser analisadas economicamente, pois requerem investimentos em equipamentos, manutenção e pessoal (Beltrame, 2000).

3.4.2. Reciclagem

O uso excessivo de água nas lavagens, manutenção precária e mesmo equipamentos para lavagens ineficientes, com ciclos excessivamente longos e a não recirculação em nenhum ponto do processo são problemas que, se corrigidos, podem reduzir em 25% o consumo de água da indústria (Sanin, 1997).

A reciclagem dos resíduos das matérias-primas utilizadas na indústria tem sido alvo não apenas de aspectos ecológicos, mas econômicos. A recirculação da água é economicamente viável, mesmo para empresas que têm suas próprias fontes de captação, pois um volume excessivo de água representa um acréscimo de energia desnecessário e também maior volume do efluente a ser tratado (Beltrame, 2000).

Braile e Cavalcanti (1993), indicam alguns recursos frequentemente utilizados para se obter a redução do volume dos despejos: lavagem em contra-corrente; recirculação da mesma águas várias vezes antes de descarregá-la (como por exemplo águas de lavagem de um tingimento podem ser usadas para completar uma nova solução de tingimento) e substituição de processos descontínuos por processos contínuos (que requerem também menos substâncias químicas). Sanin (1997), ainda acrescenta o uso de sistema de contra-corrente e métodos mais modernos, como a utilização de sistemas de impregnação de alta adição que reduz as sobras de banho residual (normalmente de 50 a 1000 L para 10 a 40 litros), otimização do volume de banho residual através de dispositivos de medição e controle, e software que administra as informações.

Sempre que se emprega a recirculação da água, é conveniente tratá-la por sedimentação e/ou filtração no final de cada reciclagem, visando melhorar sua qualidade (Braile e Cavalcanti, 1993). Isto permite também a recuperação de energia (calor) e produtos

químicos, eliminando a possibilidade de que produtos químicos incompatíveis oriundos de processos separados se misturem num sistema comum de reciclagem (Beltrame, 2000)

A recuperação de corantes também pode ser obtida por ultrafiltração, de acordo Sanin (1997), que considera este método mais efetivo para separar corante da água de lavagem.

A ultrafiltração já está sendo bastante utilizada industrialmente em processos de purificação e concentração. O processo permite a passagem de moléculas pequenas e eletrólitos e retém substâncias orgânicas de alto peso molecular de tamanho de partícula entre 0,05 e 0,15 μm (Crosley, 1998).

Na indústria têxtil, a ultrafiltração tem sido utilizado na recuperação de gomas e corantes de acordo com Trauter e Schafer (1995).

Esse processo de recuperação atualmente encontra-se bem aperfeiçoado para corantes índigos, permitindo o reuso do mesmo.

3.4.3. Tratamentos

Os tratamentos podem ser divididos em preliminares, primários, secundários e terciários ou avançados.

O tratamento preliminar visa à remoção de sólidos grosseiros, óleos e graxas e equalização de vazões.

O tratamento primário destina-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes.

Uma parte significativa destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão, assim, sua remoção por processos simples, como a sedimentação, implica na redução da carga de DBO e DQO.

O tratamento secundário tem como objetivo principal a remoção da matéria orgânica (dissolvida e em suspensão).

A essência do tratamento secundário é a inclusão de uma etapa biológica, enquanto que nos tratamentos preliminar e primário predominam mecanismos de ordem física. No tratamento secundário a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas realizadas por microorganismos (Sperling, 2005).

Os tratamentos terciários ou avançados envolvem combinações de operações unitárias e processos para um fim específico. Normalmente são empregados com a finalidade de reciclagem da água e/ou produtos. Como exemplos têm a osmose reversa, permuta de íons, etc. (Beltrame, 2000).

A tabela 4 apresenta alguns processos de tratamento de efluentes (Asano, Smith e Tchobanoglous, 1990).

Na indústria têxtil nacional, os processos de tratamento mais utilizados são os primários e secundários, ou seja, os tratamentos físico-químico e biológico por lodo ativado. Os tratamentos terciários e avançados são ainda muito pouco usados na indústria têxtil, normalmente envolve uma tecnologia mais recente e diferenciada, de alto custo, como o objetivo principal da remoção da cor e recirculação da água. São alguns deles: Filtração por membranas, Osmose reversa, Nanofiltração, Ultrafiltração, Microfiltração, etc. (Sperling, 2005).

As características físicas, químicas e biológicas do efluente industrial são variáveis com o tipo de indústria, com o período de operação, com a matéria-prima utilizada, com a reutilização de água etc. Entre as determinações mais comuns para caracterizar a massa líquida estão as determinações físicas (temperatura, cor, turbidez, sólidos etc.), as químicas (pH, alcalinidade, teor de matéria orgânica, metais etc.) e as biológicas (bactérias, protozoários, vírus etc.).

O conhecimento da vazão e da composição do efluente industrial possibilita a determinação das cargas de poluição / contaminação, o que é fundamental para definir o tipo de tratamento, avaliar o enquadramento na legislação ambiental e estimar a capacidade de autodepuração do corpo receptor. Desse modo, é preciso quantificar e caracterizar os efluentes, para evitar danos ambientais, demandas legais e prejuízos para a imagem da indústria junto à sociedade (Fonseca, 2007).

A escolha do processo, ou seqüência dos processos depende das características do efluente, qualidade requerida do efluente final, custo, disponibilidade de área e tecnologia adequada (Beltrame, 2000).

3.4.3.1. Alternativas de Tratamento

A prevenção à poluição refere-se a qualquer prática que vise à redução e/ou eliminação, seja em volume, concentração ou toxicidade, das cargas poluentes na própria fonte geradora. Inclui modificações nos equipamentos, processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos e substituição de matérias-primas e substâncias tóxicas que resultem na melhoria da qualidade ambiental.

Qualquer que seja a solução adotada para o lançamento dos resíduos originados no processo produtivo ou na limpeza das instalações, é fundamental que a indústria disponha de sistema para tratamento ou condicionamento desses materiais residuais.

3.4.3.2. Processos de tratamento

Os processos de tratamento utilizados são classificados de acordo com princípios físicos, químicos e biológicos (Fonseca, 2007):

Os processos físicos dependem das propriedades físicas do contaminante como tamanho da partícula, peso específico, viscosidade, e outros, podemos citar dentre eles gradeamento, sedimentação, filtração, flotação e regularização/equalização.

Os processos químicos dependem das propriedades químicas dos contaminantes e das propriedades químicas dos reagentes incorporados. Como exemplo temos: coagulação, precipitação, troca iônica, oxidação, neutralização, osmose reversa e ultrafiltração.

Os processos biológicos utilizam reações bioquímicas para eliminação dos contaminantes solúveis ou coloidais, e podem ser anaeróbios ou aeróbios. Podemos citar como exemplo: lodos ativados, lagoas aereadas, biodiscos, filtro percolador, valas de oxidação, reatores seqüenciais descontínuos.

Na tabela 5 estão listadas as operações usualmente empregadas para os diferentes tipos de contaminantes existentes nos efluentes industriais.

Tabela 5 – Tipos de Tratamentos para determinados contaminantes

| CONTAMINANTES | OPERAÇÃO OU TRATAMENTO |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SÓLIDOS SUSPENSOS | <ul style="list-style-type: none"> - Gradeamento - Remoção de areia - Sedimentação - Filtração - Flotação - Adição de polímeros químicos - Coagulação/Sedimentação - Sistemas Naturais |
| ORGÂNICOS BIODEGRADÁVEIS | <ul style="list-style-type: none"> - Lodos ativados - Reatores de filme fixo: filtros biológicos e contactadores biológicos rotativos |
| ORGÂNICOS VOLÁTEIS | <ul style="list-style-type: none"> - Striping - Tratamento de gás pós-striping - Adsorção por carvão |
| PATOGÊNICOS | <ul style="list-style-type: none"> - Cloração - Cloreto de Bromo - Ozonação - Radiação UV - Sistemas Naturais |
| NUTRIENTES (NITROGÊNIO) | <ul style="list-style-type: none"> - Nitrificação e desnitrificação com culturas em suspensão ou filme fixo - Stipping de amônia - Troca iônica - Cloração - Sistemas Naturais |
| FÓSFORO | <ul style="list-style-type: none"> - Adição de sais metálicos - Coagulação/Sedimentação com cal - Remoção biológica - Remoção química-biológica - Sistemas naturais |
| NITROGÊNIO E FÓSFORO | <ul style="list-style-type: none"> - Remoção biológica de nutrientes |
| ORGÂNICOS REFRACTÁRIOS | <ul style="list-style-type: none"> - Adsorção por carvão - Ozonação - Sistemas Naturais |
| METAIS PESADOS | <ul style="list-style-type: none"> - Precipitação química - Troca iônica - Sistemas naturais |
| SÓLIDOS DISSOLVIDOS ORGÂNICOS | <ul style="list-style-type: none"> - Troca iônica - Osmose reversa - Eletrodialise |

Fonte: Fonseca, 2007

O tratamento físico-químico apresenta maiores custos, em razão da necessidade de aquisição, transporte, armazenamento e aplicação dos produtos químicos. No entanto, é a opção mais indicada nas indústrias que geram resíduos líquidos tóxicos, inorgânicos ou orgânicos não biodegradáveis. Nesse tipo de tratamento as substâncias são removidas conforme as características químicas individuais de cada uma ou em grupos. Alguns processos mais utilizados são precipitação química, ajuste de pH, coagulação, floculação, decantação, flotação, oxidação química.

Normalmente, o tratamento biológico é menos dispendioso, baseando-se na ação metabólica de microrganismos, especialmente bactérias, que estabilizam o material orgânico biodegradável em reatores compactos e com ambiente controlado. No ambiente aeróbio são utilizados equipamentos eletro-mecânicos para fornecimento de oxigênio utilizado pelos microrganismos, o que não é preciso quando o tratamento ocorre em ambiente anaeróbio.

Apesar da maior eficiência dos processos aeróbios em relação aos processos anaeróbios, o consumo de energia elétrica, o maior número de unidades, a maior produção de lodo e a operação mais trabalhosa justificam, cada vez mais, a utilização de processos anaeróbios. Assim, em algumas estações de tratamento de resíduos líquidos industriais estão sendo implantadas as seguintes combinações (Fabreti, 2006):

- unidades anaeróbias seguidas por unidades aeróbias;
- unidades anaeróbias seguidas de unidades físico-químicas.

3.4.3.3. Alguns dos processos de tratamentos existentes na ETE da indústria em estudo

a) Gradeamento

O gradeamento é necessário para remover sólidos grosseiros e em suspensão, evitando entupimento de tubulações, válvulas e bombas e perda de eficiência nas etapas subsequentes do processo. Podem ser de limpeza manual ou mecanizada (Beltrame, 2000).

Hart (1994), não considera necessária a limpeza mecanizada para a indústria têxtil, porque sólidos grosseiros não são abundantes e podem ser retirados em intervalos de um dia. Mas recomenda a peneiragem para a retirada de sólidos de dimensões superiores a 2mm antes da entrada do efluente no tanque de equalização (Beltrame, 2000).

De acordo com Peres e Abrahão (1998), a abertura das grades iniciais é superior a 6 polegadas.

b) Neutralização

Os efluentes têxteis podem ter valores de pH entre 5 e 12 devido a natureza ácida dos corantes e alcalina das águas de lavagem (Perez e Abrahão, 1998). Mas em geral, o pH é alcalino (Braile e Cavalcanti, 1993).

O ajuste de pH pode ser feito com hidróxido de sódio em solução aquosa, ácido sulfúrico concentrado ou dióxido de carbono (Beltrame, 2000).

Devido à facilidade de manuseio e aplicação, o gás carbônico é mais utilizado na neutralização de pH alcalino. Contudo, deve-se observar as dimensões do tanque porque se o tempo de retenção é pequeno, pode ocasionar uma elevada concentração de CO₂ livre provocando uma falsa leitura do pH na neutralização de águas com pH acima de 11 (Hart, 1994).

c) Coagulação

O termo coagulação química inclui todas as reações e mecanismos envolvidos na desestabilização química de partículas coloidais e na formação de partículas maiores através da floculação pericinetica (Metcalf & Eddy, 2003).

Quando ocorre a interação entre duas partículas coloidais, devido ao movimento browniano que as mantém em constante movimento, atuam sobre elas forças de atração (Forças de Van der Waals) e forças de repulsão, produzindo uma barreira de energia (potencial) que impede a agregação entre as partículas e conseqüentemente a formação de flocos (Fabreti, 2006).

Portanto, a coagulação nada mais é do que o processo de superação dessas barreiras de repulsão, fazendo com que as forças de atração predominem, permitindo assim a agregação entre as partículas coloidais. Para isso é necessário adicionar um coagulante através de mistura rápida a fim de desestabilizar os colóides e sólidos em suspensão no meio líquido, e assim iniciar o processo de formação de flocos.

Segundo Amirtharajah e O'Melia, 1990, dentre os fatores que afetam o processo de coagulação estão a dosagem de coagulante, o pH, a concentração de partículas coloidais (quantificada através da turbidez), a cor, a presença de cátions e ânions na solução, o gradiente de velocidade utilizado na agitação do processo e a temperatura.

Os tipos de coagulantes mais utilizados são os sais metálicos (sulfato de alumínio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloreto férrico e cal) e polieletrólitos.

d) Floculação

A floculação é o segundo estágio do processo físico-químico, onde as partículas coloidais já estabilizadas são colocadas em contato para que ocorra a formação de flocos. Esta unidade deve ser de mistura lenta, a fim de favorecer a agregação das partículas e evitar a ruptura dos flocos formados.

Ferreira Filho (2004), define a floculação como um processo físico em que as partículas coloidais são colocadas em contato umas com as outras, de modo a permitir o aumento do seu tamanho físico, alterando, desta forma, a sua distribuição granulométrica.

Após adicionar os coagulantes, as partículas em suspensão se tornam pequenos flocos, decantando em seguida. Armazenado em um tanque aberto, o processo de floculação se dá quando pás motorizadas promovem o giro de forma muito lenta, propiciando que as partículas se unam formando os flocos de impurezas. A formação destes flocos é essencial para o processo de decantação/sedimentação, pois a partícula se tornará mais pesada que a água.

No processo de agregação entre as partículas deve haver uma agitação suficiente para que ocorra a colisão entre as mesmas permitindo a formação do floco, porém o excesso de agitação, seja no tempo e/ou na velocidade, pode causar a ruptura dos flocos, dessa forma a eficiência do processo estará comprometida.

Já para o processo de flotação ser mais eficiente, os flocos devem ser menores, com maior área superficial e permitindo assim maior contato com as bolhas de ar (Fabreti, 2006).

A coagulação/floculação pode ser utilizada também como um tratamento terciário para remover a cor do efluente.

e) **Sedimentação**

A sedimentação é um processo de separação em que a mistura de dois líquidos ou de um sólido suspenso num líquido é deixada em repouso. A fase mais densa, por ação da gravidade, deposita-se no fundo do recipiente, ou seja, sedimenta.

Segundo Ferreira e Filho (2004), a sedimentação é definida como um processo de separação de gases (sólido-líquido) que tem como força propulsora a ação da gravidade.

O processo de sedimentação pode ser classificado em quatro tipos (Fabreti, 2006):

- Sedimentação de partículas discretas: é a sedimentação de partículas não floculentas, cujas características, dimensão e velocidade, da mesma não se alteram ao longo do processo (sedimentação característica de caixas de areia);
- Sedimentação floculenta: durante o processo ocorrem colisões entre as partículas coloidais formando agregados maiores e com velocidade de sedimentação variável (sedimentação que ocorre na parte superior de decantadores secundários de ETEs e dos decantadores de ETA);
- Sedimentação por zona: conhecida também como sedimentação impedida, a interação entre as partículas é muito significativa, devido à alta concentração de sólidos as mesmas tendem a sedimentar como um bloco rígido (sedimentação típica da parte inferior dos decantadores de ETEs);
- Sedimentação por compressão: quando a concentração de sólidos é muito elevada, a sedimentação pode ocorrer apenas por compressão da estrutura das partículas. Isto acontece devido ao peso das partículas, com isso parte da água é removida da matriz dos flocos diminuindo o seu volume (sedimentação típica em adensadores de lodo).

3.4.3.4. Aterros sanitários municipais

O Aterro Sanitário é uma obra de engenharia, que atende a todas as normas ambientais, por este motivo considerada uma das formas mais adequadas para dar destinação final aos resíduos sólidos urbanos, industriais ou lixo domiciliar.

Os principais problemas característicos do depósito indiscriminado do lixo, a céu aberto, como mau cheiro, presença de animais e aves, como o urubu, de ratos e insetos e a contaminação das águas subterrâneas, não estão presentes em um Aterro Sanitário, uma vez que o seu projeto prevê a impermeabilização do solo com uma manta de polietileno de alta densidade, o que impede que o líquido originado da decomposição do lixo atinja o lençol freático; o recobrimento diário do lixo com uma camada de areia para evitar que animais, aves e vetores utilizem esse lixo como alimento e o tratamento do biogás exalado, que provoca o mau cheiro, fazendo com que o lixo seja depositado de forma a não agredir o meio ambiente.

Os municípios que possuem aterro sanitário recebem o lodo das indústrias, usualmente sem maiores critérios. Este lodo, dependendo do tipo de fibra beneficiada e conseqüentemente do processo e das matérias-primas utilizadas pode ser tóxico. No lodo proveniente das indústrias de algodão mesmo as que utilizam o tratamento físico-químico não foi constatada toxicidade (Souza e Mai, 1994).

Este procedimento gera custos adicionais à indústria referentes ao pagamento das taxas de transporte e armazenamento.

3.5. O CONSUMO DE ÁGUA EM INDÚSTRIAS TÊXTEIS

A diminuição no consumo de água em seus vários processamentos tem sido uma das metas da indústria têxtil, nos últimos anos. Notadamente na área de beneficiamento e/ou tinturaria, os esforços têm sido mais intensos, haja vista que representam cerca de 90% do

consumo geral da indústria. Através de modificações no processo de beneficiamento e da substituição de equipamentos antigos, é possível obter-se uma redução significativa do consumo de água.

Há empresas que produzem tecidos de algodão, cujo processo de mercerização, tingimento e estampagem é conseguido com um consumo médio de 60m³ de água/t, ver anexo 2. Não há dúvida que a redução volumétrica provoca no efluente uma concentração em proporção inversa. A DBO₅, por exemplo, alcança valores de ordem de 1.800mg/L e a DQO acima de 5.000mg/L (Companhia Pernambucana do Meio Ambiente – CPRH, 2001).

Isso significa uma série de benefícios, dentre os quais se pode destacar:

- Menor custo operacional no tratamento de água;
- Menor custo operacional no tratamento de efluentes;
- Menor consumo de auxiliares têxteis;
- Menor consumo de energia térmica.

O consumo de água em processos úmidos (complexos) de acabamento é uma função direta do tipo de substrato têxtil, assim como do próprio tipo de acabamento.

Entende-se por acabamento simples aquele em que o artigo têxtil recebe apenas a secagem e calandragem. No acabamento complexo, os artigos têxteis podem receber, além da secagem e calandragem, outros acabamentos, como amaciamento, brilho, anti-rugas, dentre outros.

3.6. CRITÉRIOS DE RECEBIMENTOS E LANÇAMENTOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS

3.6.1. Instrução Normativa (Fonte: IDEMA, 2004)

Esta norma estabelece os requisitos e padrões para recebimento de efluentes no Sistema de Esgotamento de Efluentes Líquidos do Distrito Industrial de Natal – DIN, com os objetivos de:

- Evitar a introdução de poluentes que possam provocar corrosão, incrustações, obstrução, explosão e risco à saúde dos operadores, comprometendo os Sistemas de Coleta e Transporte de Efluentes (Coletores, Estações Elevatórias e Emissários) e a Estação de Tratamento de Efluentes – ETE;
- Evitar o lançamento de volume de efluentes ou carga orgânica que causem interferências no equilíbrio hidráulico ou biológico da ETE, demandando alto consumo de oxigênio, por exemplo;
- Evitar a introdução de poluentes não biodegradáveis ou de difícil degradação que causem inibição à atividade microbiana e, portanto aos processos de tratamento biológico da ETE;
- Incentivar as empresas a utilização de técnicas de reciclagem e reutilização de efluentes.

A aplicabilidade desta norma serve as indústrias instaladas ou que venham a se instalar no DIN, bem como aquelas que venham a utilizar o sistema de esgotamento de efluentes líquidos do DIN.

As normas complementares utilizadas foram: Resolução n.º 357/2005 CONAMA, Lei n.º 272/2004, Licenças ambientais emitidas pelo IDEMA/RN para cada indústria e Licenças ambientais do DIN emitida pelo IDEMA/RN.

Todas as indústrias instaladas ou que venham a se instalar no DIN, bem como para as indústrias localizadas fora da área do DIN que gerem efluentes contendo matéria orgânica biodegradável e/ou não biodegradável e poluentes que interferem na flora e fauna aquática e nos processos biológicos de tratamento com lançamento no Sistema de Esgotamento de Efluentes Líquidos do DIN deverão atender as exigências estabelecidas pelo órgão de controle ambiental IDEMA/RN relativas à redução de sua carga poluidora aos níveis previstos para lançamento no referido sistema; e as indústrias, cuja relação DQO/DBO seja igual ou superior a 4, deverão implantar sistemas de tratamento próprios ou tecnologias menos poluentes de modo a compatibilizar os seus efluentes aos requisitos e padrões de lançamento estabelecidos nesta norma.

Para as indústrias que façam uso da infra-estrutura de esgotamento de Efluentes Líquidos do DIN será exigida a implantação de no mínimo um sistema de pré-tratamento para remoção de partículas sólidas com diâmetro maior que 1,5cm e um sistema de medição de vazão.

Para as indústrias localizadas fora da área do DIN que pretendam fazer lançamento direto de efluentes na Estação Elevatória de efluente tratado e/ou Emissários de efluente tratado será exigida a implantação de sistema de tratamento próprio visando a compatibilização dos efluentes aos padrões de lançamento estabelecidos no Art. 34 da Resolução n.º 357/2005 CONAMA e a classe do corpo receptor – Rio Jundiáí, observados também os requisitos e padrões específicos estabelecidos pelo IDEMA no respectivo licenciamento ambiental.

É vedado o lançamento de efluentes líquidos industriais, incluindo-se aí os esgotos sanitários, no Sistema de Drenagem de Águas Pluviais do DIN, mesmo que tratados.

Todas as indústrias que façam uso da infra-estrutura de esgotamento de Efluentes Líquidos do DIN deverão realizar o controle de qualidade dos seus efluentes através do seu automonitoramento, nas condições e periodicidade estabelecidas pelo IDEMA/RN, o qual compreenderá basicamente o acompanhamento do cumprimento dos padrões de recebimento estabelecidos na norma, deverão realizar medição e registro de vazão, procedimentos de amostragem de efluentes, resultados das análises laboratoriais e envio periódico de relatórios.

Tabela 6 - Padrões para recebimento de efluentes no Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos do Distrito Industrial de Natal – SITEL-DIN

| Parâmetros | Limite (exceto pH, valores máximos) |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|
| Grupo A | |
| Temperatura (°C) | 40 |
| pH | 6 - 9 |
| Relação DQO/DBO | Menor ou igual a 4 |
| DQO (mg/L) | * |
| DBO (mg/L) | * |
| Cor verdadeira (uH) | 300 |
| Óleos & Graxas (mg/L) | 100 |
| Sólidos Suspensos Totais (mg/L) | 300 |
| Sólidos Sedimentáveis (ml/L) | 5 |
| Diâmetro Máximo Partículas (cm) | 1,5 |
| Lançamento dos efluentes | Vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média diária |
| Grupo B | |
| Sais Dissolvidos (mg/L) | 20.000 |
| Cianetos (mg/L) | 2 |
| Cloretos (mg/L) | 10.000 |
| Sulfatos (mg/L) | 500 |
| Sulfetos (mg/L) | 10 |
| Fosfatos (mg/L) | 15 |
| Fluoretos (mg/L) | 20 |
| Nitrogênio Amoniacal(mg/L) | 50 |

Grupo C

| | |
|-----------------------------------|-------|
| Metais Pesados (somatório) (mg/L) | 5 |
| Arsênico (mg/L) | 1 |
| Cádmio(mg/L) | 0,5 |
| Chumbo (mg/L) | 1 |
| Cobalto (mg/L) | 1 |
| Cobre (mg/L) | 1 |
| Cromo Total (mg/L) | 3 |
| Cromo Hexavalente (mg/L) | 0,5 |
| Estanho (mg/L) | 30 |
| Mercúrio (mg/L) | 0,002 |
| Ferro (mg/L) | 30 |
| Níquel (mg/L) | 1 |
| Prata (mg/L) | 0,01 |
| Selênio (mg/L) | 1 |
| Vanádio (mg/L) | 1 |
| Zinco (mg/L) | 3 |

Grupo D

| | |
|--------------------|----|
| Fenóis (mg/L) | 5 |
| Detergentes (mg/L) | 10 |

Grupo E

| | |
|-------------------------|-------------|
| Substâncias Radioativas | N.A. |
| Substâncias Aderentes | N.A. |
| Substâncias Tóxicas | N.A. |
| Substâncias Inflamáveis | * |
| Cloro Ativo | N.A. |

N.A. - Não Admissível

* - Não se aplica

Os padrões estabelecidos para os diferentes grupos têm os seguintes objetivos:

- Grupo A - Padrões para Proteção de Redes Coletoras e Galerias

Têm como objetivo evitar problemas de corrosão, deposição e/ou aderência nos equipamentos e tubulações prejudicando o sistema de coleta e transporte. As limitações de sólidos em suspensão e carga orgânica disciplinam a utilização dos Sistemas.

- Grupo B - Limitações de Teores de Íons Salinos

Os padrões objetivam evitar a degradação precoce das redes de coleta, otimizar o processo de tratamento e garantir padrões aceitáveis ao meio ambiente.

- Grupo C - Teores de Metais

A concentração de metais pesados após tratamento não deve interferir negativamente nos processos de tratamento biológico aeróbio e também não deve prejudicar a qualidade do lodo biológico tornando-o inaceitável para aplicação no solo (uso como adubo orgânico).

- Grupo D - Restrições Diversas

Estes parâmetros estão envolvidos com diversos aspectos da operação dos sistemas

- Grupo E - Características Gerais Não Aceitáveis

Os padrões estabelecidos enfatizam o controle de substâncias que possam interferir negativamente nos processos de tratamento biológico aeróbio, causar prejuízo à aeração e diminuição da atividade dos microorganismos.

As substâncias listadas pelo título geral substâncias tóxicas, serão avaliadas caso a caso pelo IDEMA/RN, dando ênfase às que provoquem toxicidade aguda, bio-acumulação e bio-mutação.

3.6.2. Resolução n.º 357/2005 – CONAMA

(Resumo baseado nos artigos 1º, 7º, 14º, 15º, 24º e 42º)

3.6.2.1. Condições e Padrões de corpos receptores classe 2

Esta resolução dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes.

Os padrões de qualidade das águas determinados nessa resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições padrões e exigências dispostas nesta resolução e em outras normas aplicáveis.

Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.

Aplicam-se às águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos no artigo 14º, à exceção do seguinte:

- Não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;
- Coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA n.º 274/2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;
- Cor verdadeira: até 75 mg PtCo/L;
- Turbidez: até 100 NTU;
- DBO 5 dias a 20°C até 5mg/L O₂;
- OD, em qualquer amostras, não inferior a 5 mg/L O₂;
- Clorofila *a*: até 30µg/L;
- Densidade de cianobactérias: até 50.000 cel/mL ou 5 mm³/L;

- Fósforo total: até 0,030 mg/L em ambientes lênticos, e, até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

Na tabela 7 a seguir encontram-se alguns parâmetros inorgânicos característicos dos corpos receptores classe 2 da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA.

Tabela 7 – Alguns parâmetros inorgânicos característico dos corpos receptores classe 2 da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA – Art.14º

| Metais Pesados | Valores Limites |
|-----------------------|------------------------|
| Cádmio Total | 0,001 mg/L Cd |
| Chumbo Total | 0,01 mg/L Pb |
| Cobre Dissolvido | 0,009 mg/L Cu |
| Cromo Total | 0,05 mg/L Cr |
| Ferro Dissolvido | 0,3 mg/L Fe |
| Manganês Total | 0,1 mg/L Mn |
| Níquel Total | 0,025 mg/L Ni |
| Prata Total | 0,01 mg/L Ag |
| Zinco Total | 0,18 mg/L Zn |

3.6.2.2. Padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores (Baseado Art.º 34)

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedçam as condições e padrões previstos e resguardadas outras exigências cabíveis:

- O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

- Os critérios de toxicidade previstos devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

Na tabela 8 a seguir estão dispostas algumas das condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA – Art.34º.

Tabela 8 – Algumas Condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores da Resolução 357/2005 – CONAMA – Art.34º

| Parâmetros | Valores Limites |
|-------------------|------------------------|
| pH | 5 a 9 |
| Temperatura | Inferior a 40°C |
| Cádmio Total | 0,2 mg/L Cd |
| Chumbo Total | 0,5 mg/L Pb |
| Cobre Dissolvido | 1,0 mg/L Cu |
| Cromo Total | 0,5 mg/L Cr |
| Ferro Dissolvido | 15,0 mg/L Fe |
| Manganês Total | 1,0 mg/L Mn |
| Níquel Total | 2,0 mg/L Ni |
| Prata Total | 0,1 mg/L Ag |
| Zinco Total | 5,0 mg/L Zn |

3.6.3. Termo de Ajustamento de Conduta (MINISTÉRIO PÚBLICO, 2004)

Com vistas à regularização ambiental dos lançamentos de efluentes sanitários e industriais lançados em desacordo com a legislação ambiental foi criado o Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC) que foi celebrado entre o Ministério Público (representado pela 45ª Promotoria de Justiça de Defesa do Meio Ambiente) e a Companhia de Águas e Esgotos do RN (CAERN), em 16 de setembro de 2004, após tomar conhecimento das investigações que apura responsabilidades pela poluição do Rio Potengi.

Nesse documento são estabelecidas obrigações e compromissos assumidos pela CAERN (relativas ao Sistema de Tratamento de Efluentes –SITEL do Distrito Industrial de Natal – DIN e ao tratamento dos esgotos sanitários), pelo IDEMA (relativas às análises semestrais e controle dos resultados do efluente final após tratamento do SITEL-DIN e análise da água subterrânea do SITEL para confirmar resultados do monitoramento realizado pela CAERN), pela COMSAB (decidir alternativas para projeto executivo após receber resultado da análise ambiental do IDEMA) e pela ARSBAN (comunicar À 45ª Promotoria de Justiça de Defesa do Meio Ambiente, casos de descumprimento de cláusulas e prazos do presente ajustamento).

CAPÍTULO 4
MATERIAIS E MÉTODOS

4. MATERIAS E MÉTODOS

4.1. DESCRIÇÃO DA INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria onde foram coletadas as amostras analisadas nasceu há mais de 40 anos, numa pequena cidade no interior do Ceará, e hoje se encontra entre as maiores do mundo, com várias unidades fabris espalhadas por todo o Brasil.

A unidade fabril onde foi realizada a pesquisa localiza-se no Distrito Industrial, em São Gonçalo do Amarante/RN.

Seus produtos são tecidos em índigos (denim) para suprir as necessidades dos mais diversos confeccionistas: Tecidos Básicos, Tecidos com efeito Flame, Tecidos Resinados e Tecidos com Mistura de Títulos.

A produção média de tecido acabado produzido nesta unidade fabril é de 1.400.000 metros/mês, e a produção de fio tingido (máquina de beneficiamento do índigo) é cerca de 1.890.000 metros/mês.

O corante índigo utilizado na indústria vem na forma reduzida e diluído na seguinte percentagem: 70% água e 30% corante.

A indústria realiza mensalmente manutenção preventiva e/ou corretiva em todas as instalações da máquina de beneficiamento do índigo e de acabamento final.

A água utilizada na indústria é proveniente de poço particular com profundidade de 90m. O consumo médio de água para parte industrial é de 517m³/dia e o consumo médio de água potável cerca de 11m³/dia, totalizando 528m³/dia, gerando um consumo mensal de 15.840 m³. A vazão liberada de efluente tratado para o SITEL-DIN é em média 7,5m³/hora.

O aterro utilizado pela indústria para envio do lodo é o BRASECO S/A, empresa que detém concessão operacional do aterro sanitário da Região Metropolitana de Natal, na região de Massaranduba, no município de Ceará-Mirim.

4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS

O efluente industrial gerado nas diversas etapas de produção é coletado em conjunto num tanque de equalização e encaminhado para o tratamento. O sistema de tratamento do efluente líquido é do tipo físico-químico com etapas de tratamentos preliminar, secundário e terciário. A ETE é composta, de forma seqüencial, por: tanque de equalização (TE), gradeamento (G), dois tanques de aeração paralelos (TA), tanque de neutralização (correção de pH e adição de polieletrólitos), tanques de coagulação/floculação com quatro quadrantes e aeração, e tratamento do lodo.

A linha de tratamento de lodo é composta por um tanque de decantação e adensamento, seguido de leitos de secagem com duas câmaras.

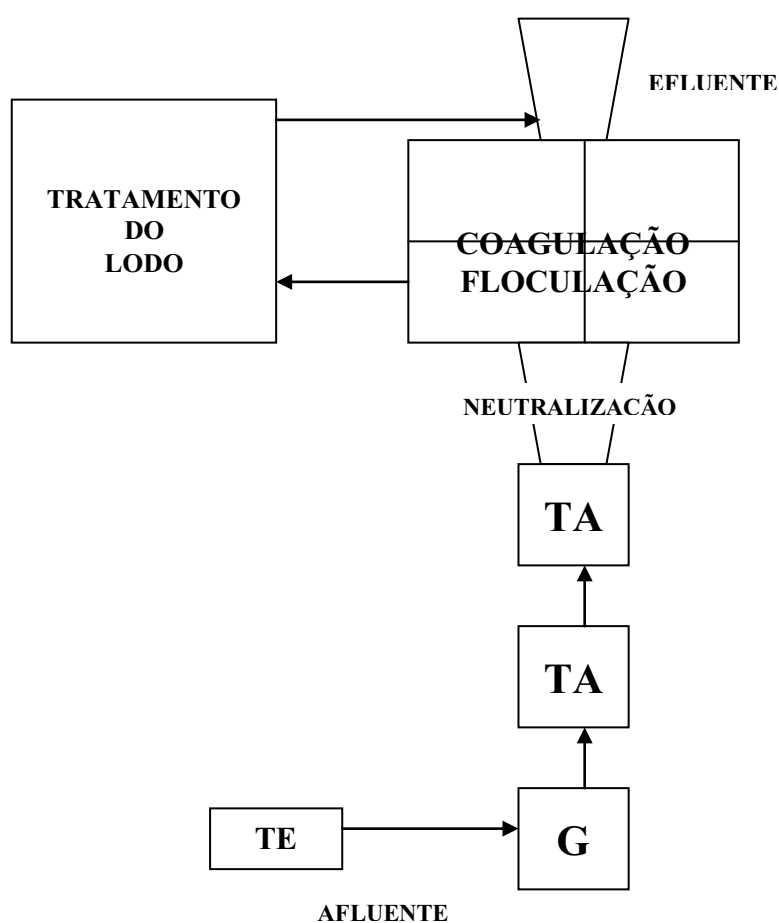


Figura 4 – Seqüência dos processos utilizados na ETE da indústria em estudo

4.3. SELEÇÃO DOS PONTOS DE COLETAS

Foram definidos oito pontos de amostragem, sendo seis pontos localizados no processo produtivo do beneficiamento têxtil e dois pontos na ETE, os mesmos foram escolhidos devido gerarem efluentes, conforme descrição abaixo:

| | |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|
| P1 | Água Natural – Abastecimento do processo industrial |
| P2 | Localizado na caixa de lavagem após umectação na máquina de Índigo |
| P3 | Localizado na caixa de tingimento da máquina de Índigo |
| P4 | Localizado na caixa de pré-umectação da etapa de Engomagem |
| P5 | Localizado na caixa de Amaciamento |
| P6 | Localizado abaixo do cilindro da Sanforizadeira – água natural para resfriamento |
| P7 | Entrada da ETE – Afluente |
| P8 | Saída da ETE – Efluente |

Na figura 5 a seguir encontra-se a distribuição de todos os pontos de coleta na indústria pesquisada.

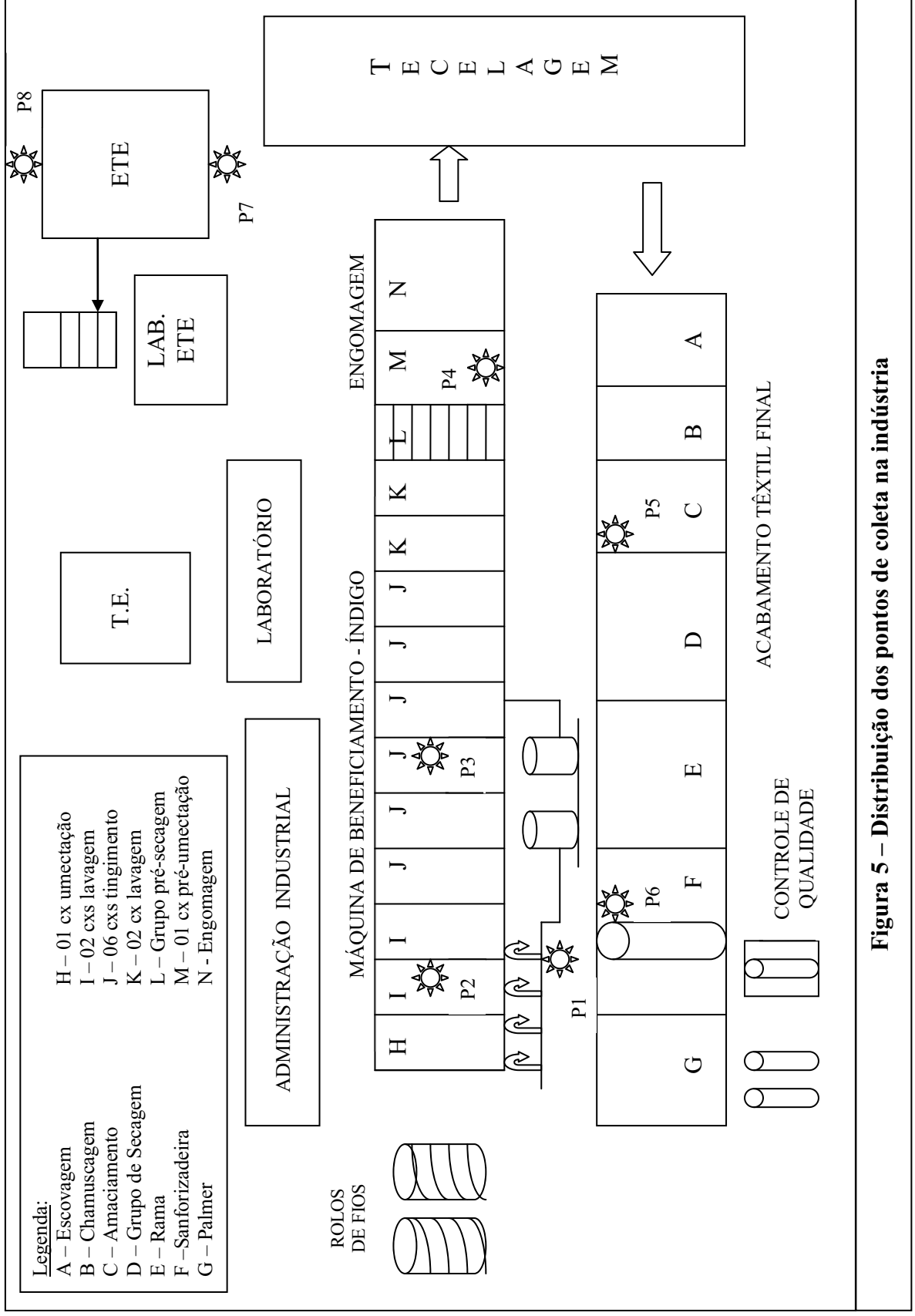


Figura 5 – Distribuição dos pontos de coleta na indústria

4.4. PERÍODO E FREQUÊNCIA DE COLETAS

O período total de amostragem compreendeu de novembro de 2006 a fevereiro de 2007, com frequência semanal, totalizando doze coletas.

4.5. METODOLOGIA DE COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os procedimentos de coleta, preservação e armazenamento das amostras foram realizados conforme orientação prevista no STANDARD METHODS (APHA-AWWA-WPCF-2000).

Para as amostras das análises biológicas de coliformes termotolerantes, utilizaram-se frascos de polietileno estéreis, de boca larga, com capacidade de 250ml. Para a esterilização, os frascos eram levemente tampados, protegidas as bocas com papel alumínio e submetidos à autoclavagem por 15 minutos a 121°C. Na ocasião da coleta, os frascos eram preenchidos até 2/3 de sua capacidade. Imediatamente após a coleta, eram transportados para o Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – LARHISA, não havendo a necessidade de preservação.

Para as análises físico-químicas, as amostras foram coletadas mediante enchimento de reservatórios plásticos de 1,5 litros de volume, enchendo-os totalmente, os mesmos eram lavados e enxaguados previamente com água destilada.

Para a determinação de oxigênio dissolvido utilizou-se o equipamento Oxímetro Portátil Digimed - modelo DM-4.

Para a determinação de pH, condutividade elétrica, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD) utilizou-se o equipamento Multi Função HACH – modelo sensION 156.

4.6. PARÂMETROS ANALISADOS E MÉTODOS UTILIZADOS

Os parâmetros analisados foram: pH, oxigênio dissolvido (OD), alcalinidade total, condutividade elétrica (CE), temperatura (T), cor, turbidez, DQO, sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST), metais pesados (MP) e coliformes termoloterantes (CT).

O parâmetro Metais Pesados foi observado apenas nos Pontos de Coleta P1, P7 e P8, analisando os seguintes metais: cádmio, chumbo, zinco, ferro, cromo, cobre, manganês, prata, níquel.

A importância dos parâmetros físico-químicos e biológicos selecionados se deve às características da carga contaminadora e complexa dos efluentes gerados pela indústria têxtil, assim como das possibilidades de reuso avaliadas segundo as análises do efluente tratado, com vistas a comparar com os padrões de qualidade previamente estabelecidos para algum tipo de reuso.

Dos padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, foram escolhidos parâmetros dos grupos “A” e “C”, com o objetivo de:

- a) no caso dos parâmetros do grupo “A” – observar os problemas de corrosão, deposição e/ou aderência nos equipamentos e tubulações, prejudicando o sistema de coleta e transporte;
- b) no caso dos parâmetros do grupo “C” – verificar a concentração de metais pesados após o tratamento, pois os mesmos não devem interferir negativamente nos processos de tratamento biológico aeróbio e também não devem prejudicar a qualidade do lodo biológico tornando-o inaceitável para aplicação no solo (uso como adubo orgânico).

4.6.1. PARÂMETRO MICROBIOLÓGICO

4.6.1.1. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Os coliformes de modo geral são os principais organismos utilizados na caracterização microbiológica das águas. A escolha desse parâmetro para monitorar o efluente se deve à sua ocorrência em grande escala no intestino humano e em outros animais de sangue quente. Assim, a presença dessa bactéria (*Escherichia coli*) na água indica contaminação fecal e a possibilidade de existência de outras bactérias patogênicas.

4.6.2. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

4.6.2.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH representa a concentração de íons H^+ , dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade de um determinado meio. É definido como o cologarítmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio. A escala de pH varia de 0 a 14. Quando o pH é igual a 7, indica um estado de neutralidade, a condição ácida ocorre quando o pH é inferior a 7 e quando o pH é superior a 7 estabelecem-se condições básicas ao meio.

Este parâmetro foi quantificado utilizando-se o Multi Função HACH – modelo sensION 156, calibrado previamente com soluções padronizadas.

4.6.2.2. Temperatura (T)

A temperatura de um efluente é um parâmetro muito importante devido ao seu efeito na vida aquática.

Normalmente a temperatura de um efluente tende a ser superior a do ar, exceto nos meses de verão, devido ao calor específico da água. Além disso, os despejos industriais são normalmente aquecidos (Metcalf & Eddy, 1991).

A elevação da temperatura torna o oxigênio menos solúvel (a água a 0°C contém uma concentração de 14mg/L de oxigênio, a 20°C a concentração é de 9mg/L e a 35°C é menor que 7mg/L (Braile e Cavalcanti, 1993).

A temperatura foi determinada “in loco”, utilizando-se de um equipamento Multi Função HACH – modelo sensION 156, calibrado previamente com soluções padronizadas.

4.6.2.3. Alcalinidade Total

A alcalinidade de uma água é a sua capacidade de neutralização de ácidos e equivale à soma de todas as bases tituláveis. A alcalinidade é a medida de uma propriedade da água associada à sua capacidade de tamponação e só pode ser interpretada em função de substâncias específicas, quando a composição química da amostra analisada é conhecida. O valor determinado pode variar significativamente, dependendo do valor do pH final usado como referência.

É causada por sais alcalinos (carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos – raros – e, eventualmente, silicatos e fosfatos), principalmente de sódio e cálcio. As diversas espécies de alcalinidade dependem do valor de pH, composição mineral, temperatura e força iônica. Os

carbonatos e bicarbonatos são comuns na maioria das águas naturais, devido à abundância de carbonatos minerais na natureza.

Quando ocorre apenas a presença de carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio, o teste de alcalinidade é igual ao teor de dureza. Em outras palavras, enquanto a dureza é provocada pelos íons Ca e Mg (cátions), a alcalinidade é provocada pelos íons carbonatos e bicarbonatos (ânions).

O sistema químico predominante na água natural é o equilíbrio dos íons bicarbonatos, carbonatos e ácido carbônico, tendo usualmente maior prevalência o íon carbonato. Uma água pode ter uma baixa alcalinidade, mas pode apresentar um valor relativamente alto de pH e vice-versa. Isoladamente, a alcalinidade não tem grande importância como indicador de qualidade da água, todavia, é muito importante para o controle dos processos de tratamento das águas. Baixos valores de alcalinidade podem dificultar a saturação da água pelo carbonato, que previne a corrosão nas partes metálicas do sistema de abastecimento.

O método de execução foi da titulação potenciométrica que se baseia na titulação de um determinado volume (VA) de amostra com solução de ácido sulfúrico de normalidade N, sob agitação discreta, até atingir o pH que corresponde ao ponto de inflexão ou de equivalência da curva de titulação. Na prática da determinação da alcalinidade total de amostras de águas naturais, residuárias domésticas e efluentes de lagoas e reservatórios de estabilização, nos quais a principal fonte de alcalinidade é o sistema carbônico, o ponto de inflexão está situado na faixa $4 < \text{pH} < 5$, sendo comumente definido o $\text{pH} = 4,5$. Determinado o volume de ácido (A), necessário para atingir tal ponto, a alcalinidade pode ser da seguinte forma:

$$\text{Alc Total (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{N \times A}{VA} \times 50000 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: N – normalidade da solução de ácido sulfúrico

A – volume de ácido titulado

VA – volume da amostra

4.6.2.4. Cor

A cor de um efluente pode estar relacionada com sua idade. Efluentes novos ou recentes apresentam geralmente uma cor clara, cinza acastanhada. Com o tempo, há um aumento da concentração e de condições anaeróbias e a cor se torna cinza, cinza escuro e em último estágio preta (Metcalf & Eddy, 1991).

No caso de um efluente têxtil, rico em corantes, a cor é variada e intensa. Além da poluição estética, impede a passagem da luz necessária para a realização da fotossíntese, responsável pela produção de parte do oxigênio necessário para a degradação da matéria orgânica via aeróbia (Beltrame, 2000).

Na determinação da cor utilizou-se o método espectrofotométrico, num comprimento de onda de 420nm.

4.6.2.5. Demanda Química de Oxigênio - DQO

A DQO, ou Demanda Química de Oxigênio, representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar quimicamente a matéria orgânica de uma água residuária, sem a intervenção de microorganismos. Ela determina a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação de substâncias biodegradáveis ou não. Por isso, a DQO em um despejo é, em geral, maior do que a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em virtude da maior facilidade

com que grande número de compostos podem ser oxidados quimicamente do que biologicamente.

A DQO, por ser mais simples e rápida, é mais utilizada do que a DBO. Além disso, para efluentes de composição conhecida e constante, pode-se relacionar os dados da DQO com os da DBO.

Este parâmetro foi determinado segundo o método titulométrico de refluxo fechado. A DQO é usada como medida do equivalente em oxigênio do conteúdo de matéria em uma amostra, passível de ser oxidada por um oxidante químico forte. A digestão é feita por duas horas a 150°C em um reator de DQO. Em seguida, as amostras são tituladas com sulfato ferroso amoniacal (SFA), na presença do indicador ferroína. O cálculo da DQO, é feito mediante a equação:

$$DQO = \frac{(V_B - V_A) \times C \text{ (SFA)} \times 8.000}{V_{Am}} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

V_B = volume da solução de SFA gasto na prova em branco (ml)

V_A = volume da solução de SFA gasto na amostra (mL)

$C \text{ (SFA)}$ = concentração da solução padrão de SFA (Mol)

V_{Am} = volume da amostra (mL)

A concentração da solução padrão era calculada segundo a equação:

$$C = \frac{V_{DC} \times 0,10}{V.P} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

V_{DC} = volume do dicromato de potássio 0,016Mol

$V.P$ = volume de SFA usado na titulação da padronização (mL)

4.6.2.6. Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. É a redução da transparência de uma amostra devido à presença de material em suspensão.

Foi determinada em laboratório utilizando-se o método de leitura direta, empregando-se um turbidímetro digital, de fabricação Digimed, modelo DM-C2, calibrado com soluções-padrão.

4.6.2.7. Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica expressa a capacidade de um meio de transmitir a corrente elétrica. Em consequência, quando medida na água, é uma forma indireta de indicar a concentração de sais dissolvidos e, para irrigação, indica o perigo de salinização do solo e queda no rendimento das culturas.

Este parâmetro foi determinado “in loco”, mediante o emprego de um equipamento Multi Função HACH – modelo sensION 156, calibrado previamente com soluções padronizadas.

4.6.2.8. Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é a principal variável controladora das reações metabólicas nos sistemas aquáticos e indiretamente traduz a qualidade da água. A concentração de oxigênio dissolvido no meio líquido é resultante do balanço entre as fontes de consumo (biodegradação

aeróbia da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada e oxidação de compostos inorgânicos, principalmente a amônia) e produção (reaeração atmosférica e fotossíntese) (Sperling, 1996).

Este parâmetro foi determinado “in loco”, através de um oxímetro portátil, marca Digimed, modelo DM-4.

4.6.2.9. Sólidos Totais (ST)

Analiticamente, o teor de sólidos totais é definido como toda matéria que permanece como resíduo após evaporação a 103 – 105°C. Este teor é formado pelos sólidos suspensos ou não filtráveis e sólidos dissolvidos. O método utilizado na determinação de sólidos totais foi o gravimétrico. Na figura 6 está apresentado a interrelação entre os sólidos.

Princípio: A amostra, bem misturada, é evaporada a peso constante em uma cápsula de porcelana previamente pesada, a 103 – 105°C, em banho-maria, em seguida resfriada no dessecador. O acréscimo na massa inicial da cápsula corresponde ao teor de sólidos totais da amostra.

Cálculos - A concentração de sólidos totais é dada por:

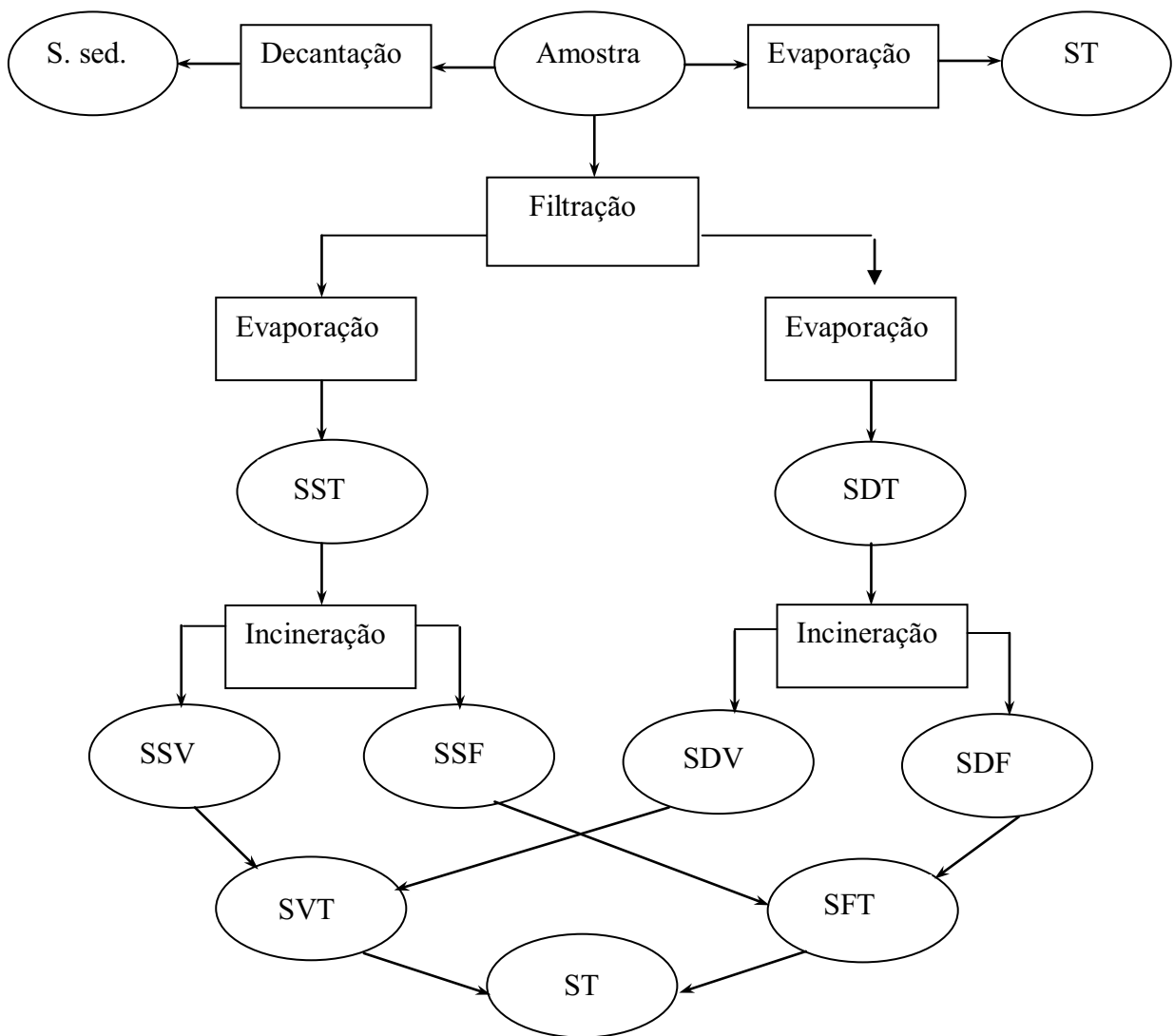
$$\text{ST (mg/L)} = \frac{(\text{A} - \text{B}) \times 1000}{V_{\text{amostra}}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

A = massa do resíduo seco + cápsula de porcelana, em mg;

B = massa da cápsula de porcelana, em mg;

V_{amostra} = volume de amostra, em mL.



Onde: ST – teor de sólidos totais; S.Sed. – teor sólidos sedimentáveis; SS – teor de sólidos em suspensão ou não filtráveis; SD – teor de sólidos dissolvidos; SSV – teor de sólidos em suspensão voláteis; SSF – teor de sólidos em suspensão fixos; SDV – teor de sólidos dissolvidos voláteis; SDF – teor de sólidos dissolvidos fixos; SVT – teor de sólidos voláteis totais; SFT – teor de sólidos fixos totais.

(Fonte: Metcalf & Eddy, 1991)

FIGURA 6 - Interrelações de sólidos encontrados em águas e efluentes

4.6.2.10. Sólidos Suspensos Totais (SST)

Sólidos suspensos provêm da porção da amostra que fica retida no filtro de fibra de vidro padrão ao ser submetida à filtração. Seu teor é medido após evaporação a 103 – 105°C até peso constante. Das características físicas, o teor de matéria sólida é de grande importância, em termos de controle de operações das unidades de tratamento de esgotos.

Em um efluente, os sólidos não filtráveis podem permanecer em suspensão por um determinado tempo e então se sedimentam. Enquanto se encontram em suspensão, aumentam a turbidez da água, impedindo a fotossíntese. Em grandes concentrações, podem matar os peixes por entupimento ou ação abrasiva das guelras. Ao sedimentar, formam depósitos de lodo no leito do rio ou lago, destruindo os espaços destinados à vida de certos organismos (Beltrame, 2000).

O método utilizado foi o gravimétrico.

Princípio: A amostra, bem misturada, é filtrada através de uma membrana de fibra de vidro previamente pesada e o resíduo retido na membrana é submetido a uma secagem durante uma hora a 103 – 105°C, em seguida resfriada no dessecador. O acréscimo de massa obtido na membrana representa os sólidos suspensos totais.

Cálculos:
$$\text{SST (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1000}{V_{\text{amostra}}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

A = massa da membrana + resíduo seco, em mg;

B = massa da membrana, em mg;

V_{amostra} = volume de amostra, em mL.

4.6.2.11. Metais Pesados (MP)

Considera-se metais pesados aqueles em que a densidade é superior a 5g/cm^3 , ou seja, cinco vezes superior à da água. Muitos destes metais são considerados como essenciais à vida, mas ao atingirem certos limites de concentrações, tornam-se tóxicos e até mesmo letais (Beltrame, 2000).

O método mais comum para remoção de metais pesados em um efluente é a precipitação. Eles precipitam sob a forma de hidróxidos através da adição de uma solução cáustica até um nível de pH correspondente à solubilidade mínima (Frutuoso, Vasconcelos, Escaleira, 1999).

Os metais escolhidos para análises foram: cádmio, chumbo, zinco, ferro, cromo, cobre, manganês, prata, níquel, após ter sido realizado ensaio exploratório de todos os metais previstos no grupo “C” dos padrões de recebimentos de efluentes líquidos do SITEL-DIN, selecionando-se apenas aqueles que apresentaram valores acima do limite de detecção do equipamento de medição. Foi acrescido o metal Manganês, em virtude de ter apresentado valores significativos em todas as análises realizadas.

O método utilizado foi a espectrometria de absorção atômica de chama, que é adequada para todos os metais analisados.

Princípio: Em um espectrofotômetro de absorção atômica de chama a amostra é aspirada diretamente para a chama e atomizada. Um raio de luz é direcionado através da chama para um monocromador, onde um detector mede a quantidade de luz absorvida pelo elemento atomizado na chama. Como cada metal possui um comprimento de onda característico de absorção, utiliza-se uma lâmpada composta do mesmo elemento para evitar interferências de radiação. A quantidade de energia de um comprimento de onda característico

absorvido na chama é proporcional à concentração do elemento na amostra. A chama de ar-acetileno é utilizada na determinação de todos os metais.

Preparação: as amostras foram submetidas a uma digestão ácida com ácido nítrico, para reduzir a interferência da matéria orgânica e converter os metais associados em metais livres, permitindo a determinação espectrométrica. Durante a digestão, as amostras foram concentradas 10 vezes para permitir a determinação de concentrações normalmente desapercibidas pelo aparelho. O tempo de digestão e a quantidade de ácido nítrico utilizada foram iguais para todas as amostras.

Para evitar erros devido a presença natural de alguns metais no ácido nítrico, foram preparados brancos contendo as mesmas quantidades de ácido nítrico utilizadas nas amostras, sofrendo o mesmo tempo de digestão.

Cálculos:

$$\text{Concentração do metal (mg/L)} = \frac{\text{A x B}}{\text{C}} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

A = concentração do metal na solução digerida;

B = volume final da solução digerida (mL);

C = volume da amostra (mL)

4.7. MATERIAL UTILIZADO

Para a realização das análises de campo e laboratoriais foram utilizados os seguintes materiais:

- Multi Função HACH – modelo sensION 156;
- Oxímetro Portátil Digimed – modelo DM-4;
- Turbidímetro Digimed – modelo DM-C2;
- Estufa Bacteriológica Marccone – modelo MA-032;
- Estufa Bacteriológica Certomat – modelo BS-1;
- Titulador automático SCHOTT – modelo TritroLine Alpha;
- Banho-Maria;
- Digestor de DQO;
- Geladeira para conservação das amostras;
- Caixa de isopor para coleta das amostras;
- Caixa térmica para coleta das amostras;
- Destilador de água;
- Capela com exaustor;
- Bomba de pressa e a vácuo com filtro;
- Balança digital;
- Dessecador de vidro;
- Autoclave;
- Espectrofotômetro;
- Vidraria;
- Reagentes;
- Microcomputador;
- Frascos plásticos para coleta.

CAPÍTULO 5
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO
DOS RESULTADOS

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Devido a grande variabilidade de parâmetros analisados e às oscilações dos resultados tornou-se necessário a aplicação de um tratamento estatístico baseado em gráficos de variação temporal das amostras e da distribuição de valores em pontos de mínimo e máximo, primeiro quartil (25%) e terceiro quartil (75%) e mediana (gráfico Box & Whisker), para uma melhor compreensão destes.

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos durante a fase experimental de monitoramento do efluente líquido têxtil.

As amostragens aconteceram no período de novembro de 2006 a fevereiro de 2007, com frequência semanal, totalizando doze coletas, realizadas preferencialmente no turno matutino, devido à rotina necessária para as análises posteriores à coleta, como também da disponibilidade da indústria.

A indústria analisada opera 24 horas por dia, parando apenas uma vez por mês para limpeza e manutenção preventiva. Nos processos industriais utilizados não ocorre variação constantemente.

Os valores que se utilizou para comentário dos resultados de todos os parâmetros monitorados foram os valores médio aritméticos, identificados nas Tabelas de Estatística Básica – Tabelas 9 a 16.

Para o cálculo de Eficiência Global dos parâmetros de cor, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos suspensos totais, DQO, metais pesados e turbidez, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Ef = \frac{\text{Valor MA(P7)} - \text{Valor MA (P8)}}{\text{Valor MA (P7)}} \times 100, \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

Valor MA (P7) – é o valor médio aritmético do parâmetro analisado no ponto de coleta P7;

Valor MA (P8) – é o valor médio aritmético do parâmetro analisado no ponto de coleta P8.

Tabela 9 - Estatística básica P1 (Água Natural)

| PARÂMETRO | N | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Primeiro Quartil | Terceiro Quartil | Desv. Padrão |
|----------------------------------------|----|-------|---------|--------|--------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 12 | 6,35 | 6,46 | 5,25 | 6,93 | 6,16 | 6,65 | 0,47 |
| Temperatura (°C) | 12 | 50,17 | 50,70 | 41,20 | 53,30 | 49,63 | 51,75 | 3,20 |
| Condutividade (mS/cm) | 12 | 0,156 | 0,148 | 0,127 | 0,225 | 0,147 | 0,156 | 0,024 |
| OD (mg/L) | 12 | 5,05 | 5,23 | 4,10 | 5,33 | 4,88 | 5,29 | 0,37 |
| DQO (mg/L) | 12 | 38,33 | 38,00 | 36,00 | 42,00 | 38,00 | 38,00 | 1,44 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) | 12 | 5,81 | 4,42 | 2,80 | 18,80 | 3,87 | 5,78 | 4,30 |
| Turbidez (NTU) | 12 | 1,82 | 1,25 | 0,25 | 7,58 | 0,78 | 1,87 | 1,99 |
| Cor (PtCo) | 12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sól. Totais (mg/L) | 12 | 1,56 | 1,55 | 1,00 | 2,30 | 1,30 | 1,76 | 0,36 |
| Sól. Suspensos Totais (mg/L) | 12 | 0,87 | 0,40 | 0,40 | 2,20 | 0,40 | 1,30 | 0,74 |
| Cádmio (mg Cd/L) | 6 | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,028 | 0,000 | 0,000 | 0,011 |
| Chumbo (mg Pb/L) | 6 | 0,047 | 0,000 | 0,000 | 0,160 | 0,000 | 0,090 | 0,073 |
| Zinco (mg Zn/L) | 6 | 0,036 | 0,024 | 0,016 | 0,096 | 0,017 | 0,037 | 0,031 |
| Ferro (mg Fe/L) | 6 | 0,153 | 0,078 | 0,000 | 0,424 | 0,019 | 0,272 | 0,179 |
| Cromo (mg Cr/L) | 6 | 0,039 | 0,032 | 0,000 | 0,104 | 0,004 | 0,060 | 0,041 |
| Cobre (mg Cu/L) | 6 | 0,019 | 0,020 | 0,012 | 0,024 | 0,013 | 0,024 | 0,006 |
| Manganês (mg Mn/L) | 6 | 0,014 | 0,008 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,025 | 0,017 |
| Prata (mg Ag/L) | 6 | 0,010 | 0,005 | 0,000 | 0,028 | 0,000 | 0,018 | 0,012 |
| Níquel (mg Ni/L) | 6 | 0,023 | 0,000 | 0,000 | 0,096 | 0,000 | 0,033 | 0,040 |

Legenda: N – nº de amostras, Primeiro quartil – corresponde a 25%, Terceiro quartil – corresponde a 75%.

Tabela 10 - Estatística básica P2 (Lavagem)

| PARÂMETRO | N | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Primeiro Quartil | Terceiro Quartil | Desv. Padrão |
|----------------------------------------|----|---------|---------|--------|---------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 12 | 11,87 | 11,91 | 11,49 | 12,04 | 11,79 | 12,00 | 0,16 |
| Temperatura (°C) | 12 | 45,65 | 45,70 | 39,80 | 51,40 | 45,18 | 46,55 | 2,66 |
| Condutividade (mS/cm) | 12 | 11,548 | 10,275 | 8,480 | 22,800 | 9,270 | 12,333 | 3,971 |
| OD (mg/L) | 12 | 4,31 | 4,22 | 4,11 | 4,82 | 4,18 | 4,34 | 0,23 |
| DQO (mg/L) | 11 | 1034,36 | 980,00 | 930,00 | 1500,00 | 960,00 | 1015,00 | 163,34 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) | 12 | 1105,20 | 1028,47 | 343,92 | 2027,20 | 834,07 | 1375,82 | 487,09 |
| Turbidez (NTU) | 12 | 98,25 | 100,33 | 69,40 | 138,60 | 87,29 | 108,08 | 18,77 |
| Cor (PtCo) | 12 | 166,42 | 162,40 | 156,88 | 188,93 | 159,15 | 170,96 | 9,82 |
| Sól. Totais (mg/L) | 12 | 108,88 | 110,45 | 97,80 | 119,90 | 108,18 | 110,83 | 5,87 |
| Sól. Suspensos Totais (mg/L) | 12 | 5,42 | 5,50 | 3,20 | 9,80 | 3,50 | 6,40 | 1,98 |

Legenda: N – nº de amostras, Primeiro quartil – corresponde a 25%, Terceiro quartil – corresponde a 75%.

Tabela 11 - Estatística básica P3 (Tingimento)

| PARÂMETRO | N | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Primeiro Quartil | Terceiro Quartil | Desv. Padrão |
|----------------------------------------|----|---------|---------|---------|---------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 12 | 10,88 | 10,82 | 10,71 | 11,11 | 10,76 | 11,05 | 0,16 |
| Temperatura (°C) | 12 | 51,10 | 52,00 | 39,80 | 54,90 | 50,55 | 53,20 | 3,91 |
| Condutividade (mS/cm) | 12 | 14,656 | 11,365 | 7,240 | 48,500 | 10,415 | 13,453 | 10,981 |
| OD (mg/L) | 12 | 3,72 | 3,81 | 3,23 | 3,98 | 3,60 | 3,90 | 0,24 |
| DQO (mg/L) | 11 | 1838,91 | 1838,00 | 1800,00 | 1875,00 | 1825,00 | 1860,00 | 26,91 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) | 12 | 935,77 | 912,50 | 287,92 | 1700,00 | 828,25 | 1098,46 | 351,88 |
| Turbidez (NTU) | 12 | 5310,00 | 5285,00 | 4940,00 | 5820,00 | 5070,00 | 5473,50 | 291,95 |
| Cor (PtCo) | 12 | 1798,55 | 1889,08 | 1171,15 | 1997,57 | 1700,69 | 1979,29 | 247,46 |
| Sól. Totais (mg/L) | 12 | 132,59 | 76,00 | 63,20 | 708,90 | 70,68 | 82,45 | 182,69 |
| Sól. Suspensos Totais (mg/L) | 12 | 9,97 | 9,90 | 7,40 | 14,40 | 8,65 | 10,70 | 1,90 |

Legenda: N – nº de amostras, Primeiro quartil – corresponde a 25%, Terceiro quartil – corresponde a 75%.

Tabela 12 - Estatística básica P4 (Engomagem)

| PARÂMETRO | N | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Primeiro Quartil | Terceiro Quartil | Desv. Padrão |
|----------------------------------------|----|--------|---------|--------|---------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 12 | 10,06 | 10,04 | 9,87 | 10,35 | 9,94 | 10,11 | 0,15 |
| Temperatura (°C) | 12 | 52,44 | 52,65 | 41,30 | 56,70 | 51,73 | 55,13 | 4,05 |
| Condutividade (mS/cm) | 12 | 3,247 | 2,865 | 1,350 | 5,950 | 2,420 | 4,090 | 1,327 |
| OD (mg/L) | 12 | 3,88 | 3,89 | 3,78 | 3,97 | 3,84 | 3,92 | 0,06 |
| DQO (mg/L) | 11 | 134,45 | 138,00 | 113,00 | 160,00 | 117,50 | 150,00 | 17,43 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) | 12 | 519,75 | 515,43 | 91,44 | 825,60 | 423,38 | 650,21 | 209,19 |
| Turbidez (NTU) | 12 | 426,93 | 405,60 | 80,00 | 1092,00 | 230,00 | 546,00 | 270,44 |
| Cor (PtCo) | 12 | 185,37 | 189,11 | 105,55 | 256,19 | 176,58 | 198,10 | 35,37 |
| Sól. Totais (mg/L) | 12 | 39,49 | 38,45 | 28,70 | 77,70 | 31,25 | 40,20 | 13,01 |
| Sól. Suspensos Totais (mg/L) | 12 | 1,02 | 0,60 | 0,04 | 4,40 | 0,40 | 1,30 | 1,17 |

Legenda: N – nº de amostras, Primeiro quartil – corresponde a 25%, Terceiro quartil – corresponde a 75%.

Tabela 13 - Estatística básica P5 (Amaciamento)

| PARÂMETRO | N | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Primeiro Quartil | Terceiro Quartil | Desv. Padrão |
|----------------------------------------|----|---------|---------|---------|---------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 11 | 9,21 | 9,31 | 8,95 | 9,41 | 8,99 | 9,35 | 0,19 |
| Temperatura (°C) | 11 | 46,22 | 46,30 | 42,50 | 50,20 | 45,10 | 47,85 | 2,36 |
| Condutividade (mS/cm) | 11 | 4,341 | 4,280 | 2,650 | 7,060 | 3,815 | 4,480 | 1,120 |
| OD (mg/L) | 11 | 2,90 | 2,93 | 2,68 | 3,10 | 2,77 | 3,06 | 0,16 |
| DQO (mg/L) | 11 | 3081,73 | 3200,00 | 2050,00 | 3670,00 | 2865,00 | 3372,50 | 443,95 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) | 11 | 226,96 | 168,72 | 97,54 | 886,40 | 158,28 | 180,50 | 220,21 |
| Turbidez (NTU) | 11 | 3282,54 | 2910,00 | 2836,67 | 7180,00 | 2859,64 | 2932,00 | 1293,23 |
| Cor (PtCo) | 12 | 1013,37 | 1004,72 | 908,34 | 1139,18 | 947,06 | 1083,68 | 84,06 |
| Sól. Totais (mg/L) | 11 | 384,21 | 381,50 | 331,80 | 441,10 | 362,15 | 407,20 | 33,79 |
| Sól. Suspensos Totais (mg/L) | 11 | 21,03 | 18,60 | 14,28 | 39,60 | 16,33 | 23,30 | 7,38 |

Legenda: N – nº de amostras, Primeiro quartil – corresponde a 25%, Terceiro quartil – corresponde a 75%.

Tabela 14 - Estatística básica P6 (Sanforizadeira)

| PARÂMETRO | N | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Primeiro Quartil | Terceiro Quartil | Desv. Padrão |
|----------------------------------------|----|-------|---------|--------|--------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 11 | 6,87 | 6,88 | 5,83 | 7,74 | 6,83 | 7,02 | 0,48 |
| Temperatura (°C) | 11 | 35,27 | 34,70 | 29,90 | 38,90 | 34,15 | 37,30 | 2,63 |
| Condutividade (mS/cm) | 11 | 0,135 | 0,125 | 0,118 | 0,172 | 0,122 | 0,141 | 0,018 |
| OD (mg/L) | 11 | 3,48 | 3,48 | 3,08 | 3,82 | 3,33 | 3,67 | 0,24 |
| DQO (mg/L) | 11 | 40,36 | 40,00 | 36,00 | 48,00 | 38,00 | 42,00 | 3,67 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) | 11 | 3,55 | 3,60 | 2,80 | 4,12 | 3,48 | 3,70 | 0,33 |
| Turbidez (NTU) | 11 | 24,20 | 26,28 | 1,82 | 28,80 | 24,65 | 27,65 | 7,61 |
| Cor (PtCo) | 11 | 2,80 | 1,78 | 1,05 | 13,28 | 1,65 | 2,02 | 3,49 |
| Sól. Totais (mg/L) | 11 | 46,11 | 39,20 | 25,00 | 126,60 | 36,50 | 45,20 | 27,63 |
| Sól. Suspensos Totais (mg/L) | 11 | 0,38 | 0,40 | 0,22 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,05 |

Legenda: N – nº de amostras, Primeiro quartil – corresponde a 25%, Terceiro quartil – corresponde a 75%.

Tabela 15 - Estatística básica P7 (Afluente)

| PARÂMETRO | N | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Primeiro Quartil | Terceiro Quartil | Desv. Padrão |
|----------------------------------------|----|---------|---------|---------|---------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 12 | 11,25 | 11,25 | 11,04 | 11,49 | 11,15 | 11,34 | 0,15 |
| Temperatura (°C) | 12 | 41,70 | 41,35 | 38,00 | 47,30 | 39,73 | 42,35 | 2,96 |
| Condutividade (mS/cm) | 12 | 7,373 | 7,125 | 5,390 | 14,550 | 6,115 | 7,390 | 2,377 |
| OD (mg/L) | 12 | 2,41 | 2,41 | 2,21 | 2,61 | 2,33 | 2,49 | 0,12 |
| DQO (mg/L) | 11 | 879,18 | 875,00 | 713,00 | 980,00 | 863,00 | 919,50 | 69,28 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) | 12 | 1050,01 | 1164,14 | 264,96 | 1778,00 | 806,63 | 1316,46 | 456,34 |
| Turbidez (NTU) | 12 | 1597,50 | 1645,00 | 1000,00 | 2410,00 | 1172,50 | 2000,00 | 485,82 |
| Cor (PtCo) | 12 | 1156,77 | 1130,33 | 909,89 | 1410,25 | 1062,65 | 1254,48 | 147,31 |
| Sól. Totais (mg/L) | 12 | 107,47 | 79,50 | 63,60 | 405,60 | 70,70 | 97,53 | 94,87 |
| Sól. Suspensos Totais (mg/L) | 12 | 5,72 | 6,20 | 4,40 | 6,80 | 4,80 | 6,45 | 0,98 |
| Cádmio (mg Cd/L) | 6 | 0,030 | 0,016 | 0,000 | 0,120 | 0,003 | 0,028 | 0,045 |
| Chumbo (mg Pb/L) | 6 | 0,225 | 0,025 | 0,000 | 0,700 | 0,000 | 0,463 | 0,331 |
| Zinco (mg Zn/L) | 6 | 0,136 | 0,125 | 0,084 | 0,190 | 0,120 | 0,160 | 0,038 |
| Ferro (mg Fe/L) | 6 | 0,410 | 0,387 | 0,095 | 0,900 | 0,241 | 0,470 | 0,281 |
| Cromo (mg Cr/L) | 6 | 0,115 | 0,066 | 0,000 | 0,340 | 0,013 | 0,185 | 0,137 |
| Cobre (mg Cu/L) | 6 | 0,083 | 0,085 | 0,052 | 0,100 | 0,080 | 0,095 | 0,017 |
| Manganês (mg Mn/L) | 6 | 0,071 | 0,050 | 0,016 | 0,150 | 0,040 | 0,105 | 0,052 |
| Prata (mg Ag/L) | 6 | 0,025 | 0,014 | 0,000 | 0,060 | 0,002 | 0,050 | 0,028 |
| Níquel (mg Ni/L) | 6 | 0,185 | 0,200 | 0,076 | 0,300 | 0,149 | 0,200 | 0,076 |

Legenda: N – nº de amostras, Primeiro quartil – corresponde a 25%, Terceiro quartil – corresponde a 75%.

Tabela 16 - Estatística básica P8 (Efluente)

| PARÂMETRO | N | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Primeiro Quartil | Terceiro Quartil | Desv. Padrão |
|----------------------------------------|----|--------|---------|--------|---------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 12 | 8,10 | 8,10 | 7,74 | 8,63 | 7,86 | 8,29 | 0,27 |
| Temperatura (°C) | 12 | 35,42 | 35,00 | 33,90 | 38,20 | 34,78 | 35,68 | 1,19 |
| Condutividade (mS/cm) | 12 | 6,224 | 6,120 | 4,340 | 10,880 | 5,345 | 6,613 | 1,670 |
| OD (mg/L) | 12 | 4,68 | 4,68 | 4,58 | 4,85 | 4,63 | 4,71 | 0,07 |
| DQO (mg/L) | 11 | 202,73 | 190,00 | 175,00 | 300,00 | 186,50 | 210,00 | 34,77 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) | 12 | 911,28 | 866,61 | 233,84 | 1838,00 | 690,73 | 1133,61 | 461,62 |
| Turbidez (NTU) | 12 | 221,05 | 237,10 | 20,00 | 490,00 | 124,35 | 290,25 | 131,02 |
| Cor (PtCo) | 12 | 180,15 | 169,71 | 92,21 | 296,77 | 142,65 | 217,49 | 55,82 |
| Sól. Totais (mg/L) | 12 | 63,21 | 64,00 | 48,20 | 73,00 | 61,28 | 65,65 | 6,67 |
| Sól. Suspensos Totais (mg/L) | 12 | 2,58 | 1,40 | 1,00 | 4,40 | 1,40 | 4,40 | 1,61 |
| Cádmio (mg Cd/L) | 6 | 0,049 | 0,030 | 0,000 | 0,150 | 0,017 | 0,060 | 0,055 |
| Chumbo (mg Pb/L) | 6 | 0,190 | 0,020 | 0,000 | 0,600 | 0,000 | 0,385 | 0,281 |
| Zinco (mg Zn/L) | 6 | 0,257 | 0,090 | 0,032 | 1,120 | 0,080 | 0,123 | 0,424 |
| Ferro (mg Fe/L) | 6 | 0,253 | 0,273 | 0,030 | 0,460 | 0,101 | 0,395 | 0,183 |
| Cromo (mg Cr/L) | 6 | 0,089 | 0,018 | 0,000 | 0,270 | 0,004 | 0,178 | 0,125 |
| Cobre (mg Cu/L) | 6 | 0,065 | 0,075 | 0,024 | 0,080 | 0,060 | 0,080 | 0,022 |
| Manganês (mg Mn/L) | 6 | 0,079 | 0,055 | 0,020 | 0,160 | 0,037 | 0,130 | 0,061 |
| Prata (mg Ag/L) | 6 | 0,023 | 0,009 | 0,000 | 0,060 | 0,002 | 0,048 | 0,029 |
| Níquel (mg Ni/L) | 6 | 0,182 | 0,168 | 0,056 | 0,300 | 0,109 | 0,275 | 0,103 |

Legenda: N – nº de amostras, Primeiro quartil – corresponde a 25%, Terceiro quartil – corresponde a 75%.

5.2. PARÂMETRO MICROBIOLÓGICO

5.2.1. Coliformes Termotolerantes

Devido à indústria possuir um pré-tratamento que recebe apenas efluente líquido industrial, não se verificou a presença de coliformes durante quatro semanas de monitoramento, onde posteriormente paramos de realizar estas análises devido à repetição do seu resultado (zero).

Só tem importância quando se incorpora ao esgoto industrial o esgoto doméstico.

5.3. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

5.3.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH dos pontos P1 a P8 estão representados nas Tabelas 9 a 16 – Estatística básica e nas Figuras 7 e 8 (gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração do pH e a Variação temporal do pH).

Os valores médios dos pontos P1 a P8 variaram de 6,35 a 11,87. Os valores médios dos pontos P1 e P6 se aproximaram da condição de neutralidade devido ser água natural. Os valores médios dos outros pontos ficaram na faixa de 8,10 a 11,87, devido a presença de soda nos processos, principalmente, de umectação (P2) e tingimento (P3).

Após o pré-tratamento o valor médio na saída da ETE, ponto P8, foi de 8,10.

De acordo com os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, o pH recomendado é na faixa de 6 – 9, estando o efluente portanto dentro dos padrões permitidos.

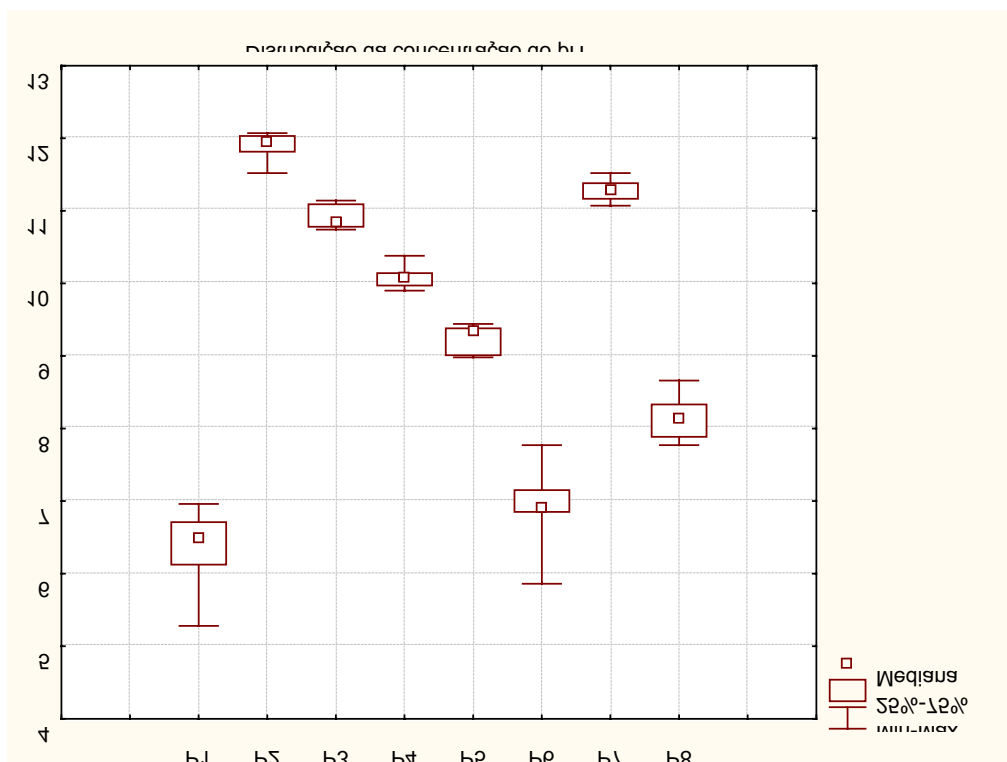


Figura 7 – Gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração do pH

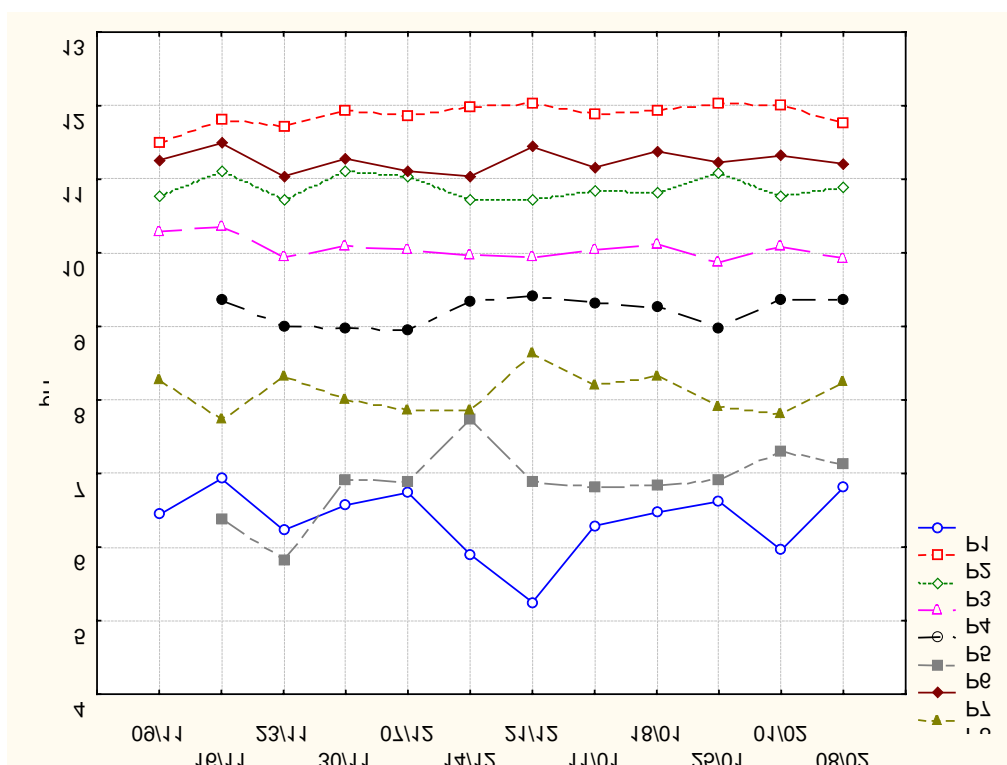


Figura 8 – Variação Temporal do pH

5.3.2. Temperatura

Nas Tabelas 9 a 16 – Estatística básica – encontrou-se os valores de temperatura de todos os pontos, os quais também estão representados nas Figuras 9 e 10 (gráfico Box & Whisker da Distribuição da concentração de Temperatura e a Variação temporal da Temperatura).

A variação nos valores médios (P1 a P8) ficaram na faixa de 35,27°C a 52,44°C. Os valores médios de temperatura mais baixos foram encontrados nos pontos P6 (35,27°C) e P8 (35,42°C), onde se localiza o acabamento têxtil (água natural para resfriamento do cilindro da Sanforizadeira) e a saída da ETE (pré-tratamento), respectivamente.

Os valores médios mais altos de temperatura foram verificados nos pontos P1 (50,17°C), P3 (51,10°C) e P4 (52,44°C), onde P1 é água natural de abastecimento do processo industrial pré-aquecida, P3 é caixa de tingimento e P4 localiza-se no processo de engomagem, todos esses pontos trabalham com altas temperaturas.

Após o pré-tratamento o valor médio encontrado na saída da ETE, ponto P8, foi de 35,42°C.

De acordo com os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, a temperatura recomendada é 40°C, e assim, o efluente se encontra dentro do limite estabelecido.

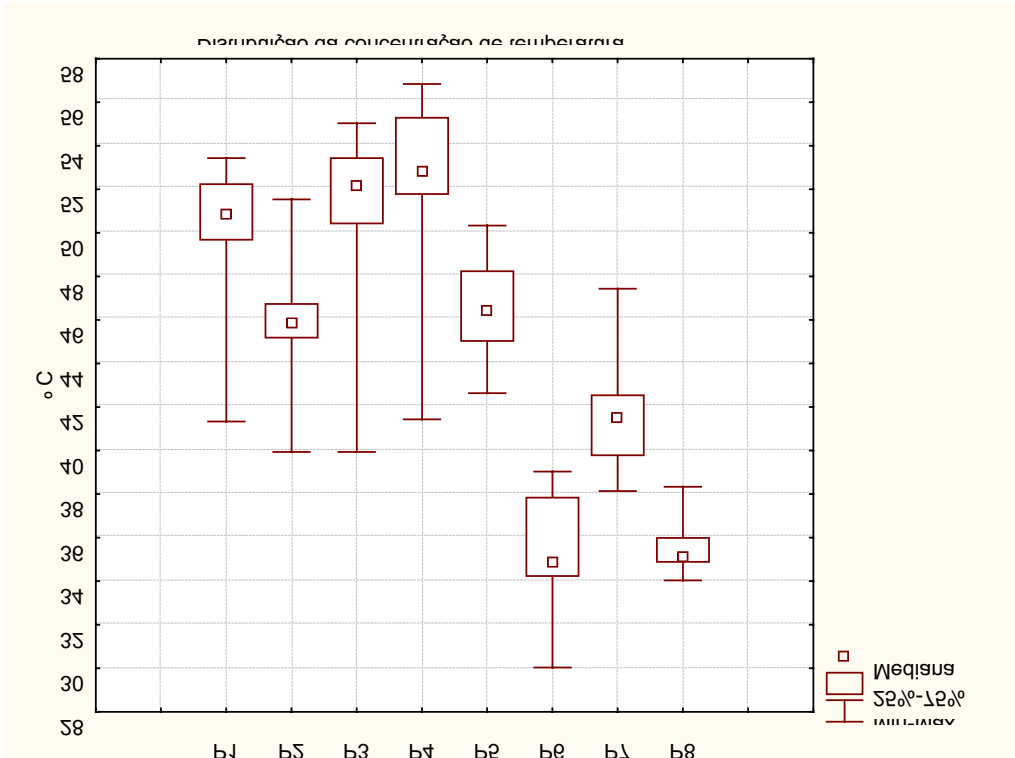


Figura 9 – Gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração da temperatura

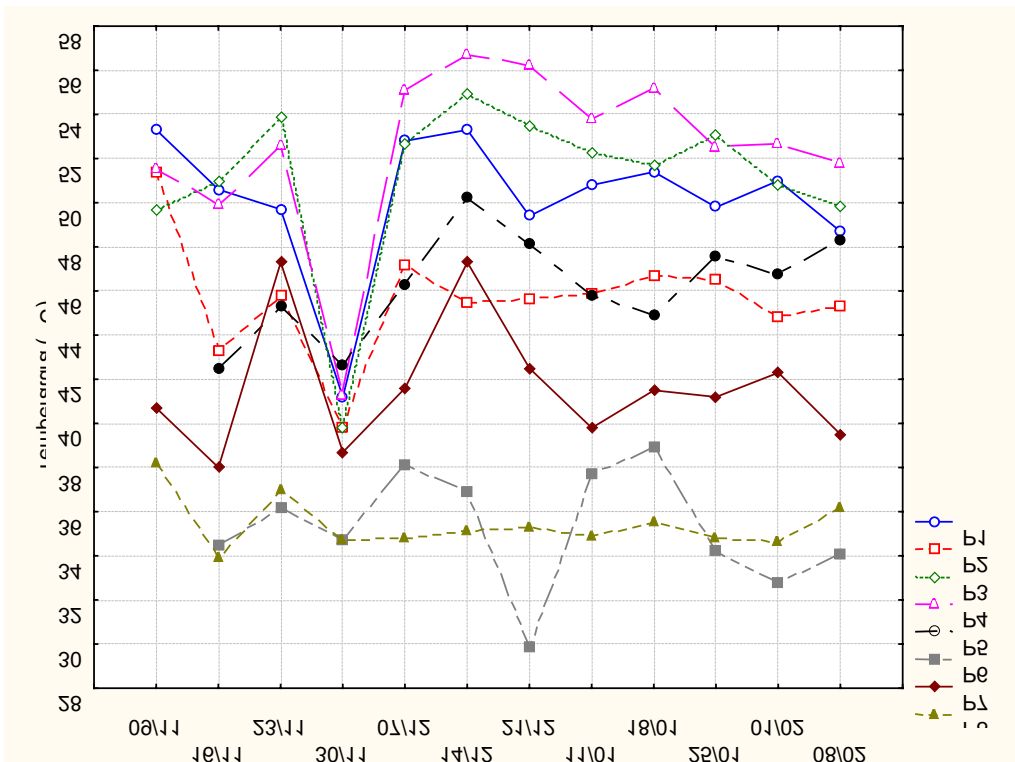


Figura 10 – Variação Temporal da temperatura

5.3.3. Condutividade Elétrica (CE)

Pode-se observar nas Tabelas 9 a 16, a Estatística Básica dos pontos P1 a P8, e nas Figuras 11 e 12 (gráfico Box & Whisker da Distribuição da concentração da Condutividade Elétrica e a Variação temporal da Condutividade Elétrica de todos os pontos).

Mostrou-se também a representação individual dos pontos P1 e P6 para melhor visualização dos resultados. Nas Figuras 13 e 15 - Distribuição da concentração da CE (gráfico Box & Whisker), e nas Figuras 14 e 16 - Variação Temporal da CE.

O ponto P1 – água natural - obteve o menor valor médio (0,16 mS/cm) e o ponto P3 – caixa de tingimento, onde ocorre a adição de vários auxiliares químicos - o maior valor médio (14,66 mS/cm).

Na coleta 09/11/2006 ocorreu um pico no ponto P3 – caixa de tingimento, provavelmente devido a troca de banho, pois a indústria em estudo faz manutenção preventiva sempre no início do mês.

Após o pré-tratamento o valor médio encontrado na saída da ETE, ponto P8, foi de 6,22 mS/cm = 6,22 dS/cm.

Como não há valor limite de referência para CE segundo os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, realizou-se então uma análise de acordo com os “Critérios de Avaliação para Reutilização da Água Residuária Tratada em Irrigação de Campos de Esportes, Pátios de Colégios e Indústrias, Parques e jardins com contato público (Brito, 1999), onde o valor do efluente final (P8) após ajustes de unidades de medidas, enquadra-se em Grau de Risco Elevado para uso, conforme Anexo 3.

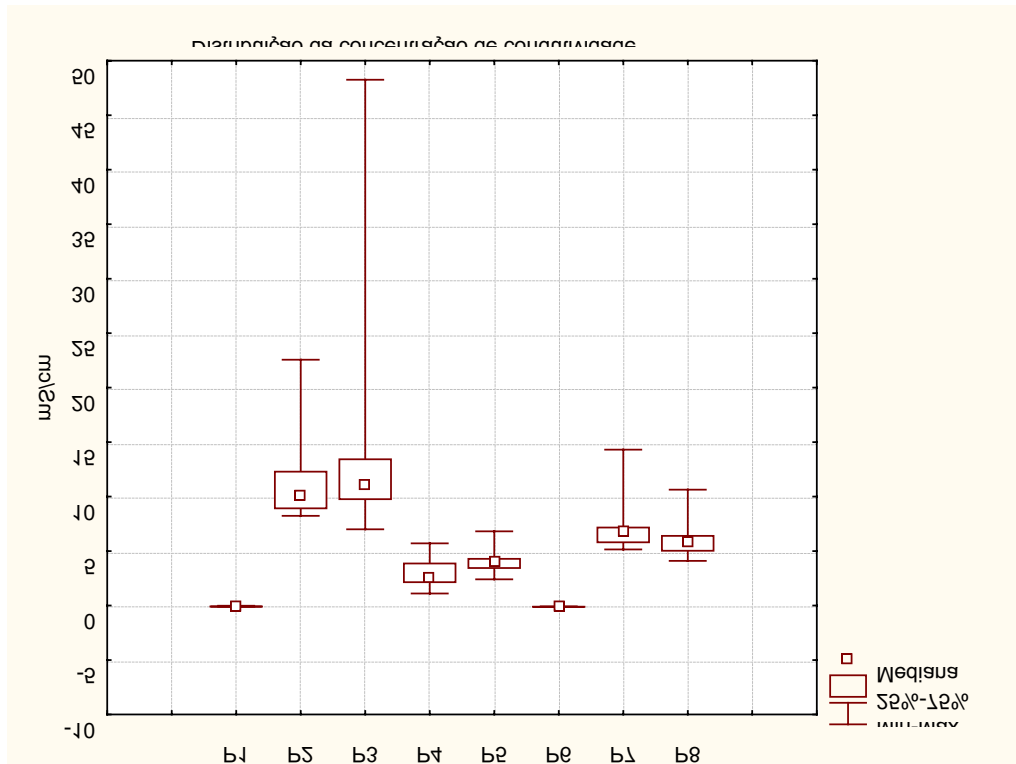


Figura 11 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração da Condutividade Elétrica

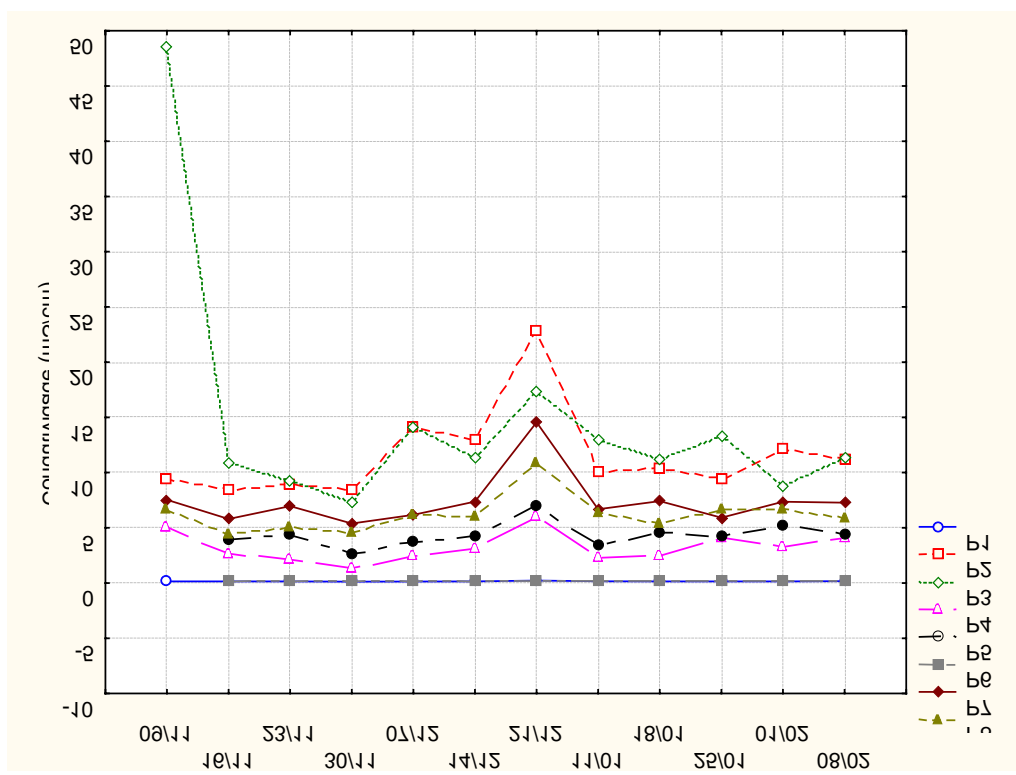


Figura 12 – Variação Temporal da Condutividade Elétrica

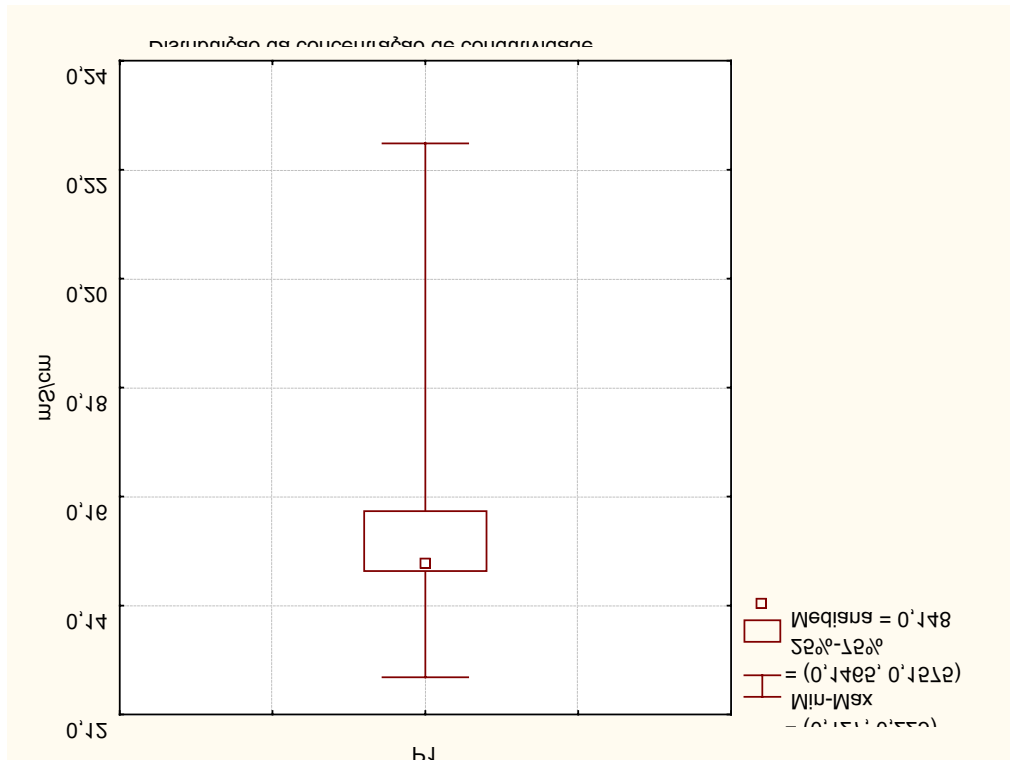


Figura 13 - Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração da Condutividade Elétrica no Ponto P1

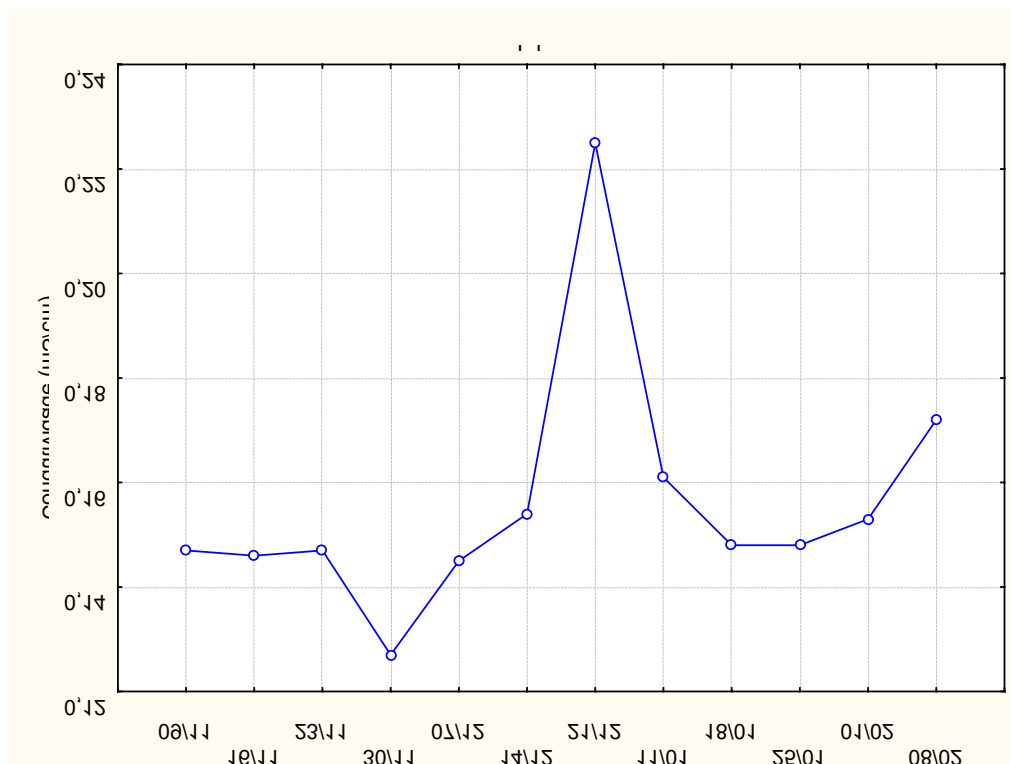


Figura 14 - Variação Temporal da Condutividade Elétrica no ponto P1

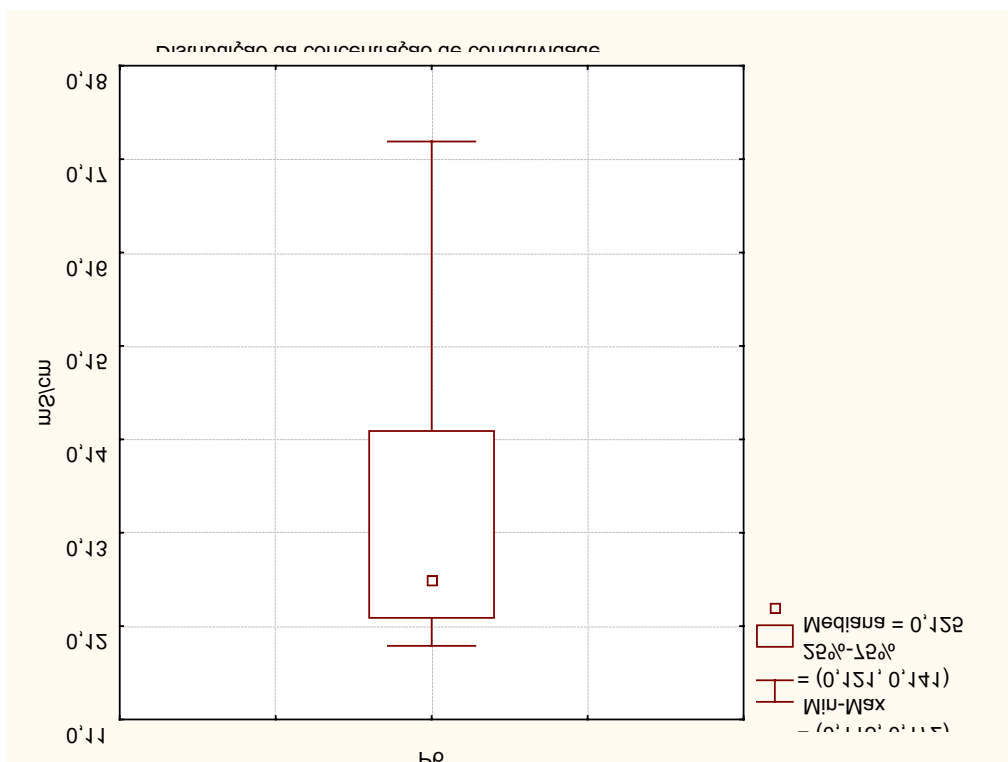


Figura 15 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração da Condutividade Elétrica no ponto P6

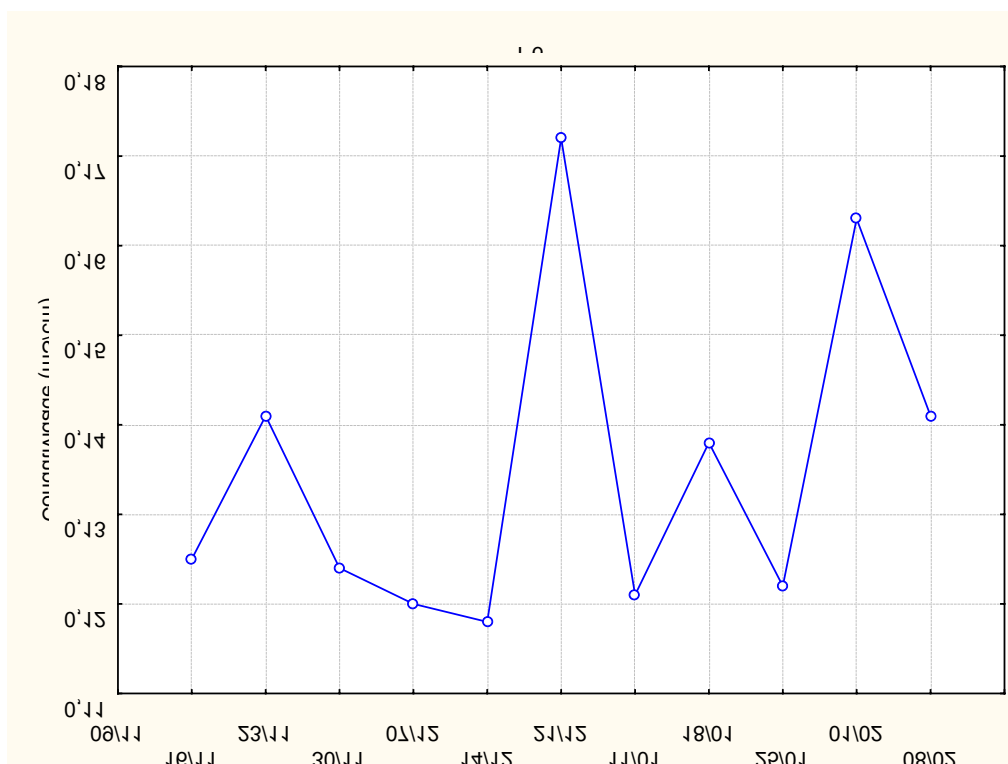


Figura 16 - Variação Temporal da Condutividade Elétrica no ponto P6

5.3.4. Oxigênio Dissolvido (OD)

Os valores de OD dos pontos P1 a P8 estão representados nas Tabelas 9 a 16 – Estatística básica e nas Figuras 17 e 18 (gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração de OD e a Variação temporal de OD).

Os valores médios dos pontos P1 a P8 variaram de 2,41 a 5,05 mg/L. O valor médio mais baixo encontrado foi de 2,41 mg/L no ponto P7 – entrada da ETE (pré-tratamento), e o maior valor médio verificado foi no ponto P1, 5,05 mg/L, água natural de abastecimento do processo industrial.

Após o pré-tratamento o valor médio encontrado na saída da ETE, ponto P8, foi de 4,68 mg/L. O fato da recuperação do oxigênio dissolvido em relação à entrada e saída da ETE, explica-se devido à boa aeração nos processos utilizados na ETE em estudo.

Como não há valor limite de referência para OD segundo os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, realizou-se então uma análise de acordo com as “Condições e Padrões de corpos receptores classe 2 (Resolução n.º 357/2005 – CONAMA), disposta no item 3.6.2.1., que estabelece valor de OD > 5mg/LO₂, portanto o efluente de saída da ETE (P8) encontra-se abaixo dos limites de referência adotado.

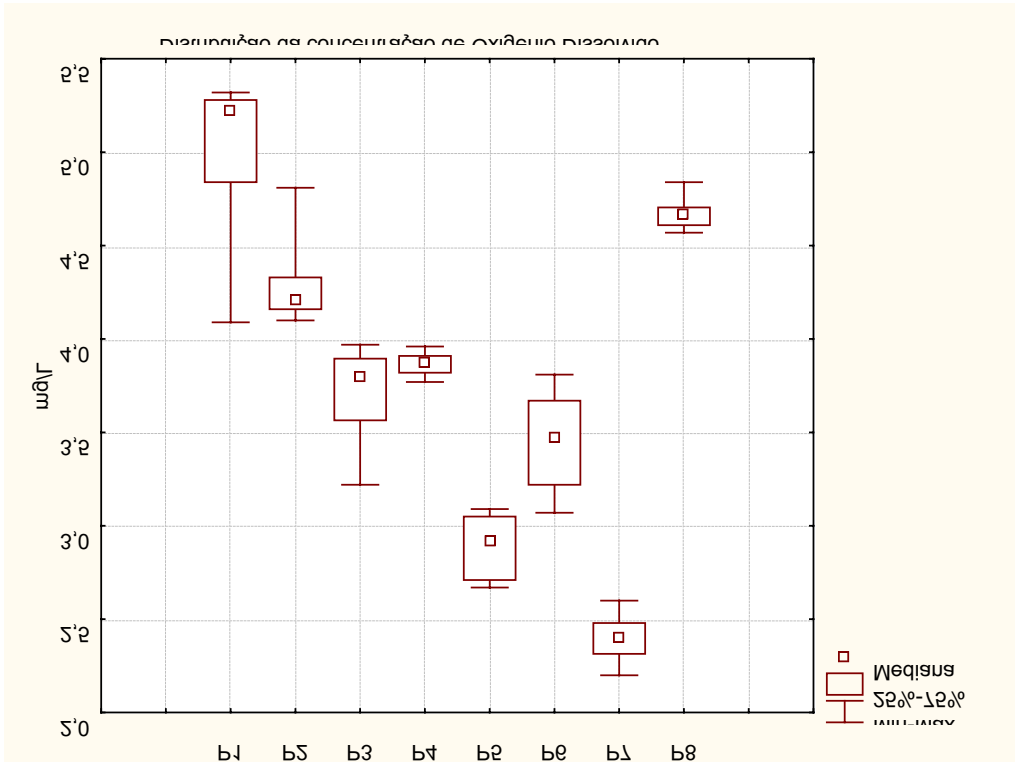


Figura 17 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Oxigênio Dissolvido

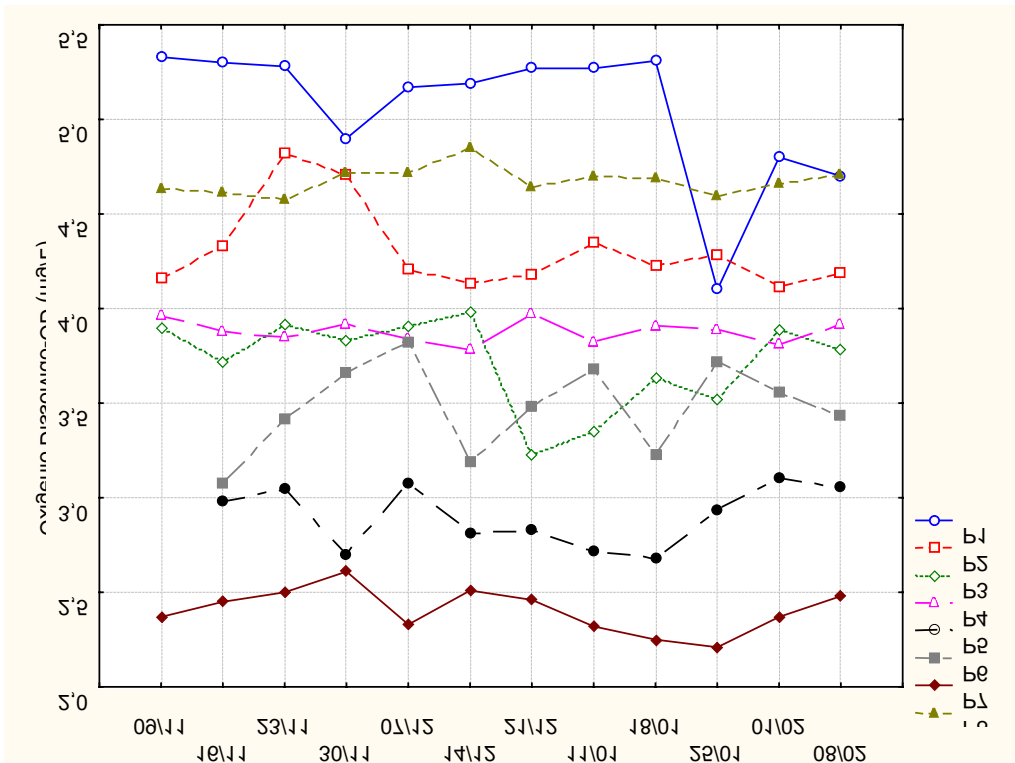


Figura 18 - Variação Temporal de Oxigênio Dissolvido

5.3.5. Alcalinidade Total

Os valores encontrados para Alcalinidade Total são visualizados através das Tabelas 9 a 16 - Estatística básica e das Figuras 19 e 20 (gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração da Alcalinidade Total e a Variação temporal da Alcalinidade Total de todos os pontos).

A representação individual dos pontos P1 e P6 está visualizada nas Figuras 21 e 23 - Distribuição da concentração da Alcalinidade Total (gráfico Box & Whisker), e nas Figuras 22 e 24 - Variação Temporal da Alcalinidade Total, para melhor visualização dos resultados.

Os valores médios apresentados variam de 5,81 a 1105,20 mgCaCO₃/L entre os pontos P1 a P8. O menor valor médio mostra-se no ponto P1 água natural para abastecimento industrial e o maior valor médio no ponto P2 devido a grande utilização de soda nesta etapa do processo.

Após o pré-tratamento o valor médio encontrado na saída da ETE, ponto P8, foi de 911,28 mgCaCO₃/L.

Não há valor limite para referência segundo os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, neste parâmetro.

Os altos valores de alcalinidade total obtidos no ponto P2 (AT = 1105,20 mgCaCO₃/L com pH = 11,87) é ocasionado principalmente por carbonatos, e os valores obtidos nos pontos P1 (AT = 5,81 mgCaCO₃/L com pH = 6,35) e P8 (AT = 911,28 mgCaCO₃/L com pH = 8,10) é provocado pela presença de bicarbonatos e carbonatos, segundo Hammer, 1979, que define:

pH > 8,3 – Alcalinidade provocada por carbonatos;

pH entre 4,5 e 8,3 – Alcalinidade provocada por bicarbonatos e carbonatos.

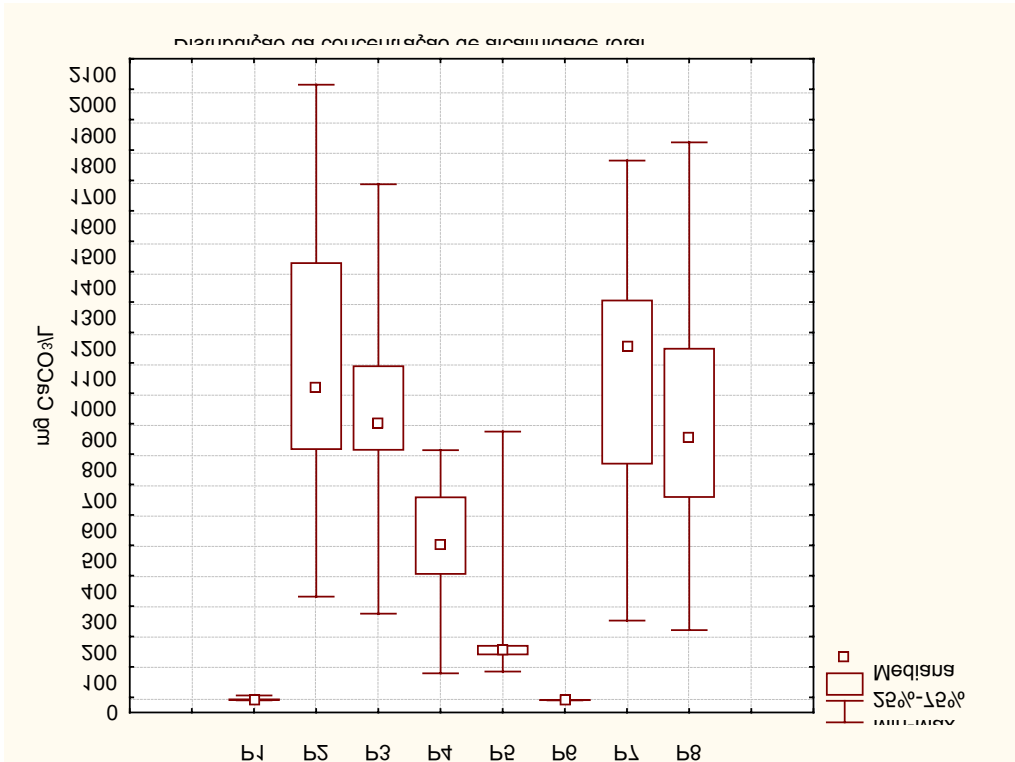


Figura 19 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Alcalinidade Total

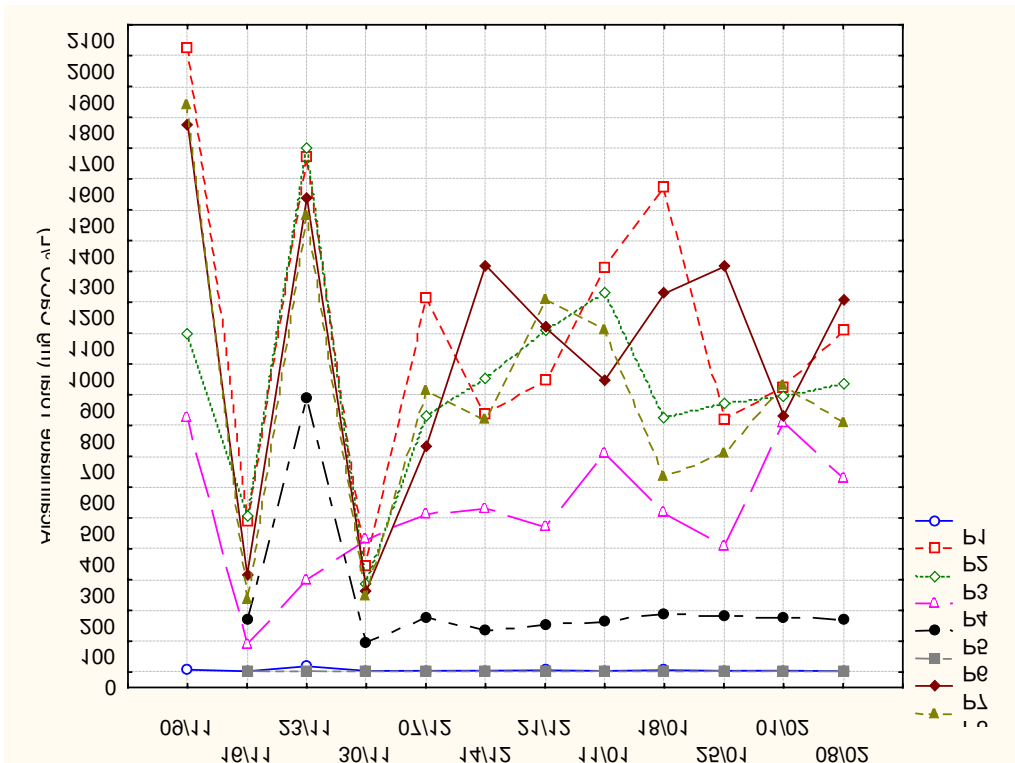


Figura 20 - Variação Temporal de Alcalinidade Total

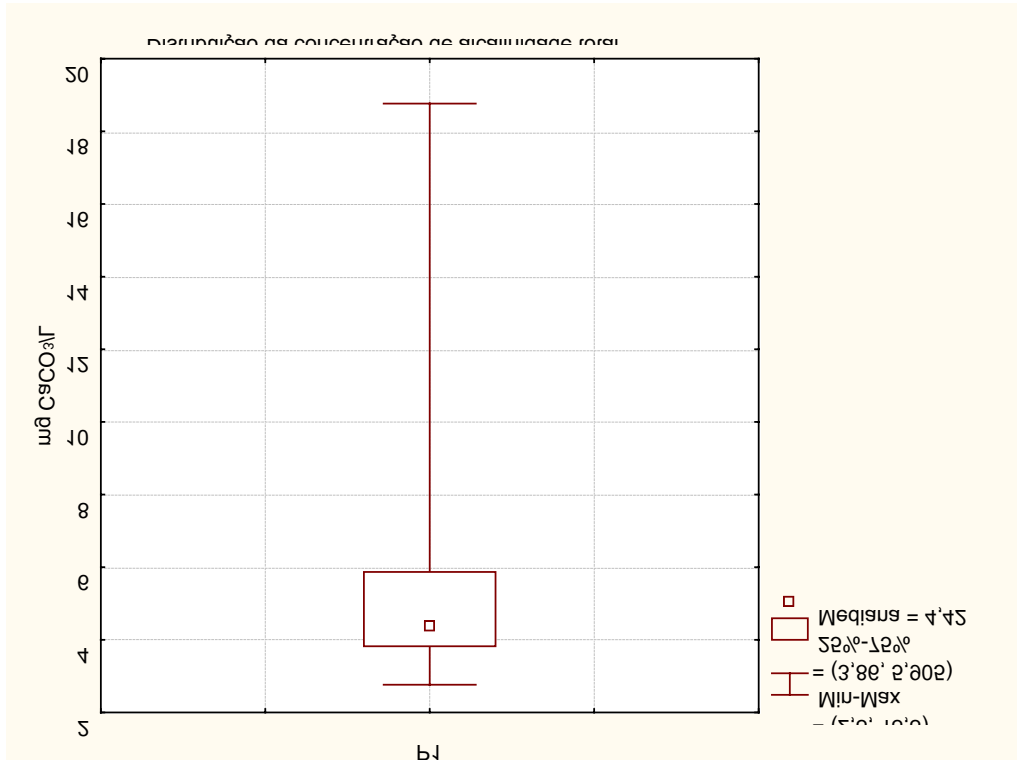


Figura 21 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Alcalinidade Total no ponto P1

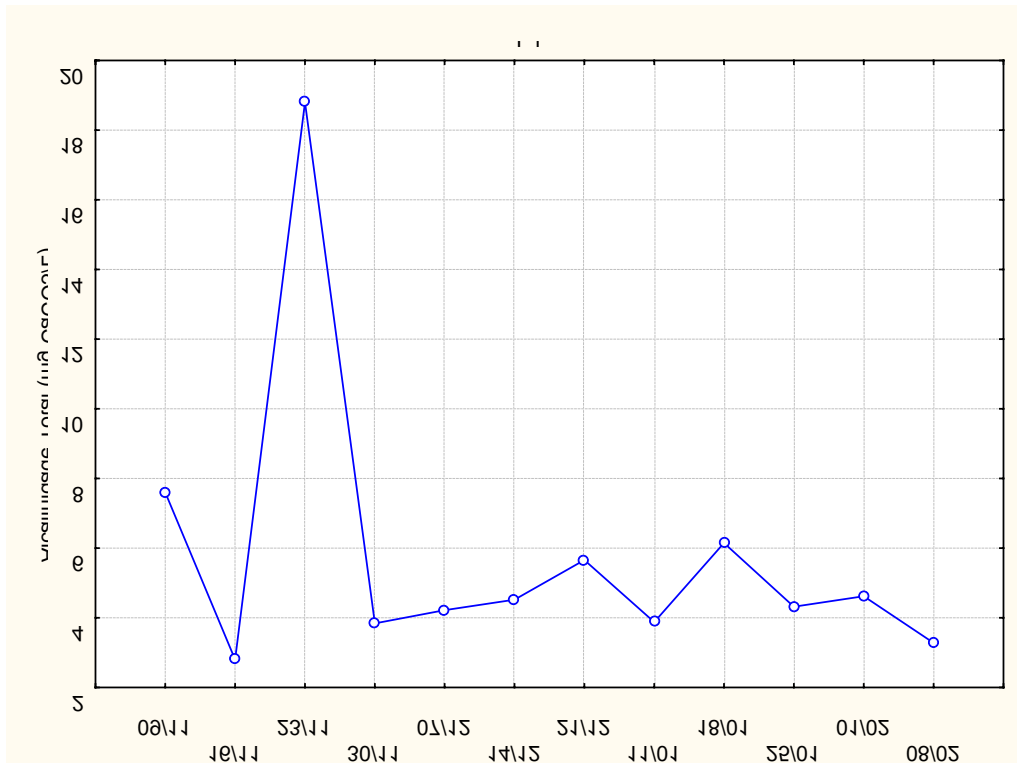


Figura 22 - Variação Temporal de Alcalinidade Total no ponto P1

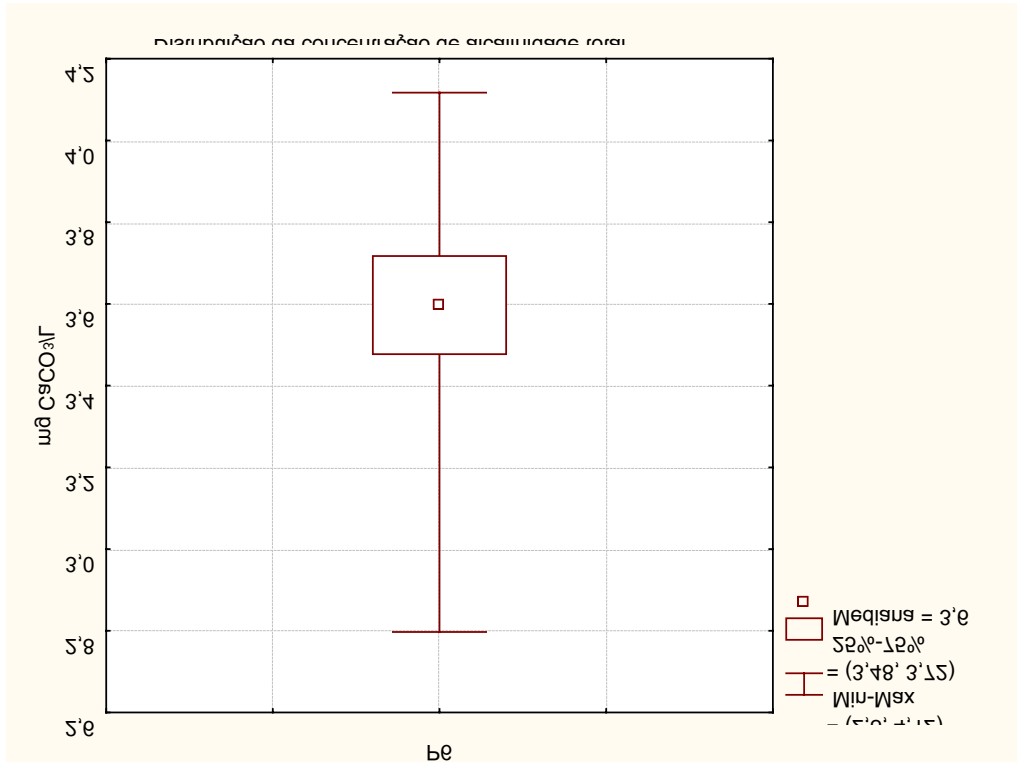


Figura 23 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Alcalinidade Total no ponto P6

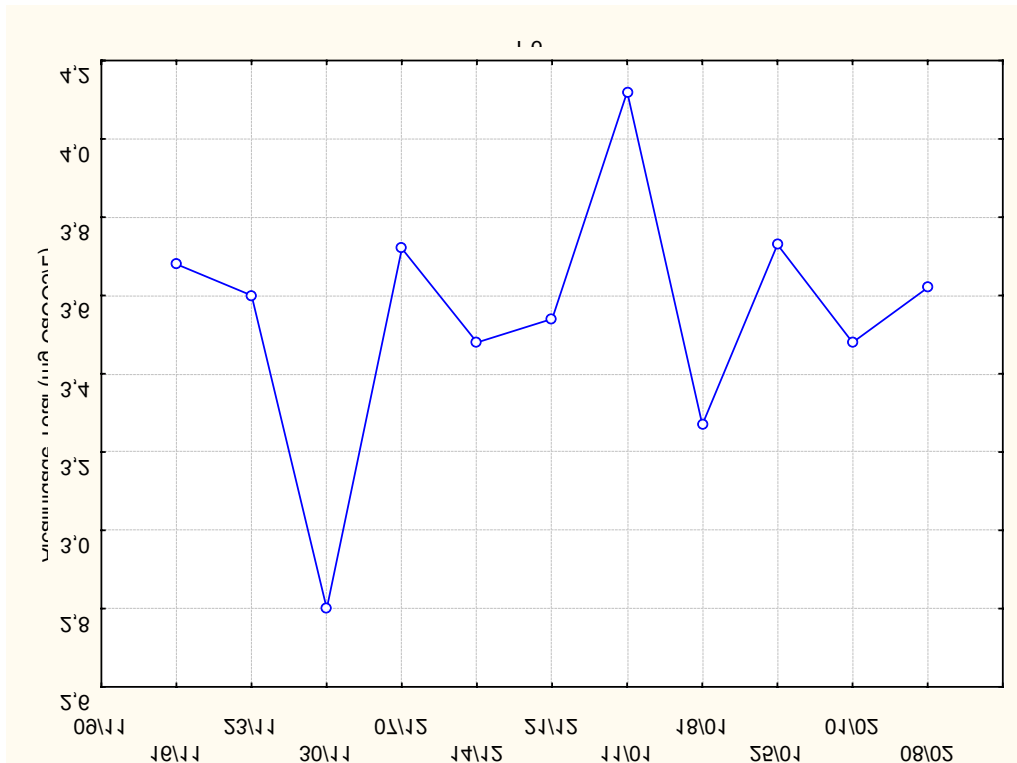


Figura 24 - Variação Temporal de Alcalinidade Total no ponto P6

5.3.6. Turbidez

Está apresentado nas Tabelas 9 a 16 - Estatística básica e nas Figuras 25 e 26 (gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração da Turbidez e a Variação temporal da Turbidez de todos os pontos).

A representação individual dos pontos P1, P2 e P6 está visualizada nas Figuras 27, 29 e 31 - Distribuição da concentração da Turbidez (gráfico Box & Whisker) e nas Figuras 28, 30 e 32 – Variação temporal da Turbidez, para melhor visualização dos resultados.

Os valores médios monitorados variam de 1,82 a 5310 NTU. O menor valor médio encontra-se no ponto P1 (água natural para abastecimento industrial) e os maiores valores médios nos pontos P3 (tingimento) e P5 (amaciamiento - acabamento), onde são adicionados produtos químicos como corante, soda, redutores, amaciantes, goma e umectantes.

Após o pré-tratamento o valor médio encontrado na saída da ETE, ponto P8, foi de 221,05 NTU.

Como não há valor limite de referência para Turbidez segundo os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, realizou-se então uma análise de acordo com as “Condições e Padrões de corpos receptores classe 2 (Resolução n.º 357/2005 – CONAMA), disposta no item 3.6.2.1. dessa dissertação, que estabelece valor de Turbidez até 100 NTU, portanto o efluente de saída da ETE (P8) não mostrou um resultado satisfatório em relação ao padrão estabelecido.

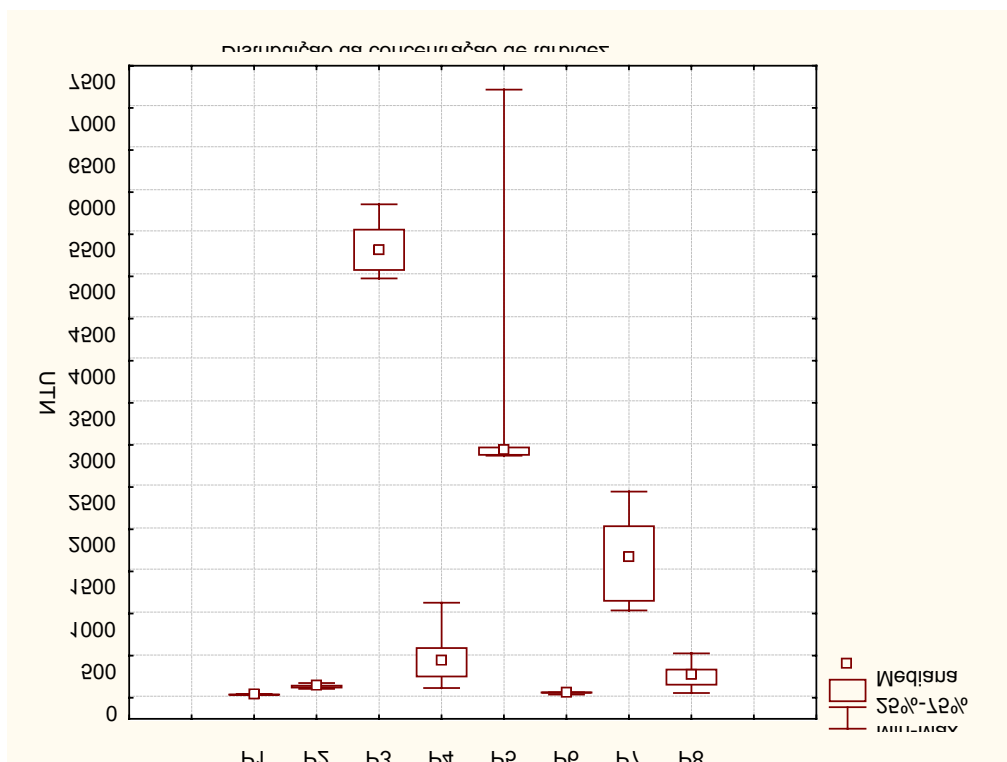


Figura 25 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Turbidez

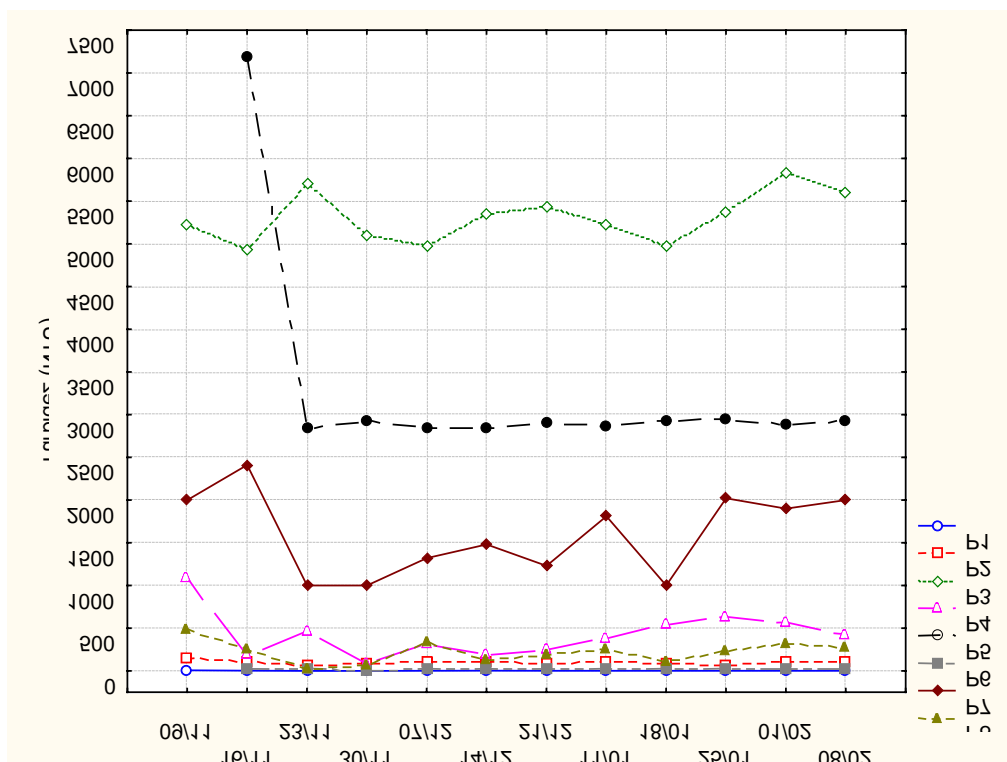


Figura 26 - Variação Temporal de Turbidez

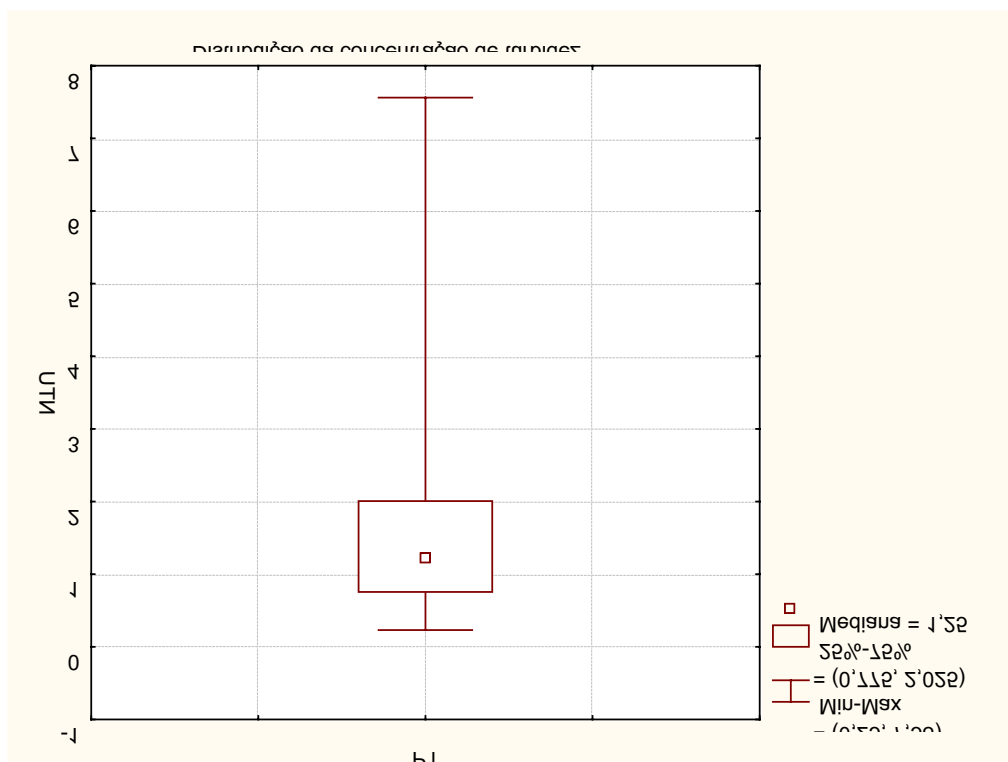


Figura 27 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Turbidez no ponto P1

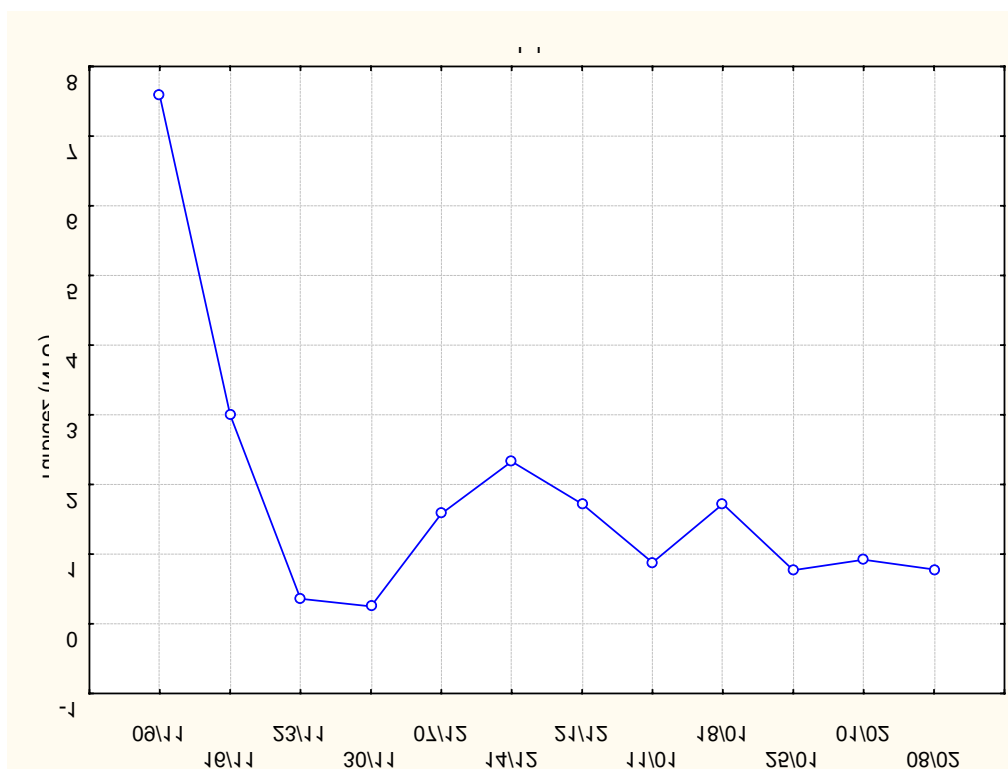


Figura 28 - Variação Temporal de Turbidez no ponto P1

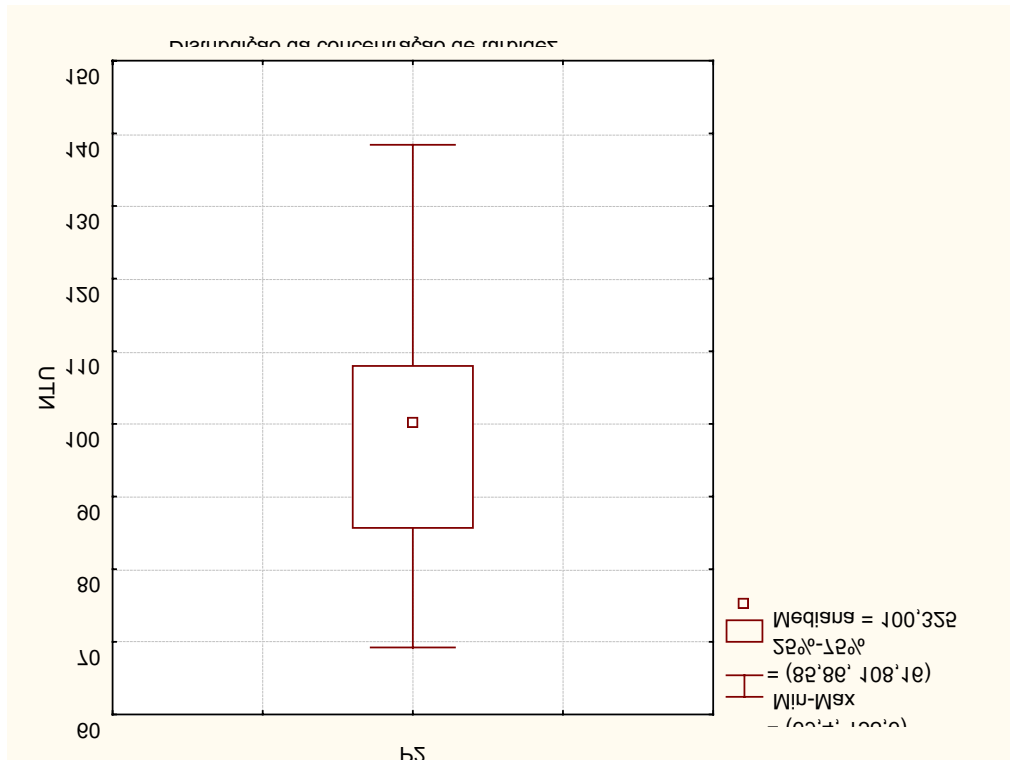


Figura 29 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Turbidez no ponto P2

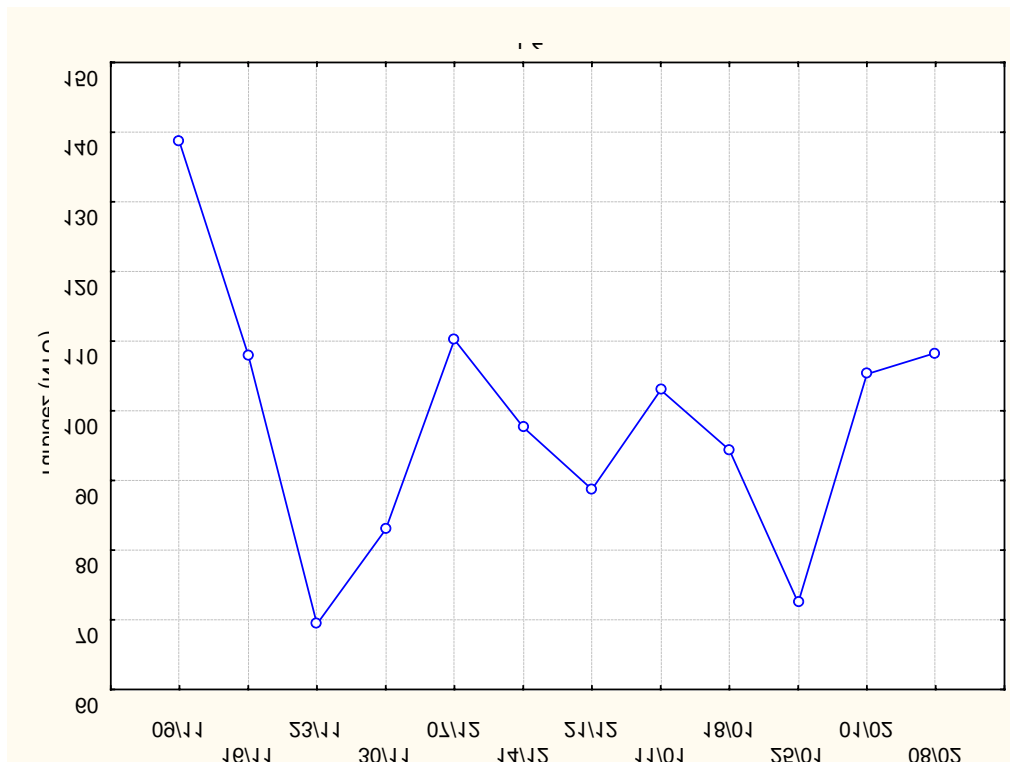


Figura 30 - Variação Temporal de Turbidez no ponto P2

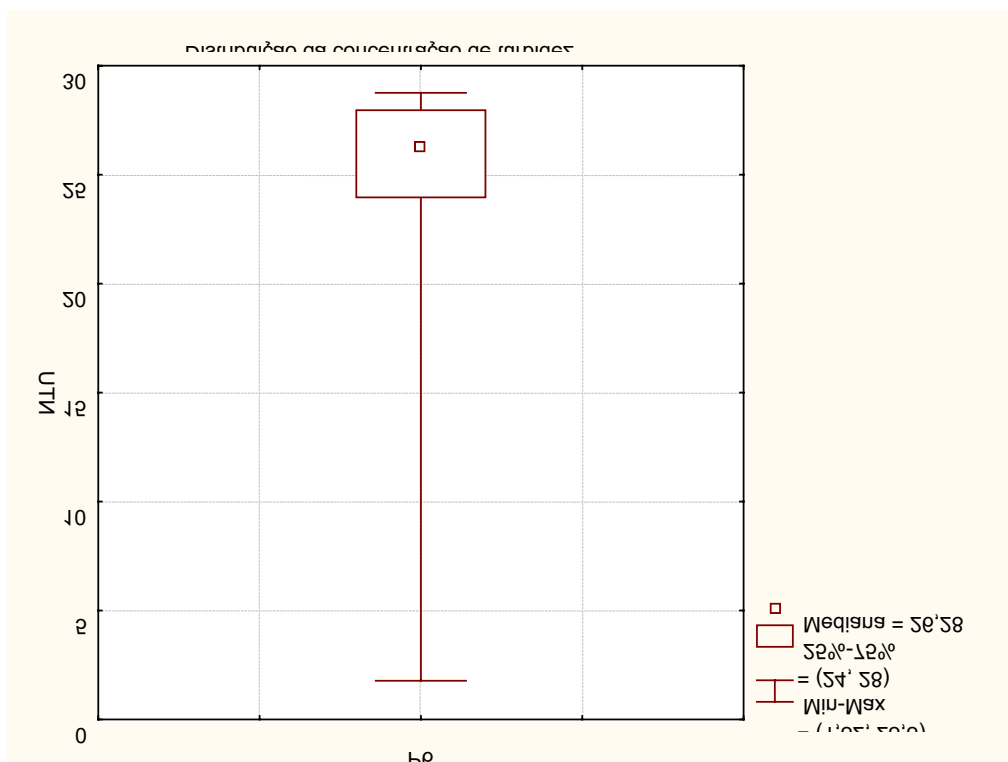


Figura 31 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Turbidez no ponto P6

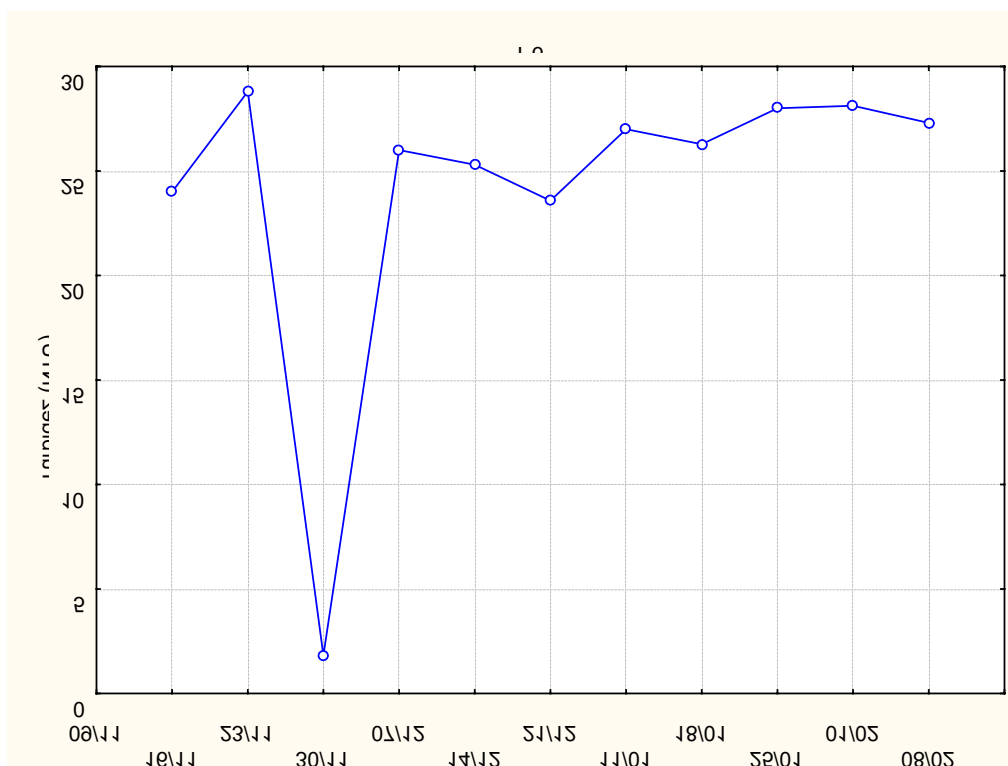


Figura 32 - Variação Temporal de Turbidez no ponto P6

5.3.7. Cor

Pode-se observar nas Tabelas 9 a 16, a Estatística Básica dos pontos P1 a P8, e nas Figuras 33 e 34 (gráfico Box & Whisker da Distribuição de Cor e a Variação temporal da Cor de todos os pontos).

Apresentou-se também os resultados individualmente dos pontos P1, P2 e P6, para melhor visualização dos resultados, através das Figuras 35, 37 e 39 - Distribuição de Cor (gráfico Box & Whisker), e das Figuras 36, 38 e 40 – Variação Temporal da Cor.

A variação encontrada no monitoramento se mostrou na faixa de 2,80 a 1798,55 mgPtCo/L

Não se encontrou valores de cor (inexistência de cor) em todas as análises do ponto P1, devido ser água natural proveniente de poço particular da indústria com 90 metros de profundidade.

No ponto P6 se verificou o menor valor médio (2,80 mgPtCo/L), devido também ser água natural utilizada apenas para resfriamento de cilindro da sanforizadeira no acabamento têxtil.

No ponto P3 registramos o maior valor médio (1798,55 mgPtCo/L), onde se localiza a caixa de tingimento – presença do corante índigo e outros auxiliares químicos.

Na saída da ETE no ponto P8, após pré-tratamento, encontramos o valor médio de 180,15 mgPtCo/L.

De acordo com os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, o valor de cor verdadeira admitido é até 300uH.

Como a unidade “uH” é equivalente a unidade “mgPtCo/L”, então o valor do efluente de saída no ponto P8 encontra-se dentro dos limites estabelecidos.

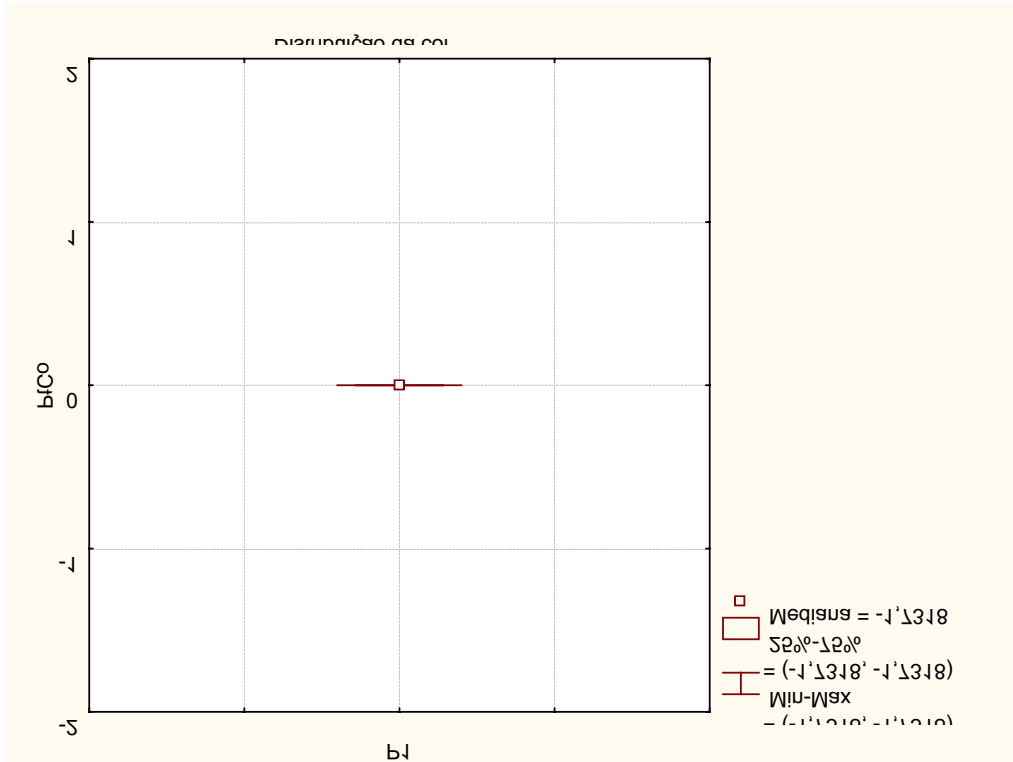


Figura 35 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de Cor no ponto P1

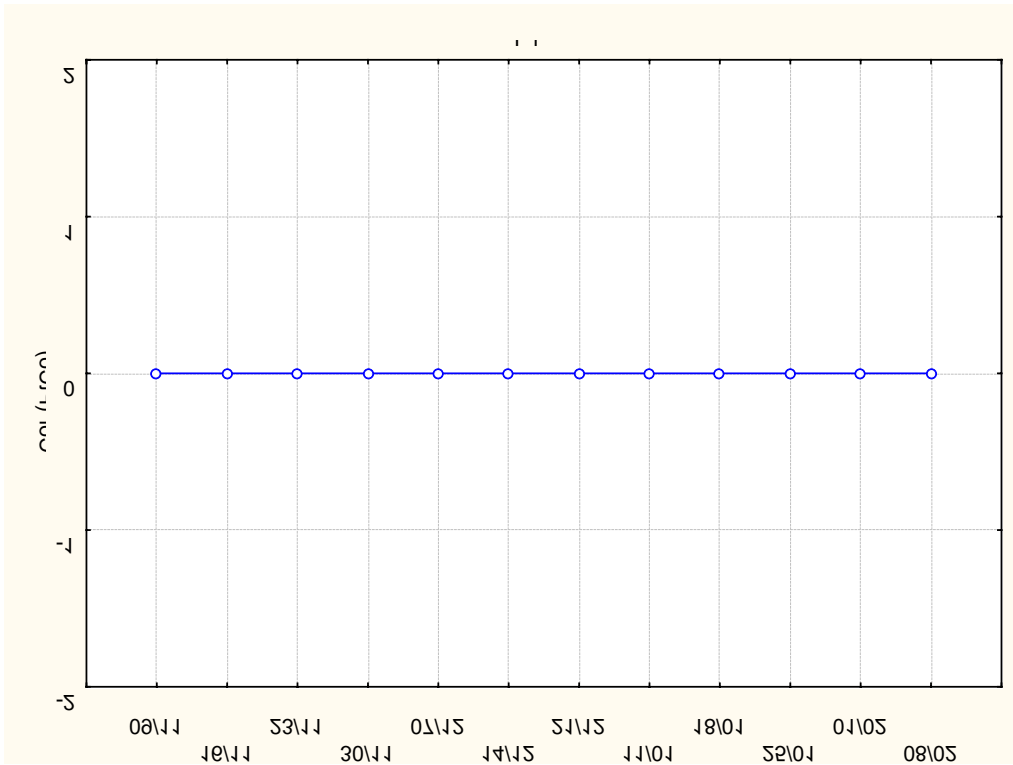


Figura 36 - Variação Temporal de Cor no ponto P1

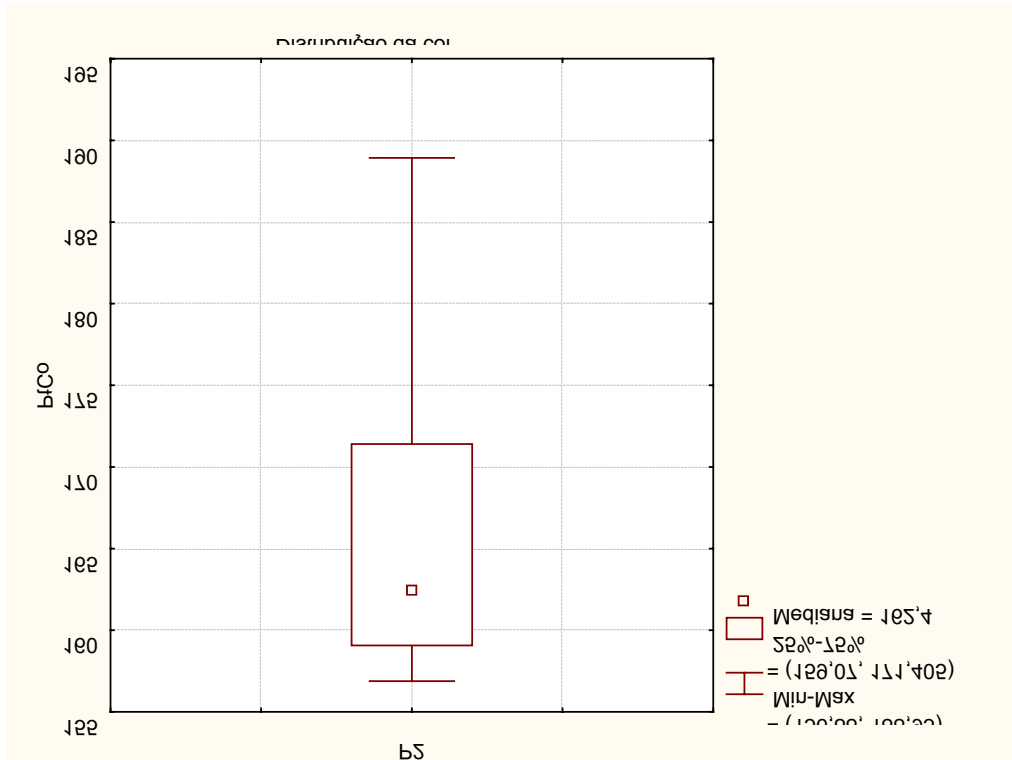


Figura 37 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de Cor no ponto P2

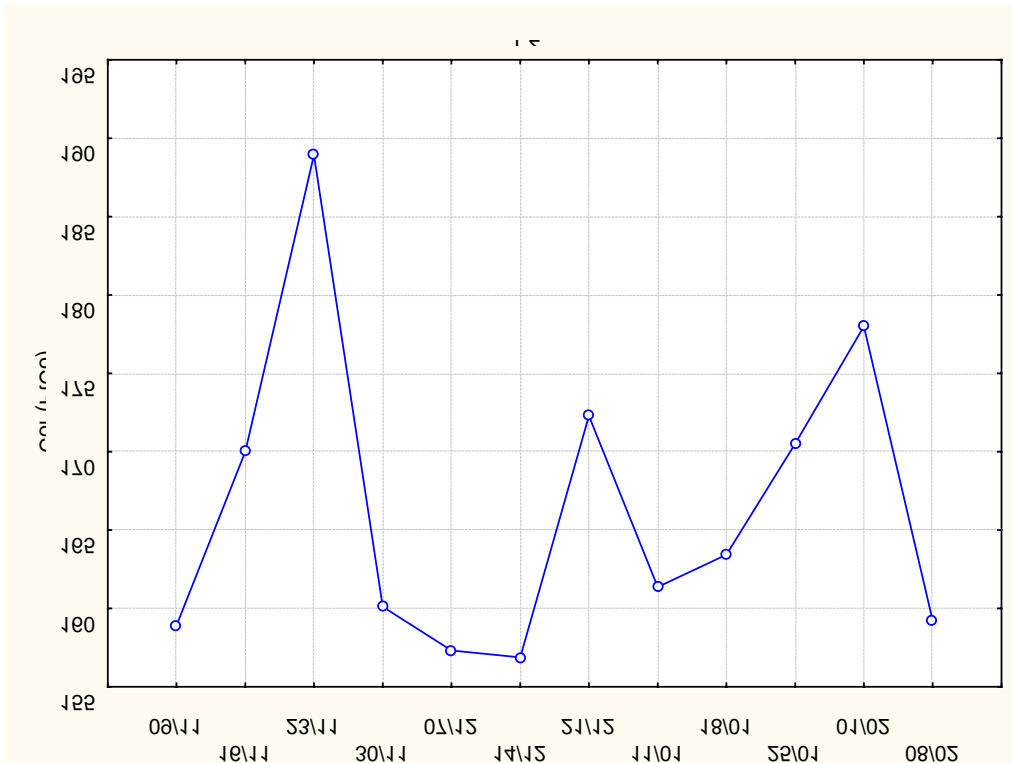


Figura 38 - Variação Temporal de Cor no ponto P2

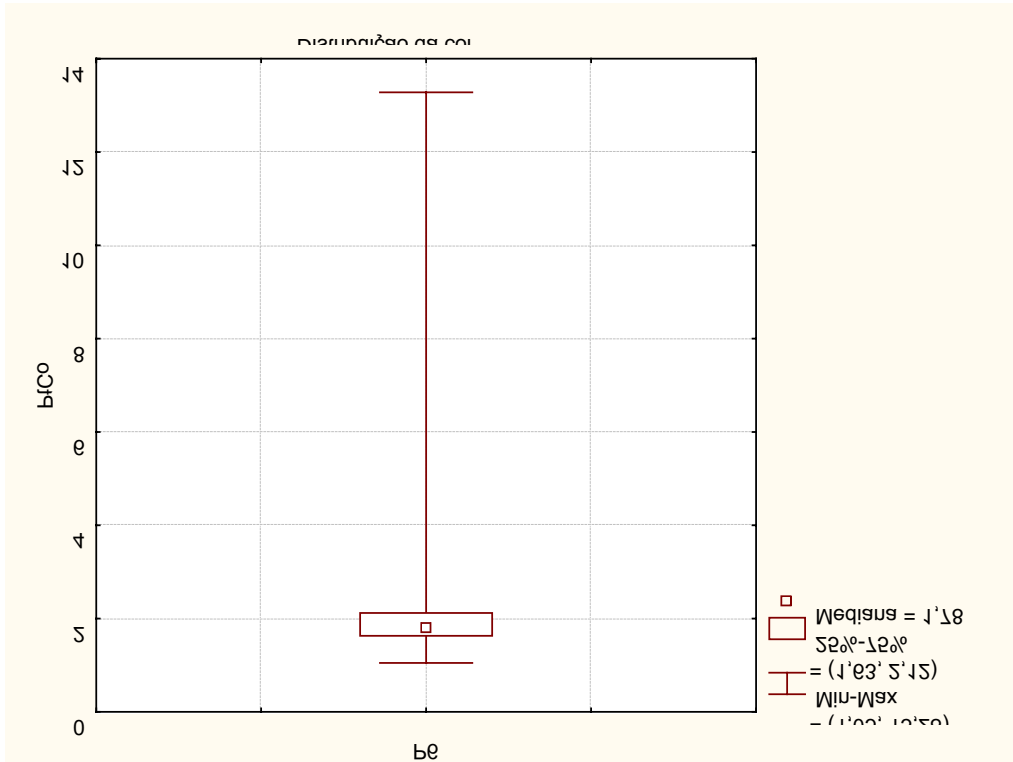
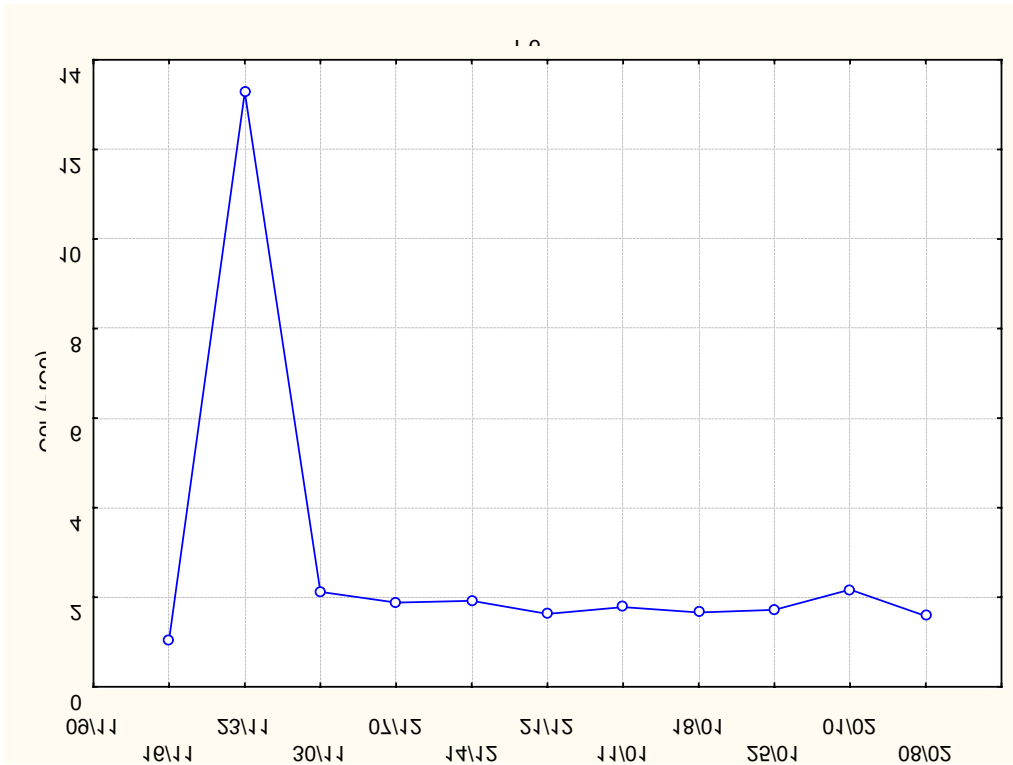


Figura 39 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de Cor no ponto P6



5.3.8. Sólidos Totais (ST)

Encontramos nas Tabelas 9 a 16, a Estatística Básica dos pontos P1 a P8, e nas Figuras 41 e 42 (gráfico Box & Whisker da Distribuição da concentração de Sólidos Totais e a Variação temporal de Sólidos Totais de todos os pontos).

Apresentamos também os resultados individualmente dos pontos P1 e P4 através das Figuras 43 e 45 - Distribuição da concentração de Sólidos Totais (gráfico Box & Whisker), e das Figuras 44 e 46 - Variação Temporal de Sólidos Totais, para melhor visualização dos resultados.

Os valores médios dos pontos P1 a P8 variaram de 1,56 a 384,21 mg/L.

O ponto P1 apresentou o menor valor médio de ST (água natural para abastecimento do processo industrial) e o ponto P5 o maior valor médio de ST, localizado no acabamento têxtil – caixa de amaciamento, após a tecelagem, onde existe a presença de amaciante, goma, umectante, que são encorpados no tecido, ou seja, a matéria sólida dissolvida existente nesse banho é impregnada no tecido, por isso que o banho desta caixa é sempre reabastecido.

Após o pré-tratamento o valor médio encontrado na saída da ETE, ponto P8, foi de 63,21 mg/L.

Como não há valor limite de referência para ST segundo os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, realizou-se então uma análise de acordo com as “Concentrações máximas permitidas para disposição dos efluentes industriais em águas superficiais do Chile” (Etschmann, 2000), dispostas no Anexo 4, que estabelece valor de ST até 300mg/L, portanto o efluente de saída da ETE (P8) encontra-se dentro da normalidade.

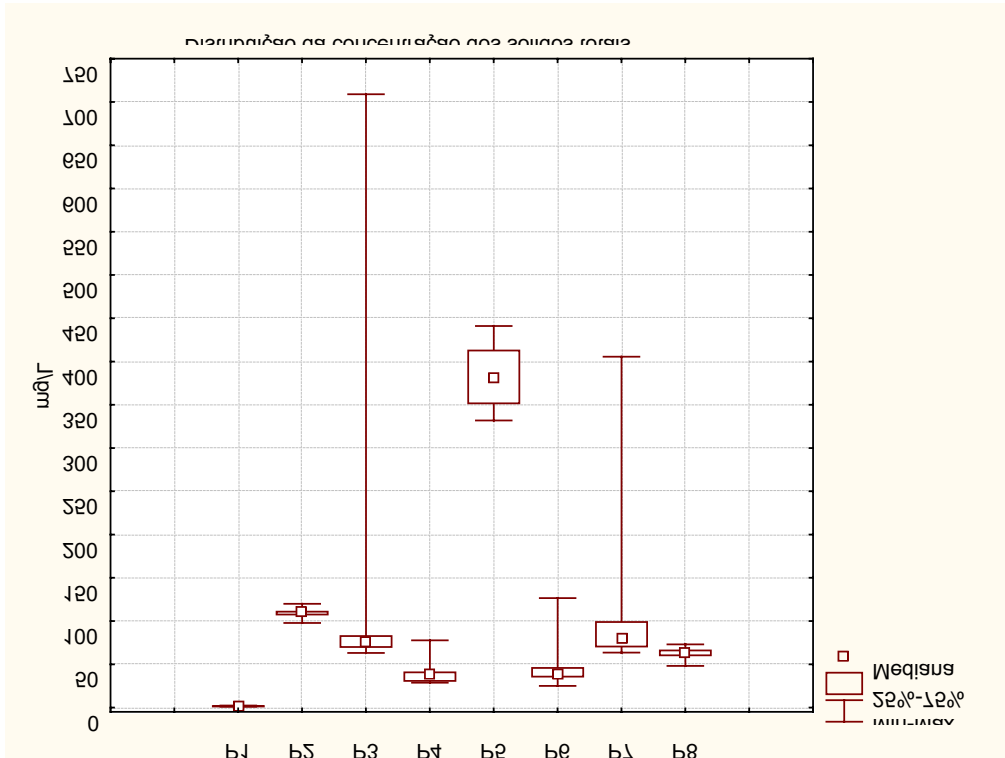


Figura 41 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Sólidos Totais

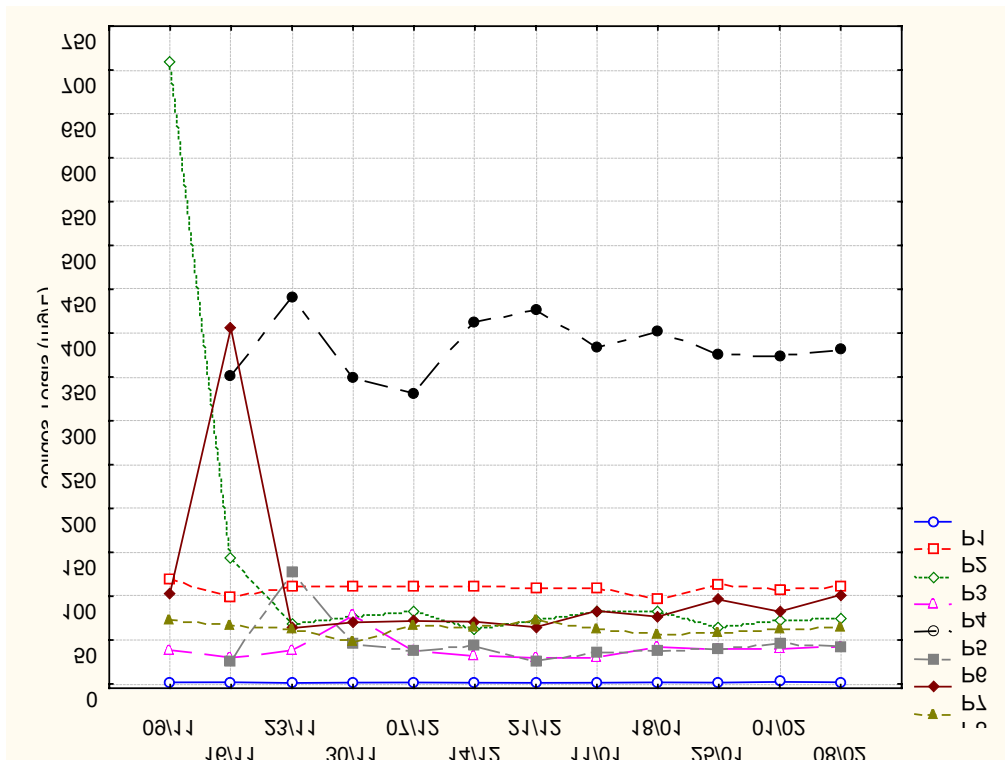


Figura 42 - Variação Temporal de Sólidos Totais

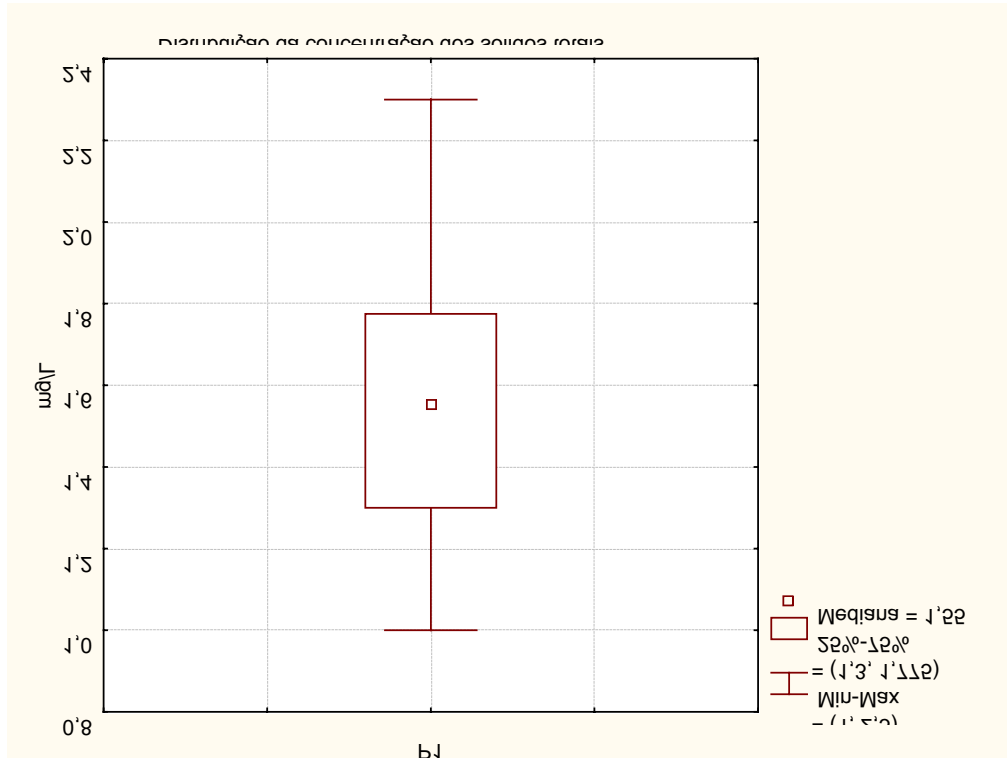


Figura 43 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Sólidos

Totais no ponto P1

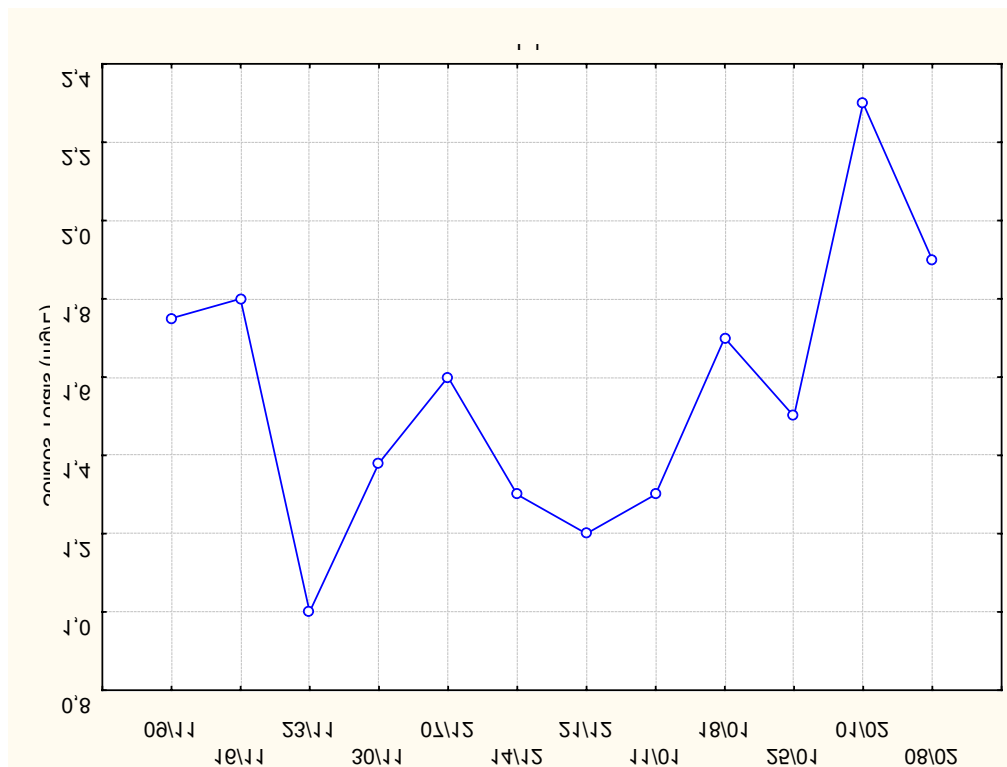


Figura 44 - Variação Temporal de Sólidos Totais no ponto P1

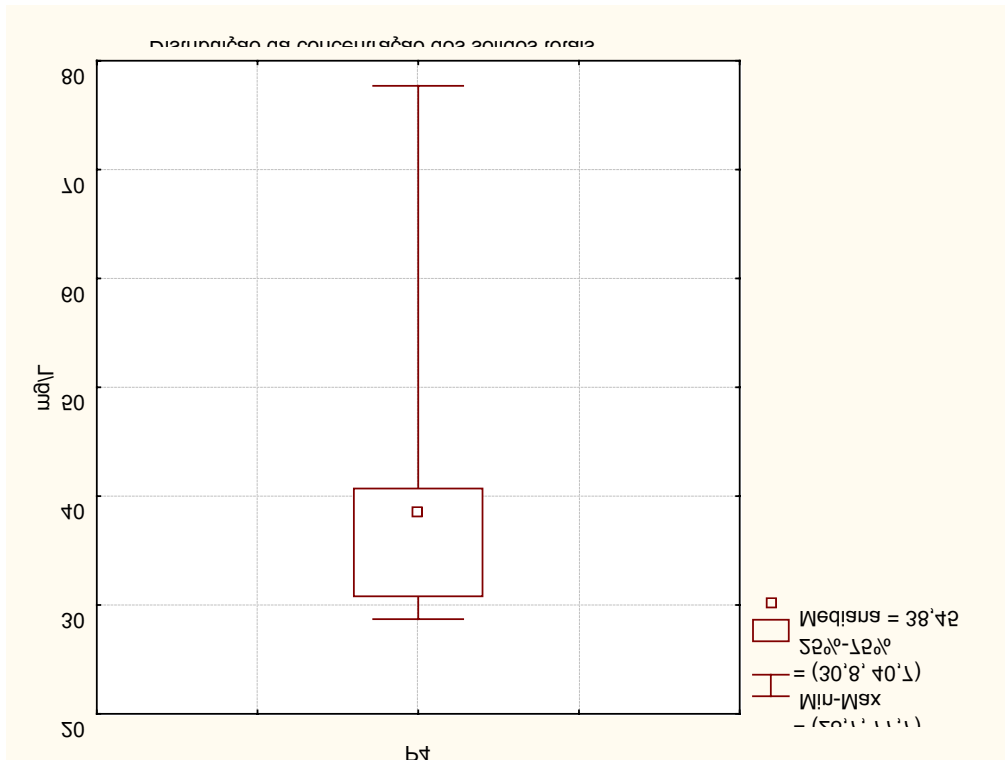


Figura 45 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Sólidos Totais no ponto P4

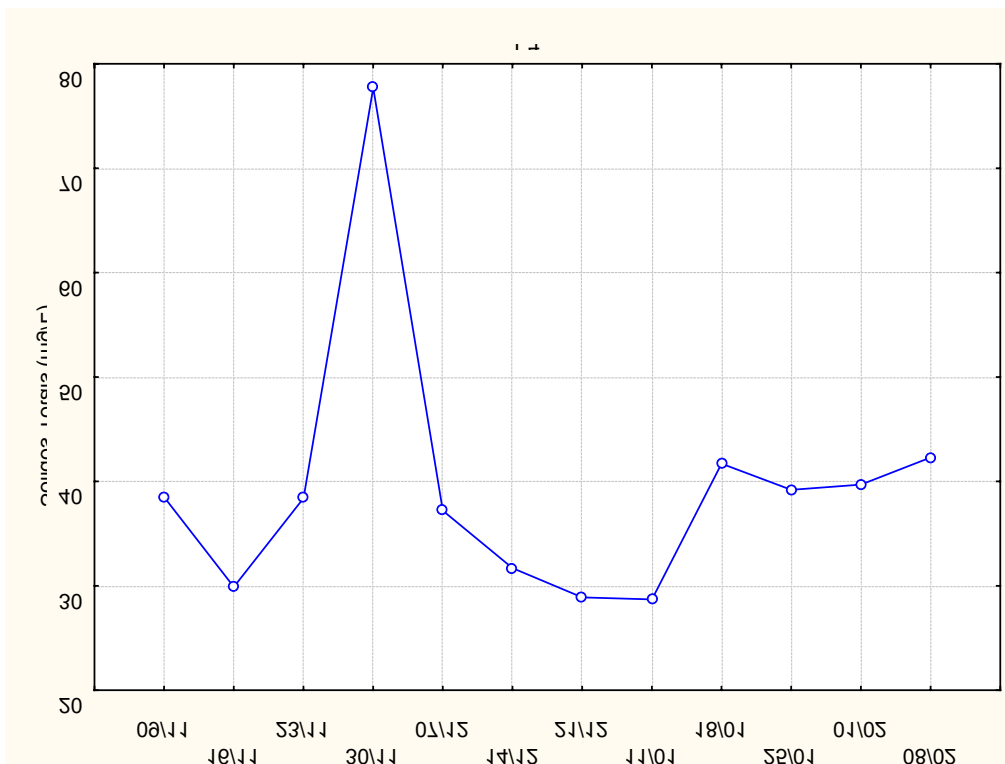


Figura 46 - Variação Temporal de Sólidos Totais no ponto P4

5.3.9. Sólidos Suspensos Totais (SST)

Está apresentado nas Tabelas 9 a 16 - Estatística básica e nas Figuras 47 e 48 (gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração de SST e a Variação temporal de SST), os resultados obtidos nas análises deste parâmetro.

Os valores médios dos pontos P1 a P8 variaram de 0,38 a 21,03 mg/L. O menor valor médio foi encontrado no ponto P6 – água natural para resfriamento do cilindro da Sanforizadeira no acabamento têxtil, e o maior valor médio no ponto P5, devido à variedade de substâncias químicas utilizadas nesta etapa. Os outros pontos mantiveram valores abaixo de 10 mg/L.

Na saída da ETE no ponto P8, após pré-tratamento, encontramos o valor médio de 2,58 mg/L.

De acordo com os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, o valor admitido é até 300 mg/L.

Os aditivos químicos utilizados no processo industrial possuem uma boa diluição em água, o próprio corante índigo já vem pré-reduzido e diluído 70% água e 30% corante, por isso não existe grande teor de matéria sólida suspensa.

O teor de sólidos suspensos, no geral, é mínimo, aparentemente baixo para uma indústria têxtil, porém explica-se pelo fato deste processo industrial de beneficiamento (índigo) não gerar tantos resíduos, como também não são utilizados os processos de purga e desengomagem, que elevaria consideravelmente este valor.

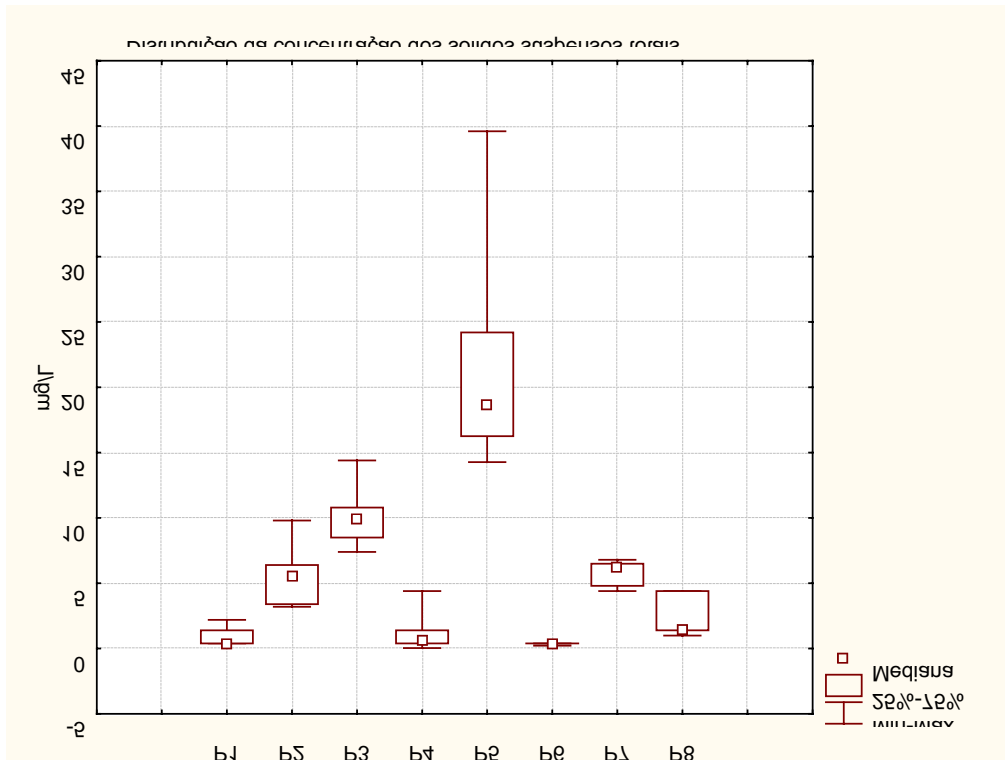


Figura 47 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de Sólidos

Suspensos Totais

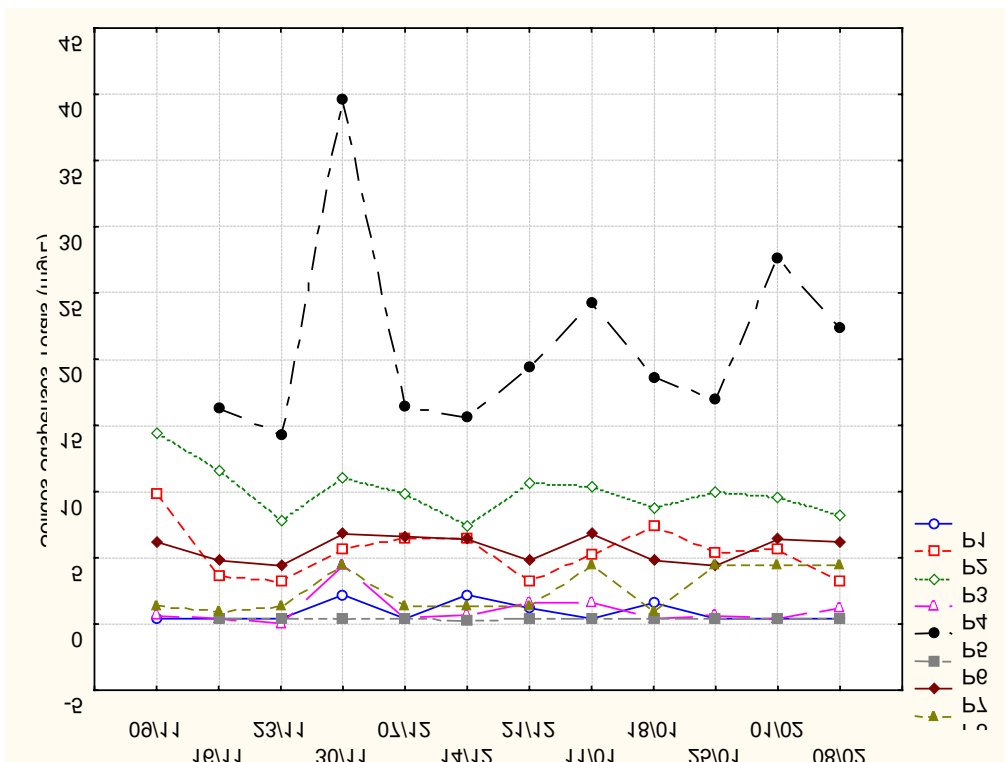


Figura 48 - Variação Temporal de Sólidos Suspensos Totais

5.3.10. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

As tabelas 9 a 16 apresentam a Estatística Básica de todos os pontos monitorados nesta pesquisa (P1 a P8).

As figuras 49 e 50 mostram os resultados obtidos através do gráfico Box & Whisker – Distribuição de DQO e a Variação temporal de DQO de todos os pontos.

Nas figuras 51, 53, 55, 57 e 59 temos a visualização dos resultados através dos gráficos Box & Whisker – Distribuição de DQO em cada ponto individualmente, para melhor visualização dos resultados.

Nas figuras 52, 54, 56, 58 e 60 temos a visualização dos resultados através da Variação Temporal de DQO em cada ponto individualmente, para melhor visualização dos resultados.

Na primeira semana de análises houve problema com o acerto da diluição nos pontos P2 a P8, as diluições utilizadas não foram ideais, perdendo-se os resultados dessa coleta.

Os valores médios dos pontos P1 a P8 variaram de 38,33 a 3081,73 mgO₂/L. O menor valor médio foi encontrado no ponto P1 – água natural para abastecimento industrial, e o maior valor médio no ponto P5, devido à variedade de substâncias químicas utilizadas nesta etapa.

Após o pré-tratamento o valor médio encontrado na saída da ETE, ponto P8, foi de 202,73 mgO₂/L.

Como não há valor limite de referência para DQO segundo os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, realizou-se então uma análise de acordo com a “Legislação da Jordânia para utilização de águas residuárias tratadas para uso urbano em parques públicos” (Ministério de Água e Irrigação - Jordânia, 2001), disposta no Anexo 5, que estabelece valor de DQO até 200mgO₂/L, neste caso o efluente de saída da ETE (P8) se aproximou bastante, ficando levemente superior ao padrão estabelecido.

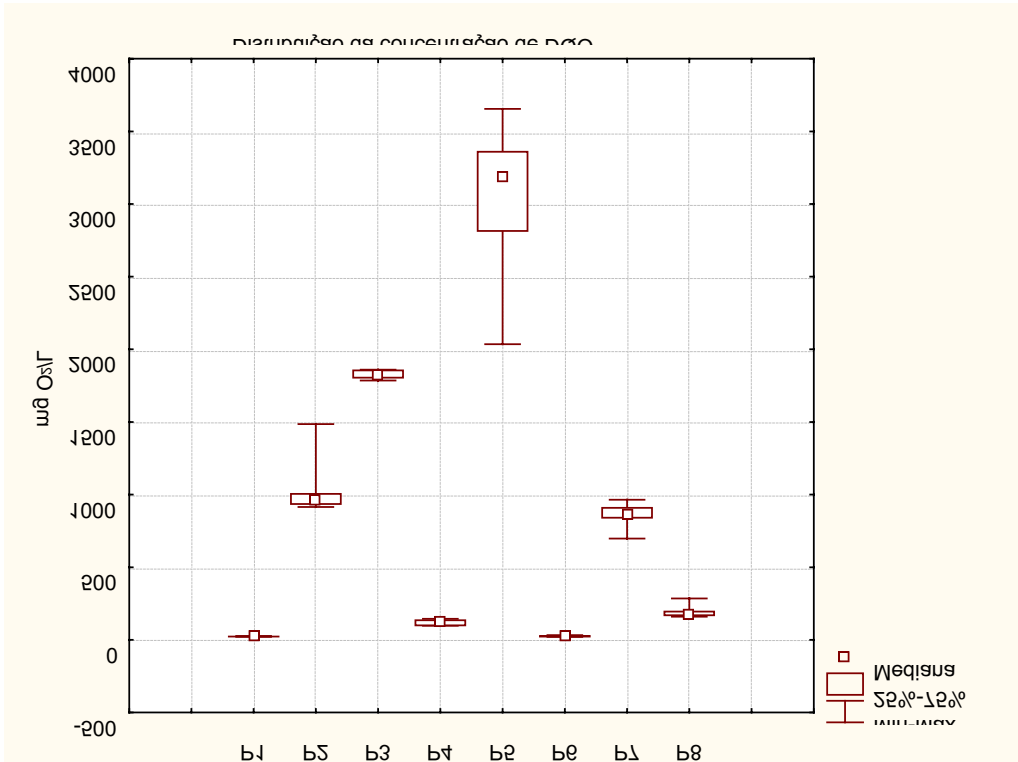


Figura 49 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO

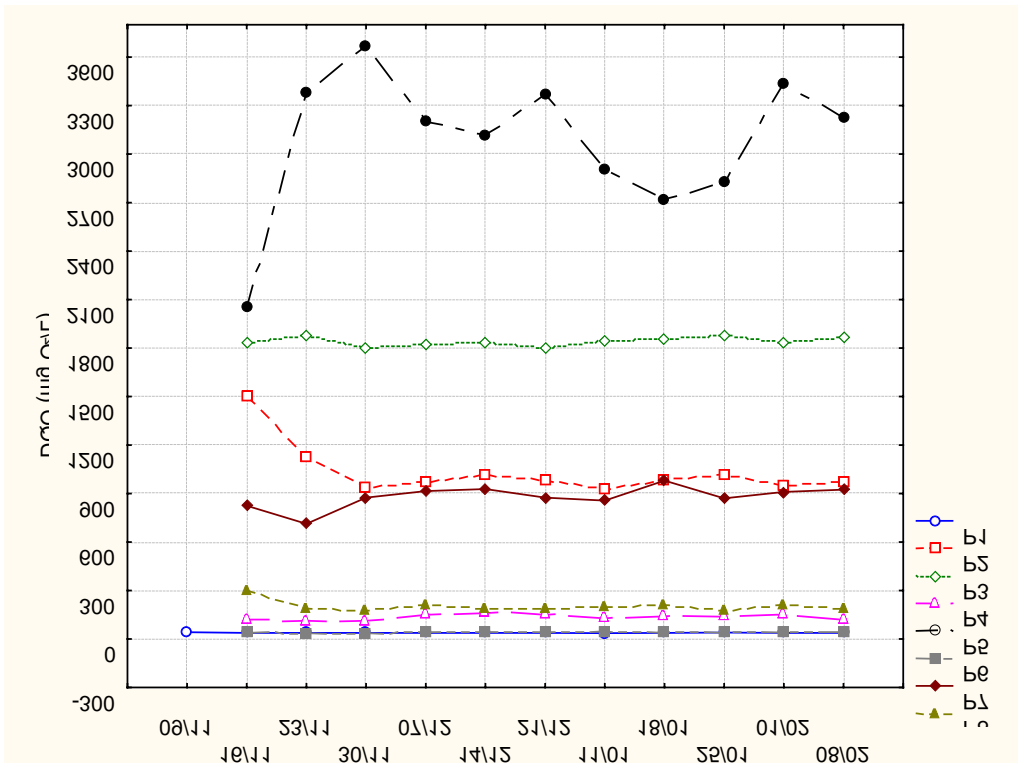


Figura 50 - Variação Temporal de DQO

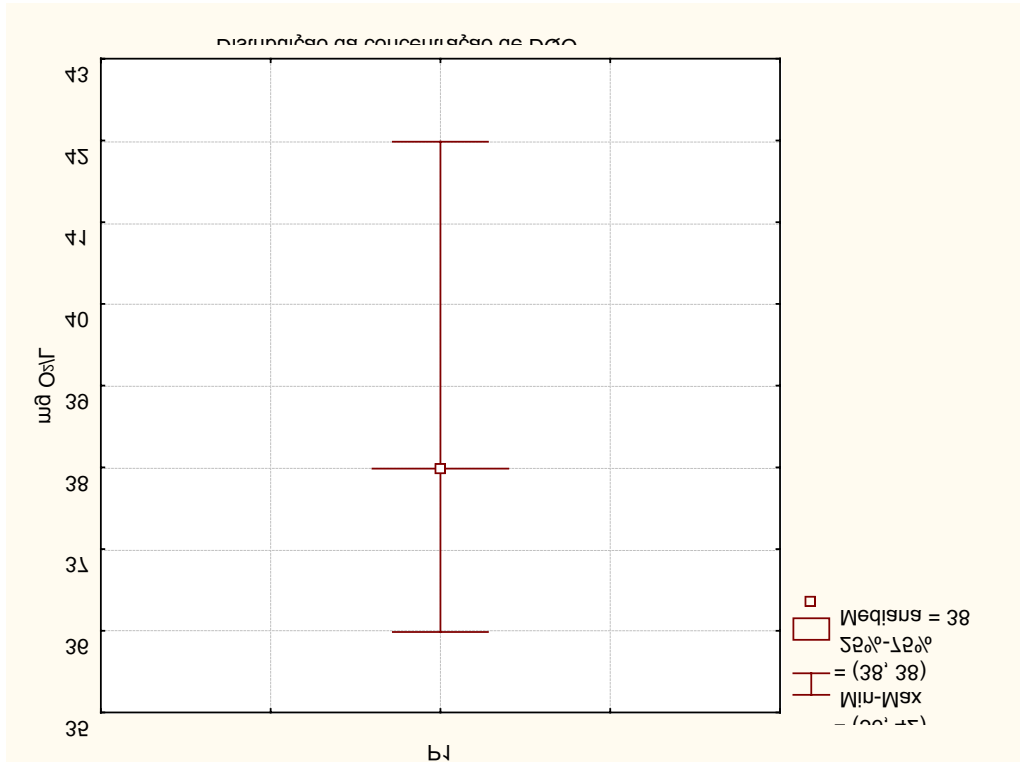


Figura 51 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P1

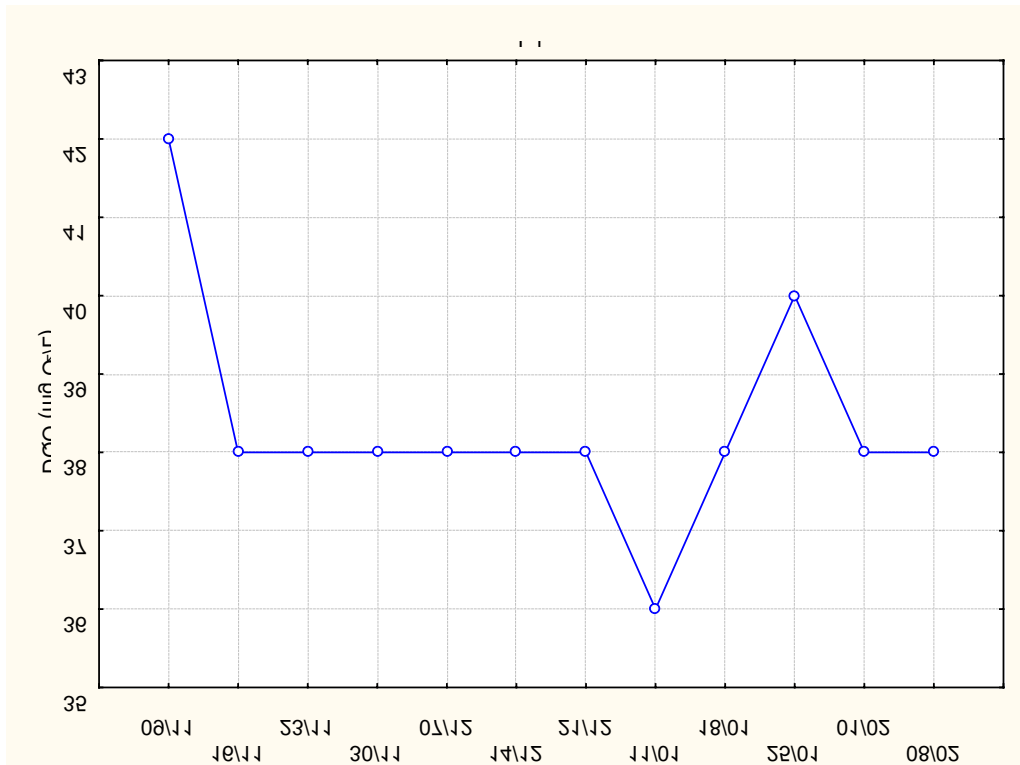


Figura 52 - Variação Temporal de DQO no ponto P1

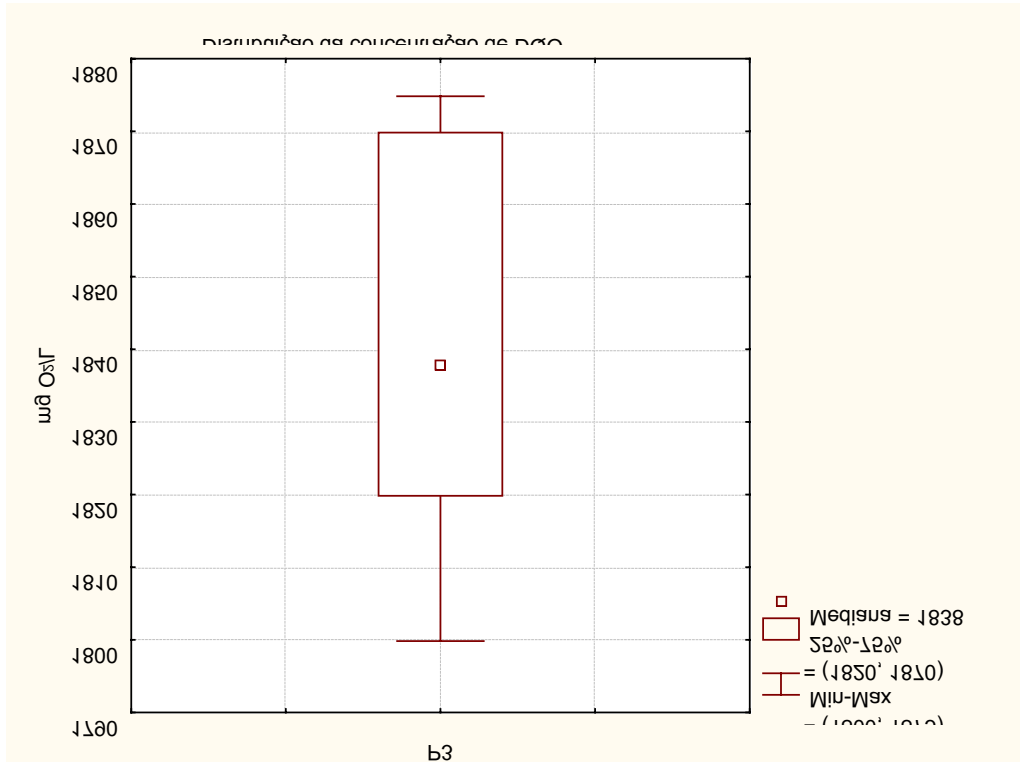


Figura 53 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P3

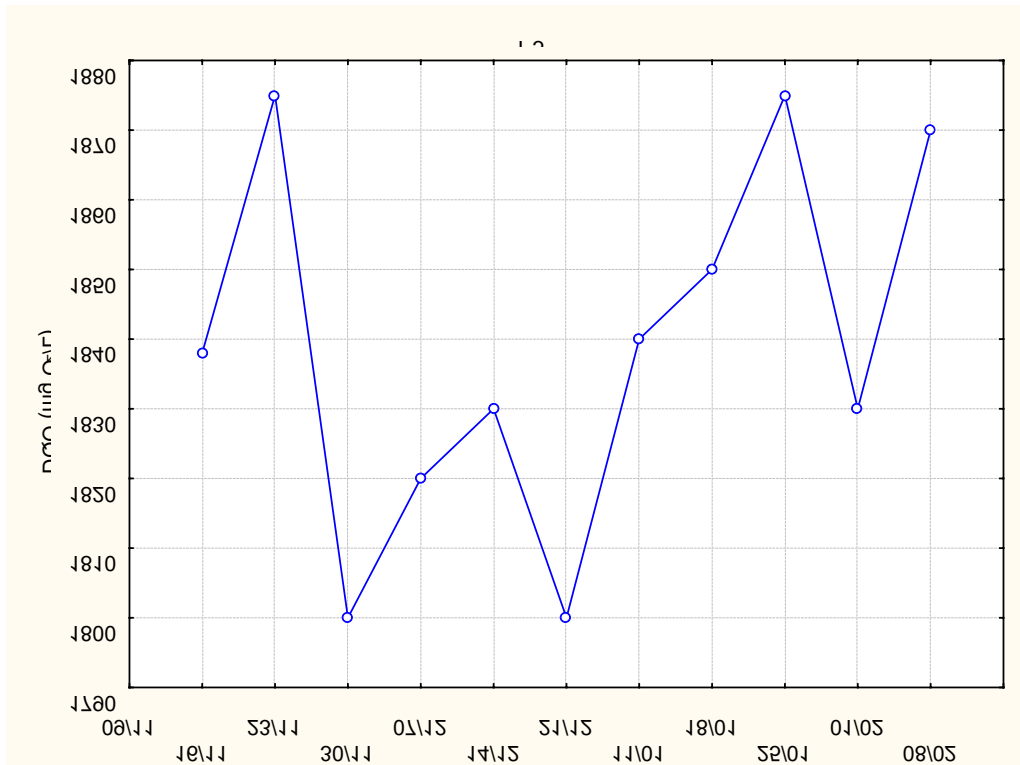


Figura 54 - Variação Temporal de DQO no ponto P3

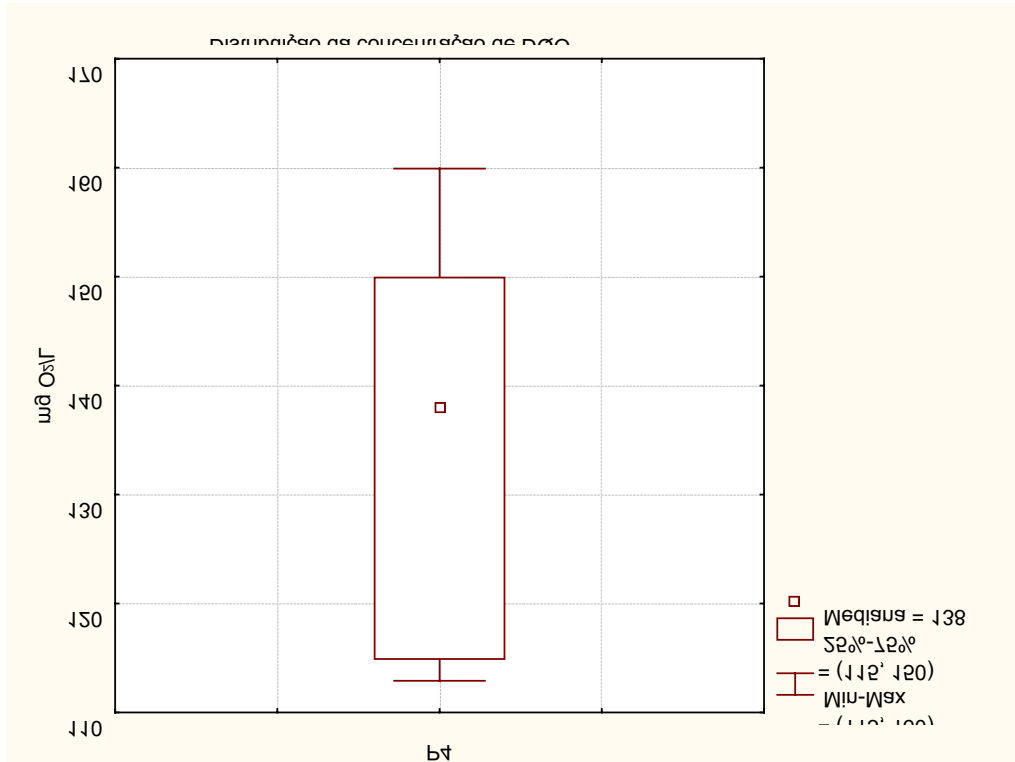


Figura 55 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P4

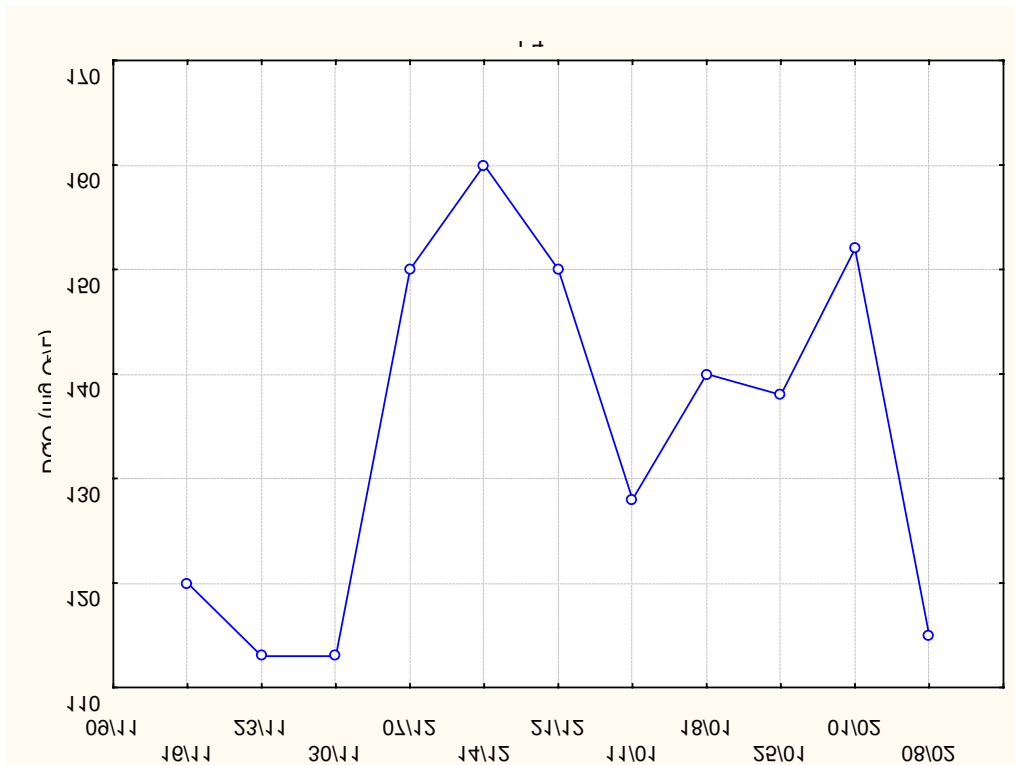


Figura 56 - Variação Temporal de DQO no ponto P4

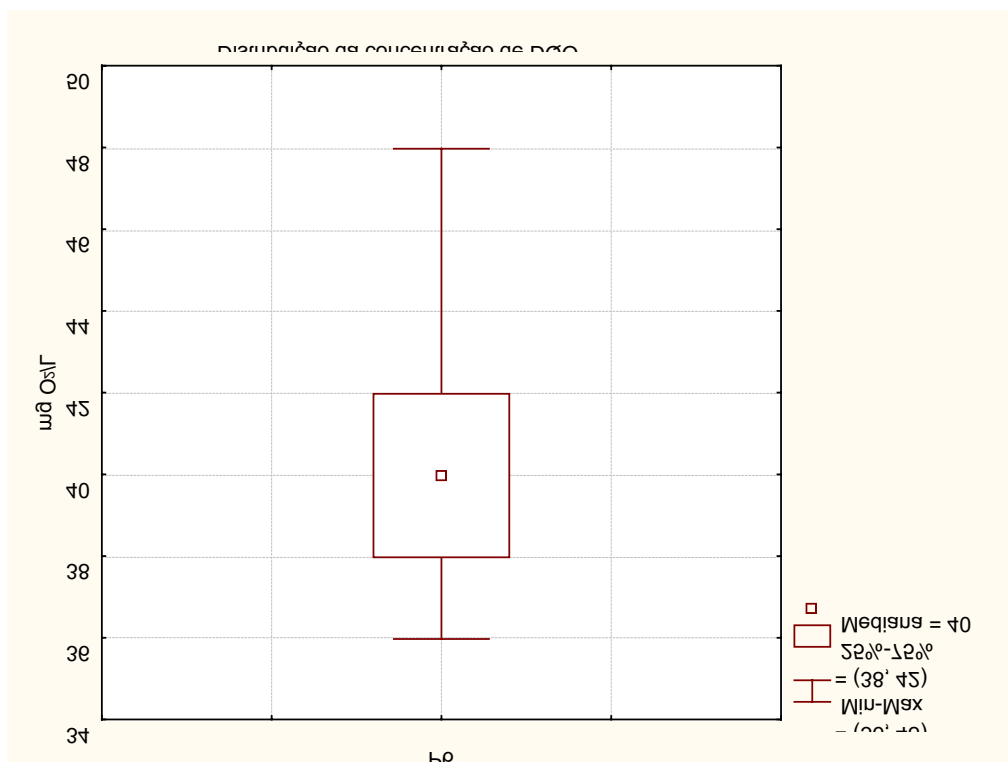


Figura 57 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P6

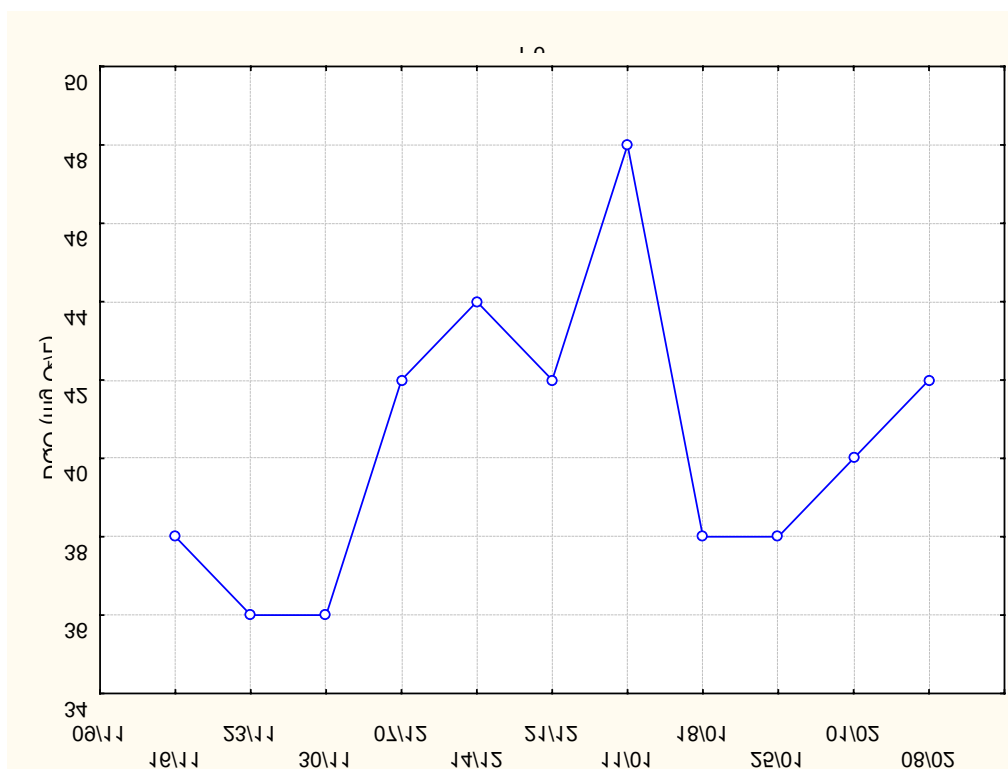


Figura 58 - Variação Temporal de DQO no ponto P6

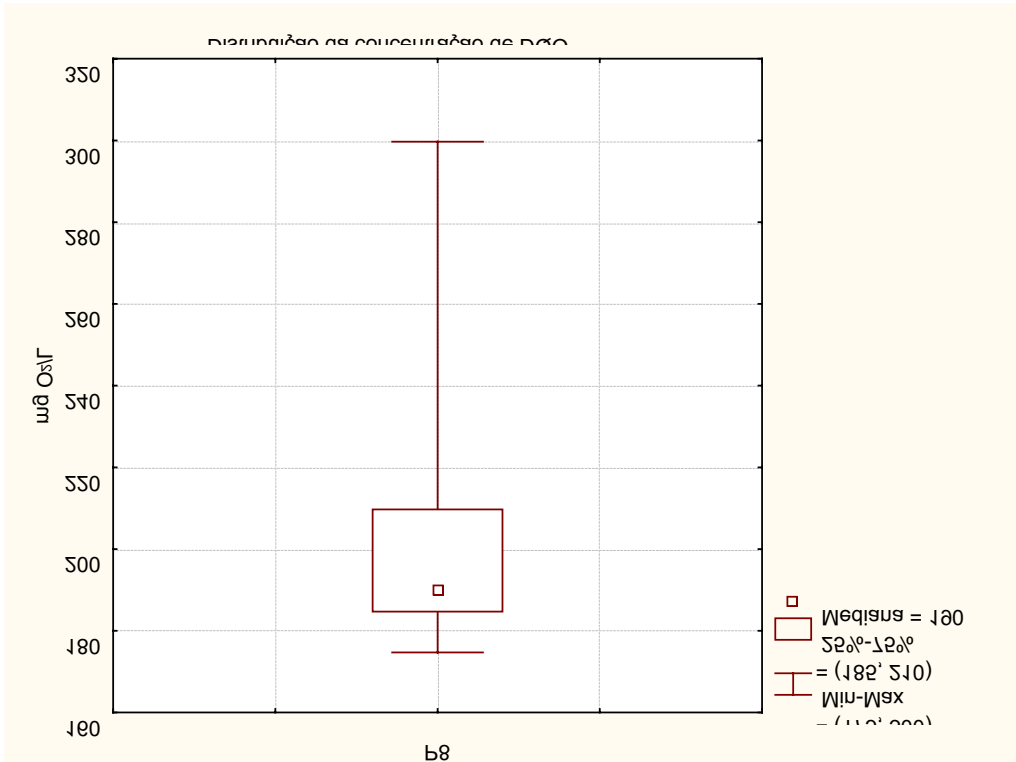


Figura 59 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição de DQO no ponto P8

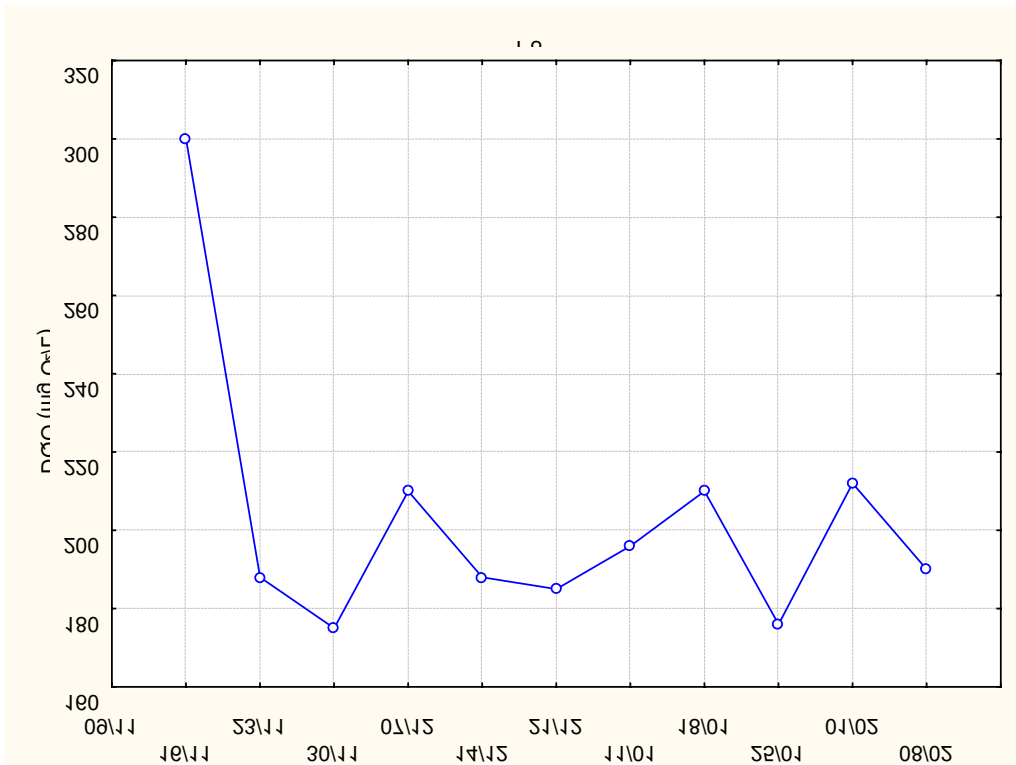


Figura 60 - Variação Temporal de DQO no ponto P8

5.3.11. Metais Pesados

Os valores de Metais Pesados foram monitorados apenas nos pontos P1 – água natural para abastecimento do processo industrial, P7 – entrada da ETE (pré-tratamento) e P8 – saída da ETE (pré-tratamento).

Os Metais Pesados monitorados Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Prata (Ag) e Níquel (Ni), foram analisados pelo CEFET/RN durante seis semanas intercaladas.

As tabelas 9, 15 e 16 mostram a Estatística básica dos resultados obtidos nos pontos P1, P7 e P8, respectivamente.

As figuras 61 a 69 apresentam os resultados obtidos no ponto P1 em cada metal analisado (gráficos individuais).

As figuras 70 e 71 mostram respectivamente a Variação temporal de MP e o gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração de MP de todos os metais monitorados no ponto P1.

As figuras 72 a 80 apresentam os resultados obtidos no ponto P7 em cada metal analisado (gráficos individuais).

As figuras 81 e 82 mostram respectivamente a Variação temporal de MP e o gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração de MP de todos os metais monitorados no ponto P7.

As figuras 83 a 91 apresentam os resultados obtidos no ponto P8 em cada metal analisado (gráficos individuais).

As figuras 92 e 93 mostram respectivamente a Variação temporal de MP e o gráfico Box & Whisker – Distribuição da concentração de MP de todos os metais monitorados no ponto P8.

Nos pontos P1 e P7 o metal de maior valor médio significativo foi o Ferro e o de menor valor foi o Cádmio.

No ponto P8 o metal de menor valor médio foi a Prata (0,023 mgAg/L) e o de maior valor foi o Zinco (0,257 mgZn/L).

Após o pré-tratamento na saída da ETE, ponto P8, observou-se que houve redução em alguns dos valores dos nove metais monitorados em relação à entrada da ETE, ponto P7, conforme visualização na Tabela 17, abaixo:

Tabela 17 – Apresentação dos resultados de comparação entre redução e aumento nos valores de MP dos pontos P7 e P8.

| METAL | REDUÇÃO (DE – PARA) | | AUMENTO (DE – PARA) | |
|-----------------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| Cádmio | | | 0,030 | 0,049 |
| Chumbo | 0,225 | 0,190 | | |
| Cobre | 0,083 | 0,065 | | |
| Cromo | 0,115 | 0,089 | | |
| Ferro | 0,410 | 0,253 | | |
| Níquel | 0,185 | 0,182 | | |
| Prata | 0,025 | 0,023 | | |
| Manganês | | | 0,071 | 0,079 |
| Zinco | | | 0,136 | 0,257 |

De acordo com os Padrões para recebimento de efluentes líquidos no SITEL-DIN, o único metal monitorado que não se tem valor de referência limite é o Manganês (Mn), os restantes são estabelecidos, conforme Tabela 10 citada na Revisão Bibliográfica.

Como não há valor limite de referência para o metal Manganês (Mn), realizou-se então uma análise de acordo com a Resolução n.º 357/2005 – CONAMA (Art. 34º) que estabelece os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores, que define o valor limite de 1,0 mg/LMn, portanto o efluente de saída da ETE (P8 = 0,079mgMn/L) mostrou um resultado satisfatório em relação ao padrão adotado.

Todos os metais, com exceção da Prata (Ag), estão em conformidade com os Padrões do SITES-DIN. O valor limite para o metal Prata, conforme Tabela 10, seria de 0,01mgAg/L, porém encontrou-se o valor médio de 0,023 mgAg/L no ponto P8 – saída da ETE (pré-tratamento). Porém, durante o monitoramento e análise dos resultados, observou-se que foi apenas nas duas últimas coletas que o metal Prata ultrapassou seu limite padrão, o que podemos observar através das figuras 66, 77 e 88. Esse fato pode ter sido ocasionado pela dosagem do corante ou de alguma outra matéria-prima na caixa de tingimento no ponto P3, ou em algum outro processo do beneficiamento têxtil. Entretanto, se fosse considerado o padrão da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA (Art. 34º), disposta na tabela 8, que considera o valor limite de lançamento de efluente em corpos receptores para o metal Prata de 0,1 mg/LAg, o valor obtido estaria dentro dos limites estabelecidos.

Também segundo os Padrões para Recebimento de Efluentes Líquidos SITES-DIN, se tem um limite para o somatório dos valores de todos os metais presentes no efluente, que não deve ser superior a 5mg/L. O somatório do monitoramento dos nove metais no ponto P8 atingiu 1,187 mg/L.

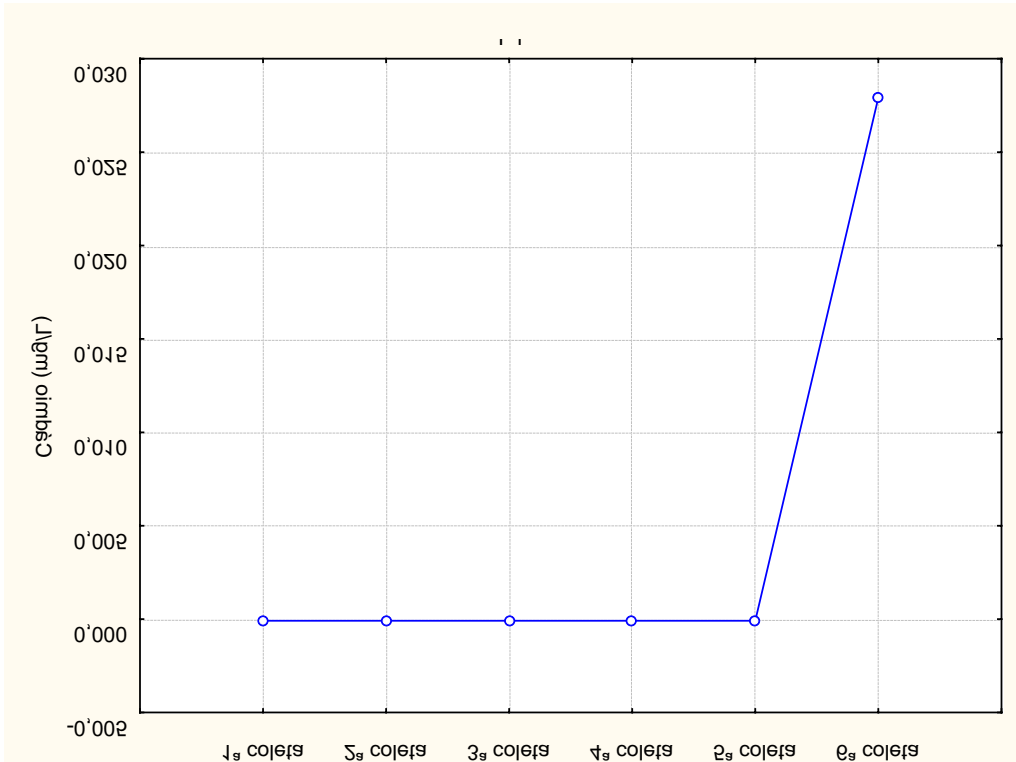


Figura 61 - Variação Temporal de MP (Cádmio) no ponto P1

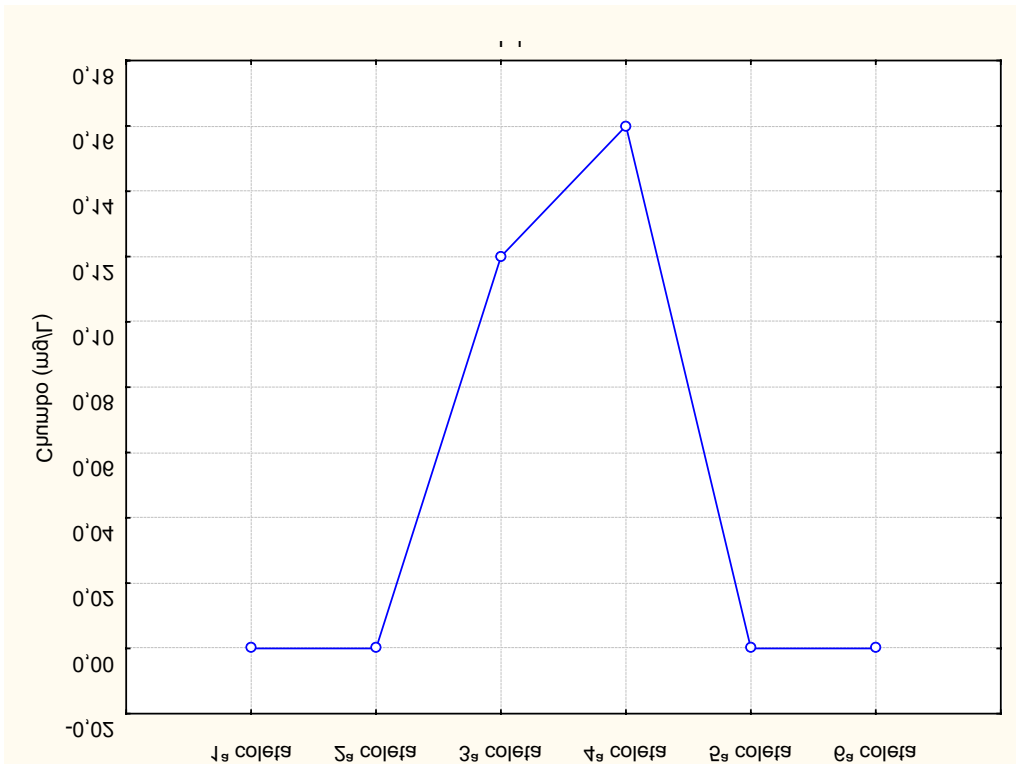


Figura 62 - Variação Temporal de MP (Chumbo) no ponto P1

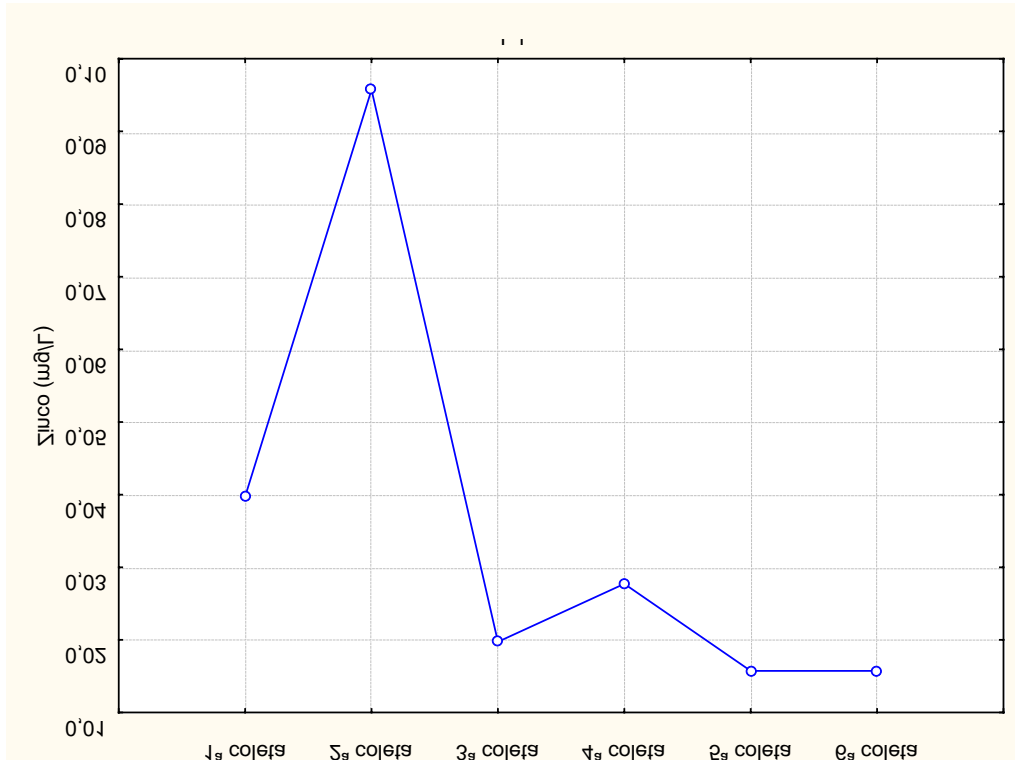


Figura 63 - Variação Temporal de MP (Zinco) no ponto P1

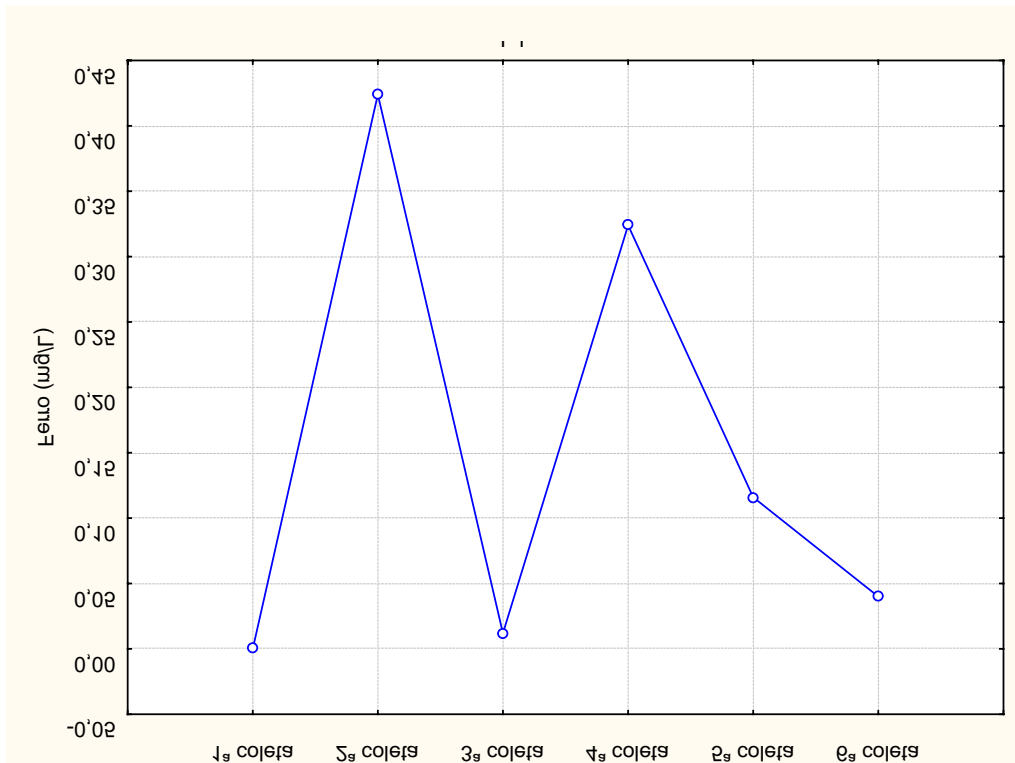


Figura 64 - Variação Temporal de MP (Ferro) no ponto P1

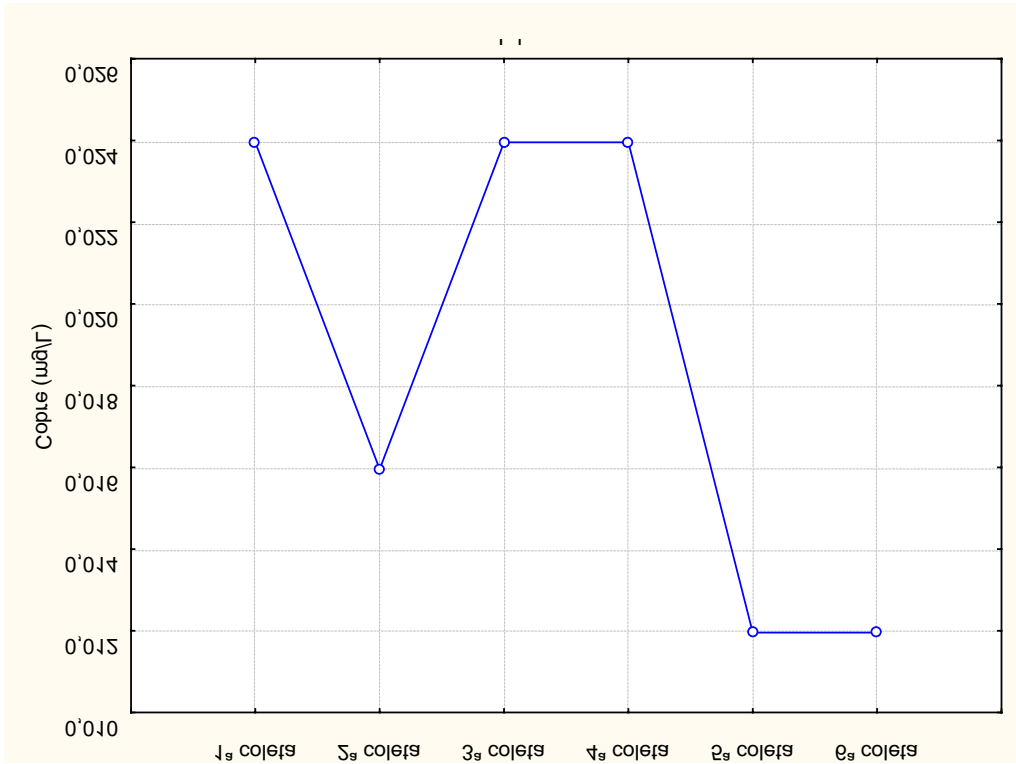


Figura 65 - Variação Temporal de MP (Cobre) no ponto P1

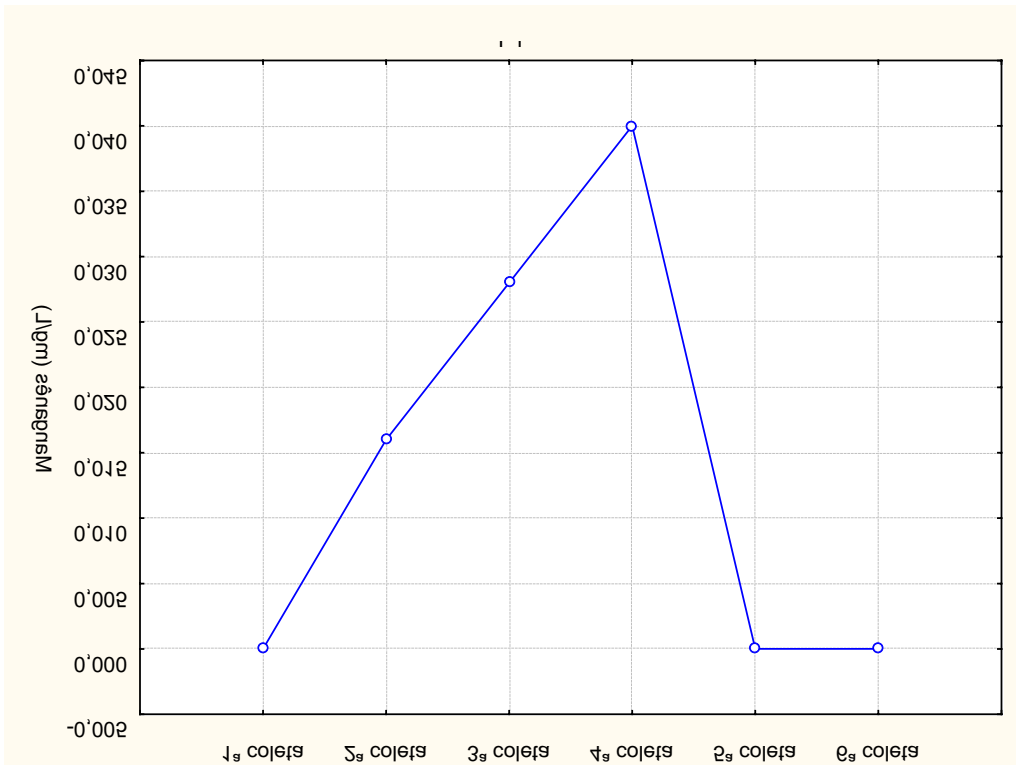


Figura 66 - Variação Temporal de MP (Manganês) no ponto P1

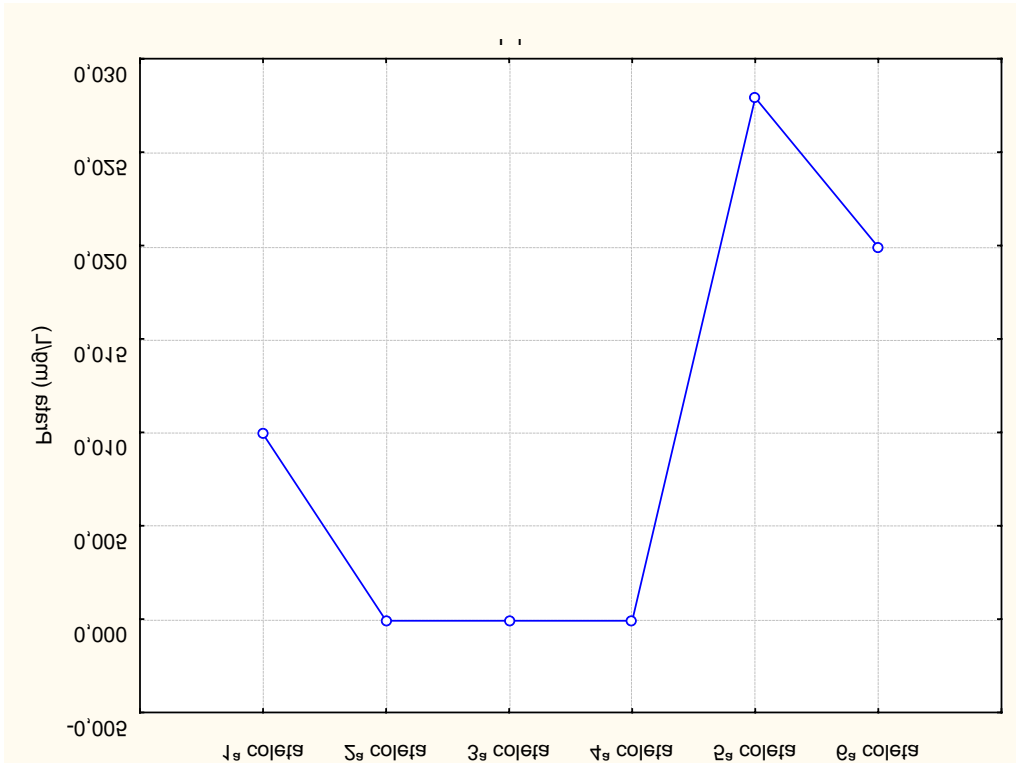


Figura 67 - Variação Temporal de MP (Prata) no ponto P1

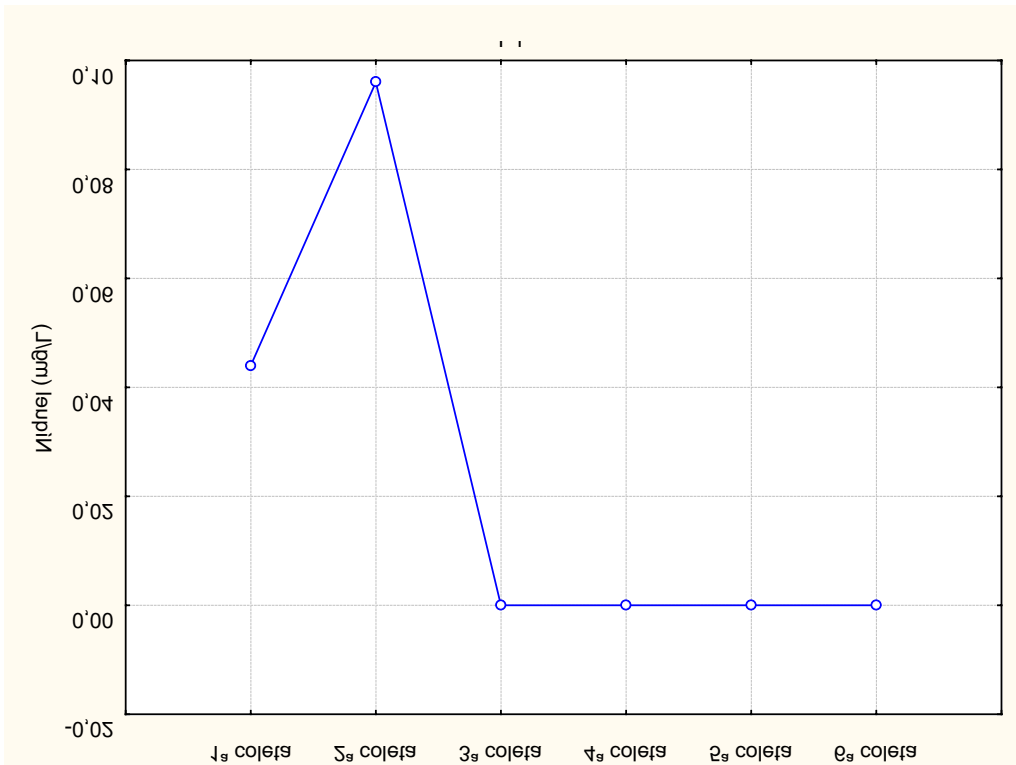


Figura 68 - Variação Temporal de MP (Níquel) no ponto P1

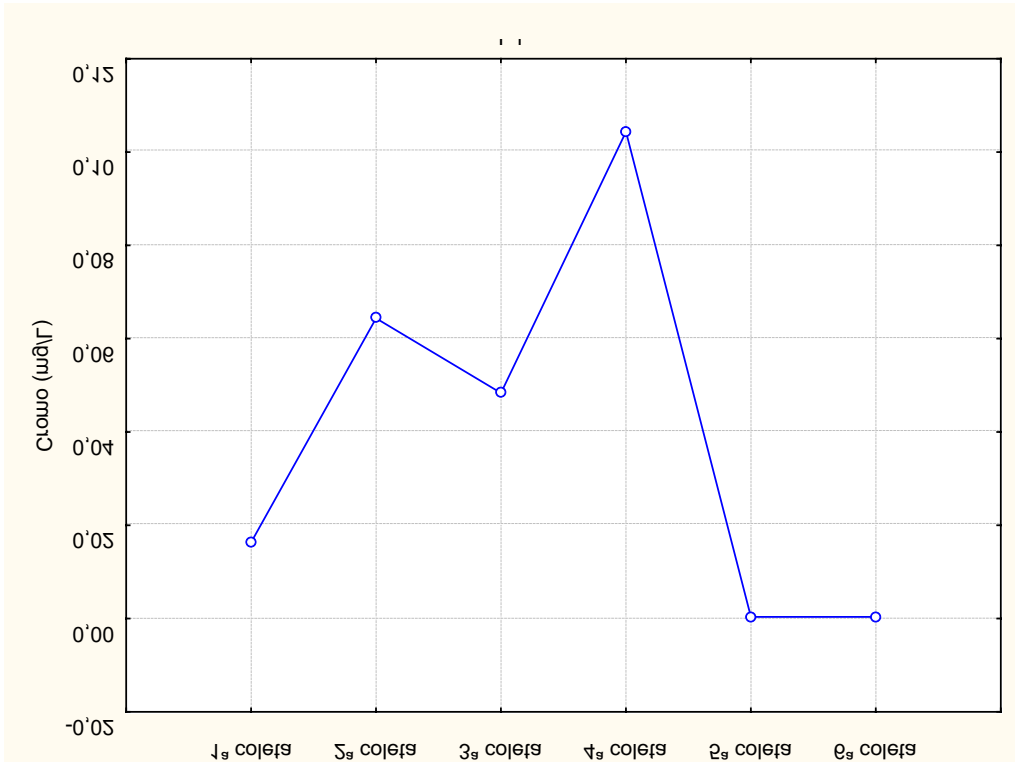


Figura 69 - Variação Temporal de MP (Cromo) no ponto P1

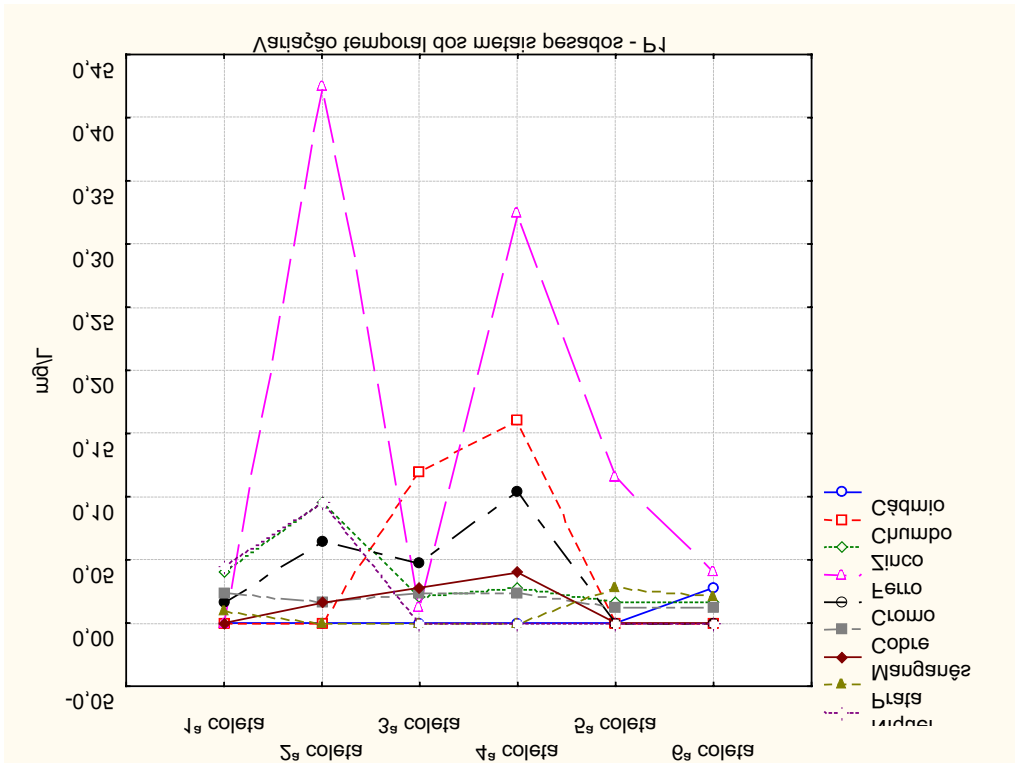


Figura 70 - Variação Temporal de MP no ponto P1

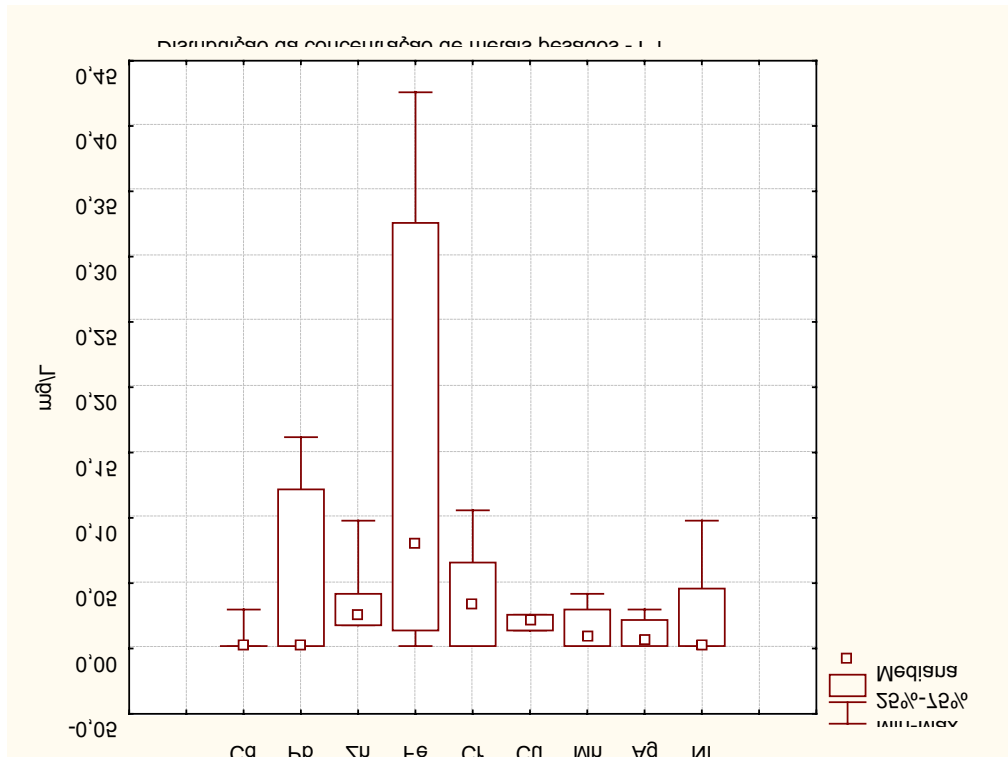


Figura 71 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de MP ponto P1

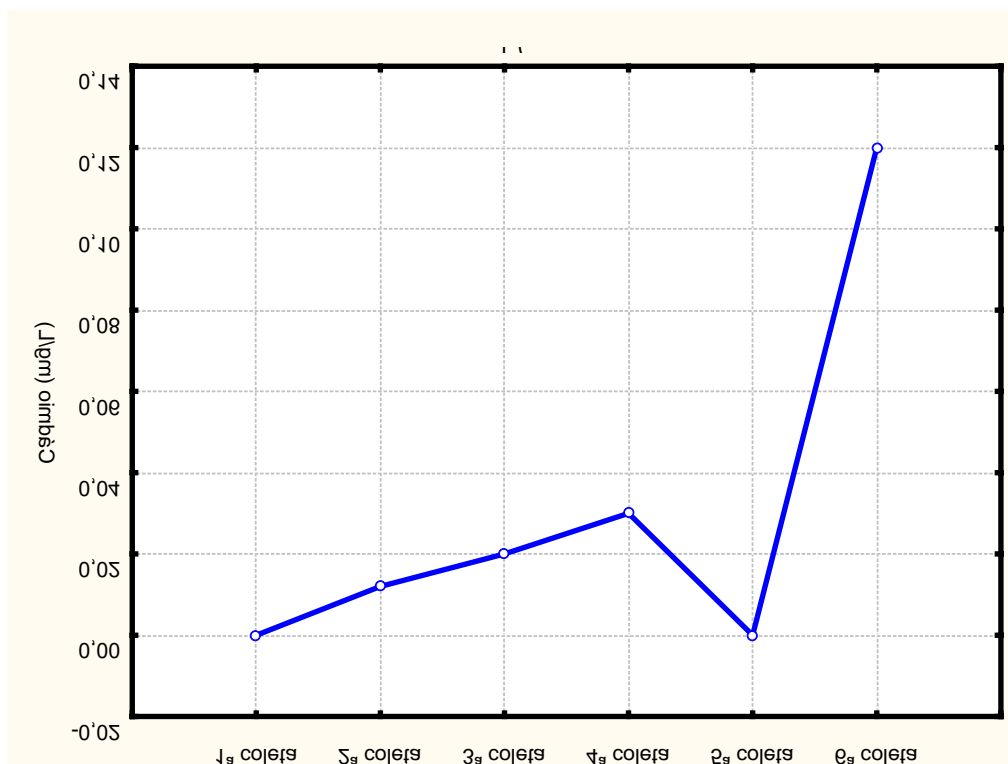


Figura 72 - Variao Temporal de MP (Cádmio) no ponto P7

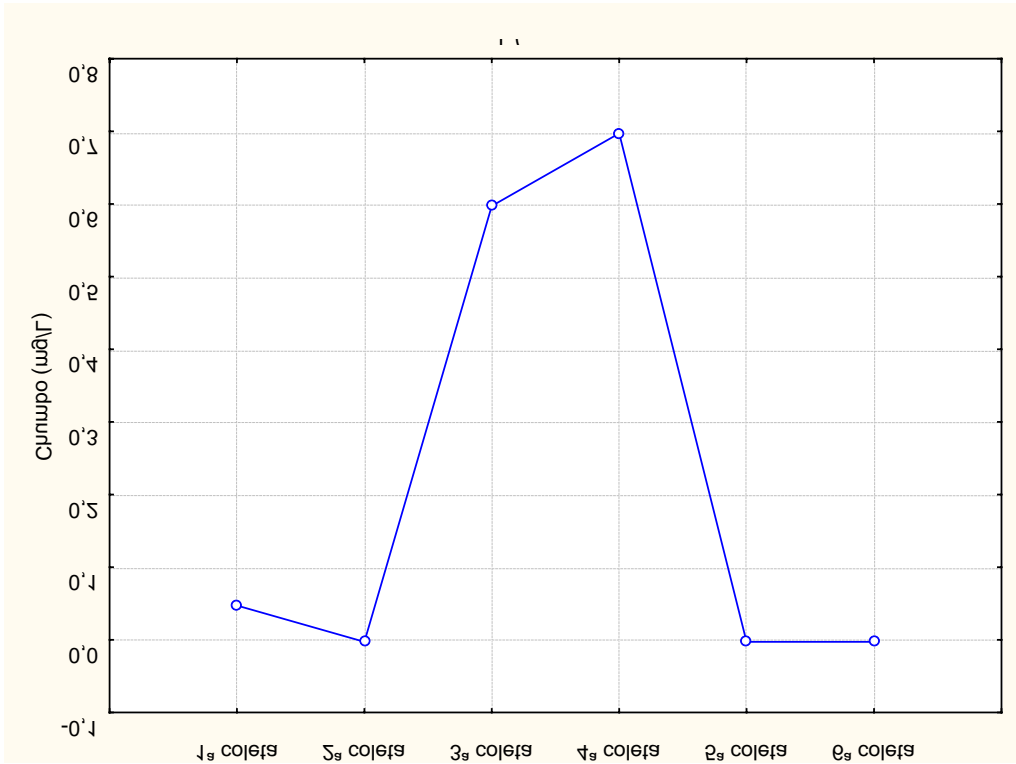


Figura 73 - Variação Temporal de MP (Chumbo) no ponto P7

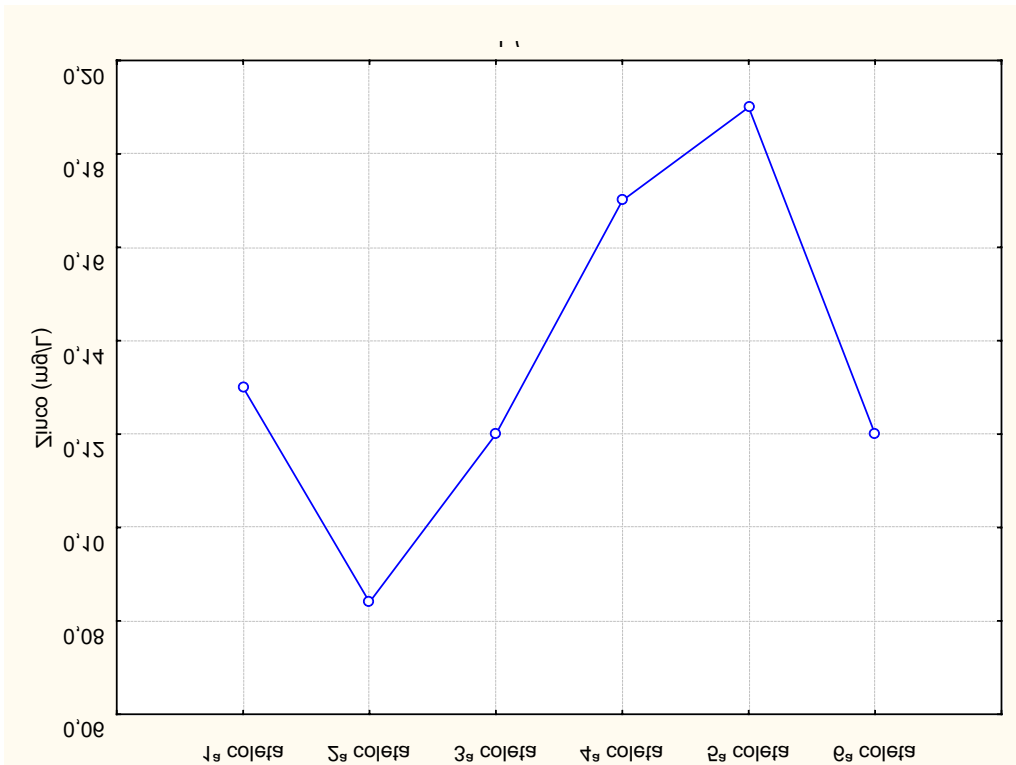


Figura 74 - Variação Temporal de MP (Zinco) no ponto P7

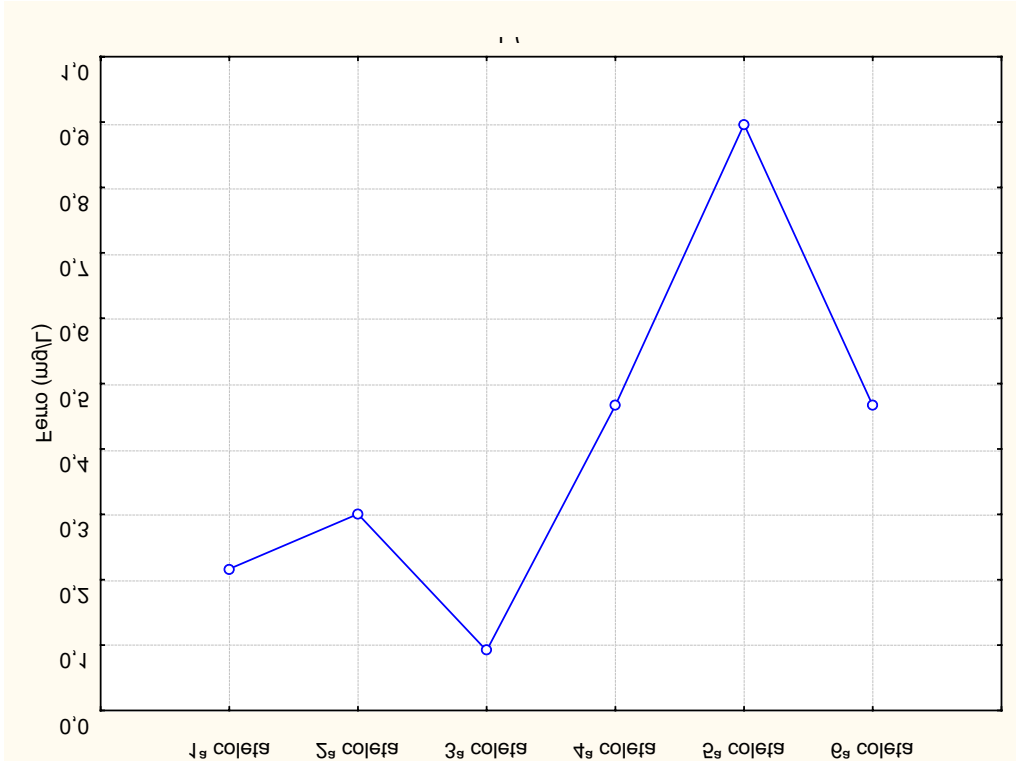


Figura 75 - Variação Temporal de MP (Ferro) no ponto P7

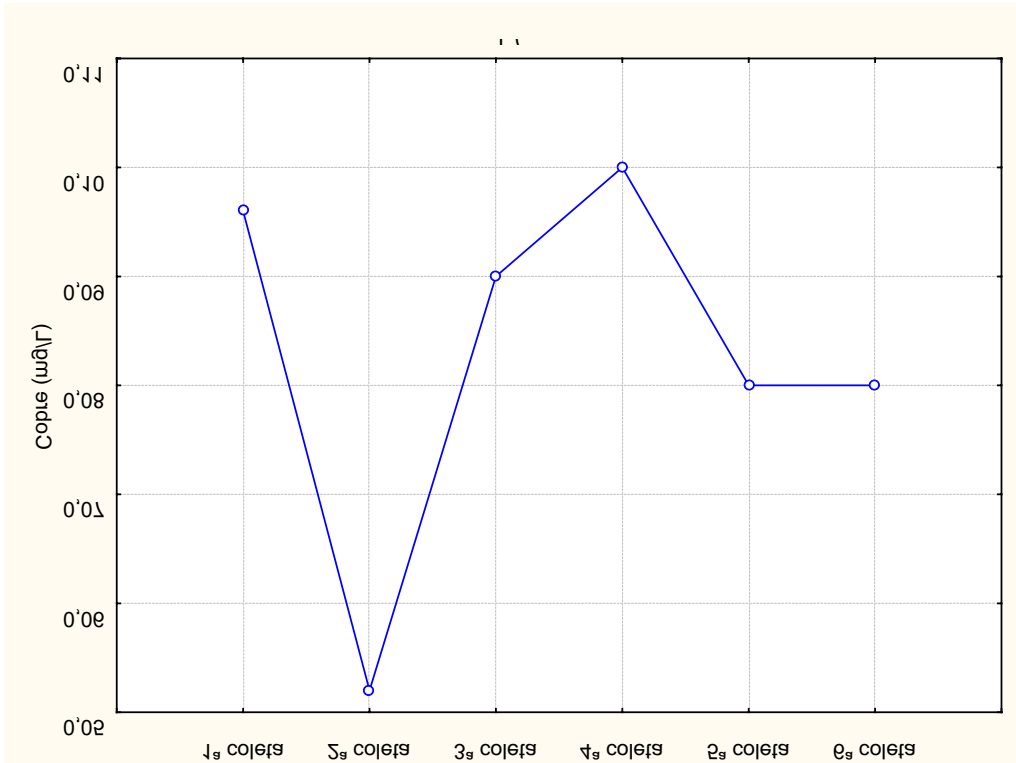


Figura 76 - Variação Temporal de MP (Cobre) no ponto P7

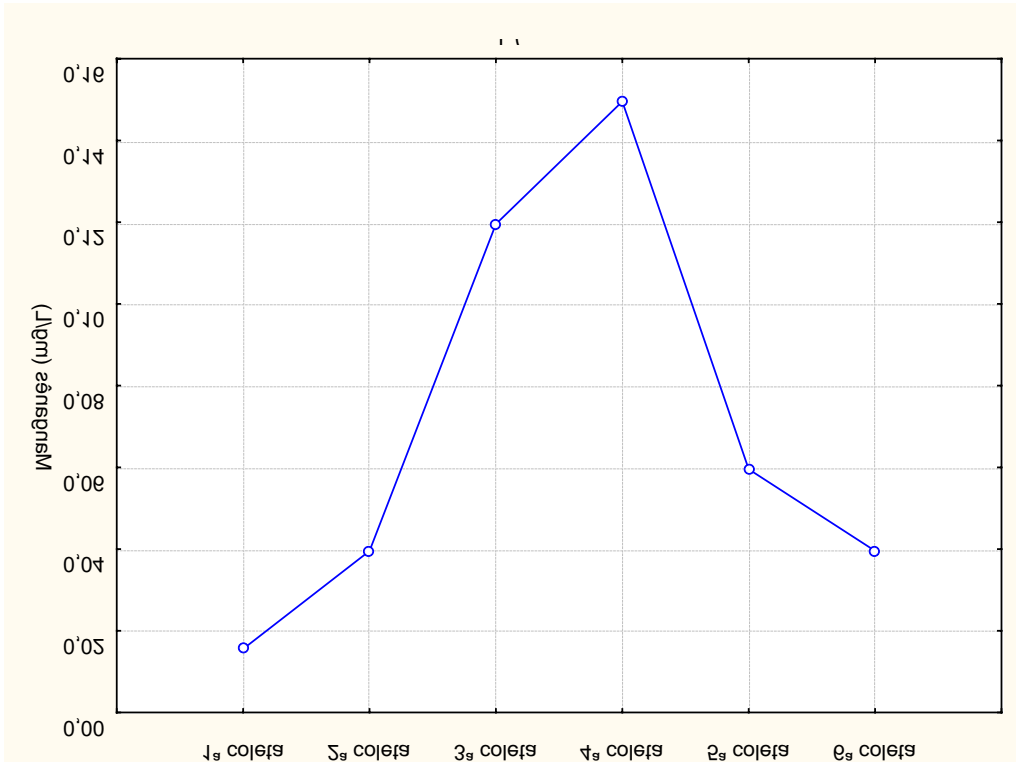


Figura 77 - Variação Temporal de MP (Manganês) no ponto P7

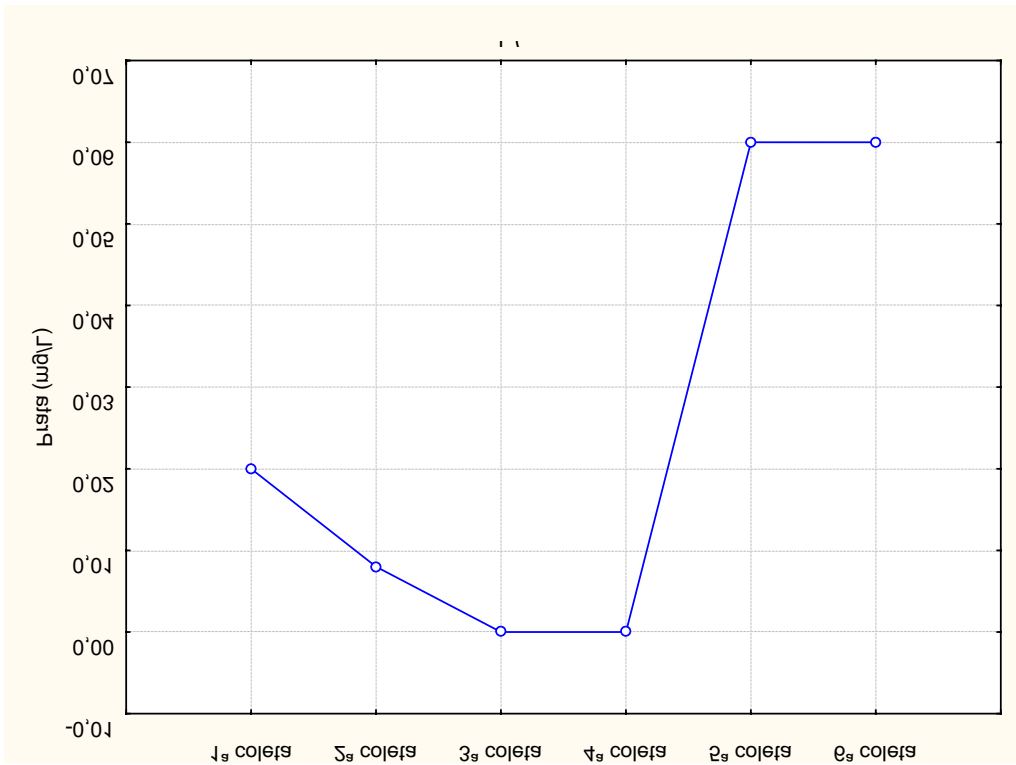


Figura 78 - Variação Temporal de MP (Prata) no ponto P7

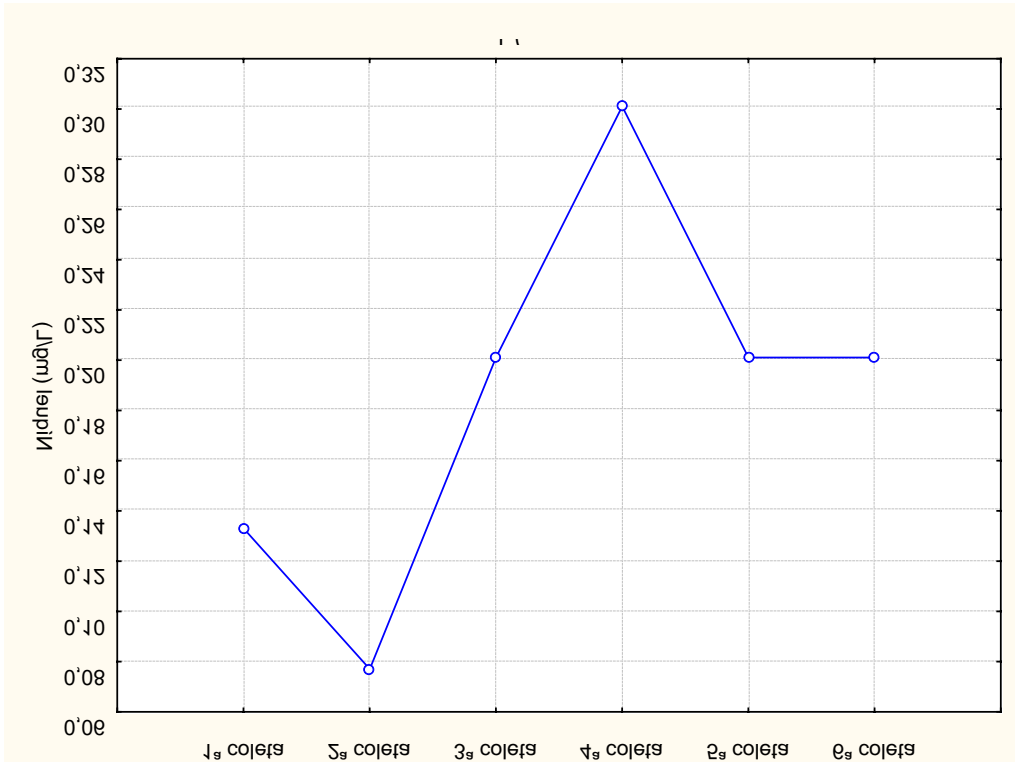


Figura 79 - Variação Temporal de MP (Níquel) no ponto P7

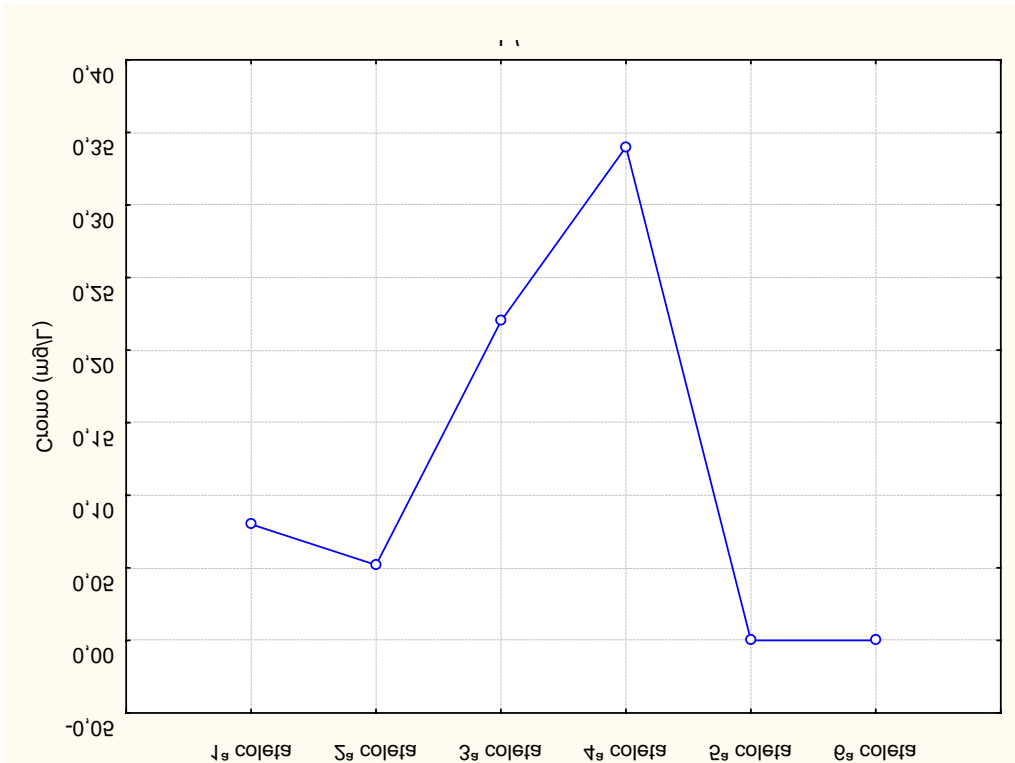


Figura 80 - Variação Temporal de MP (Cromo) no ponto P7

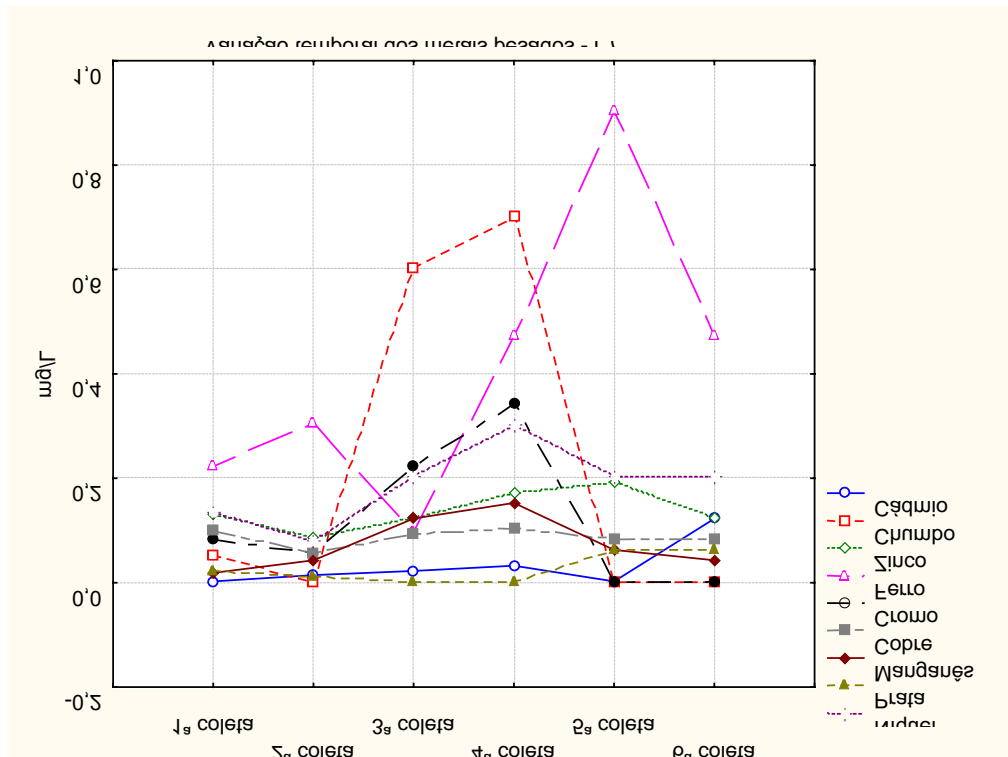


Figura 81 - Variação Temporal de MP no ponto P7

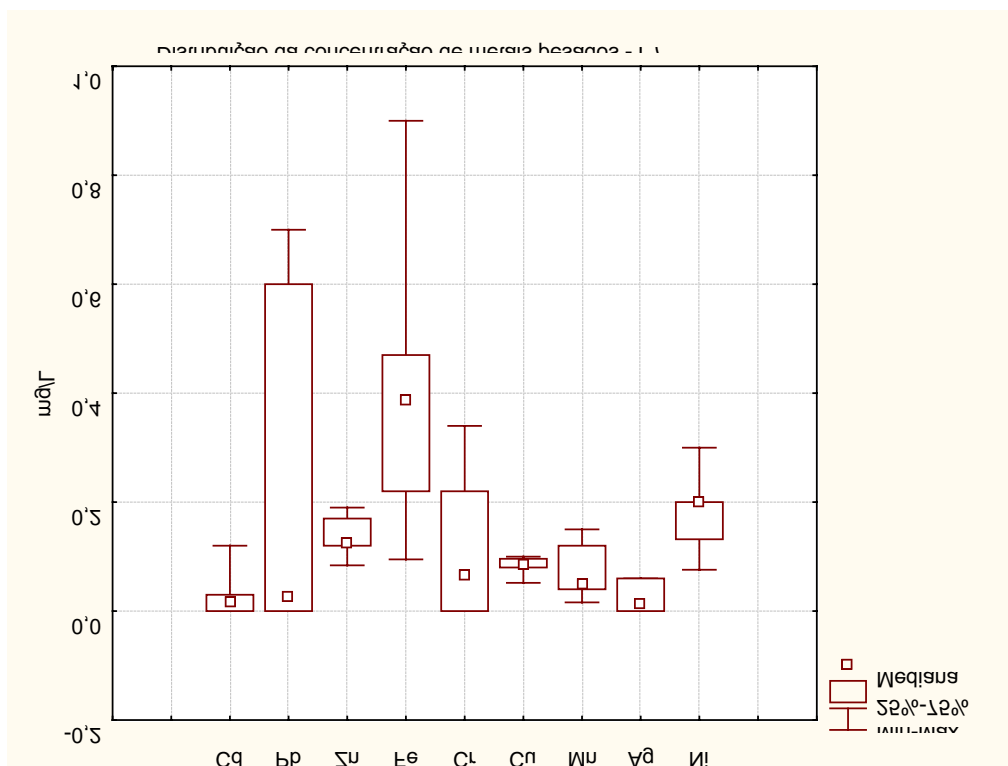


Figura 82 – Gráfico Box & Whisker da Distribuição da concentração de MP ponto P7

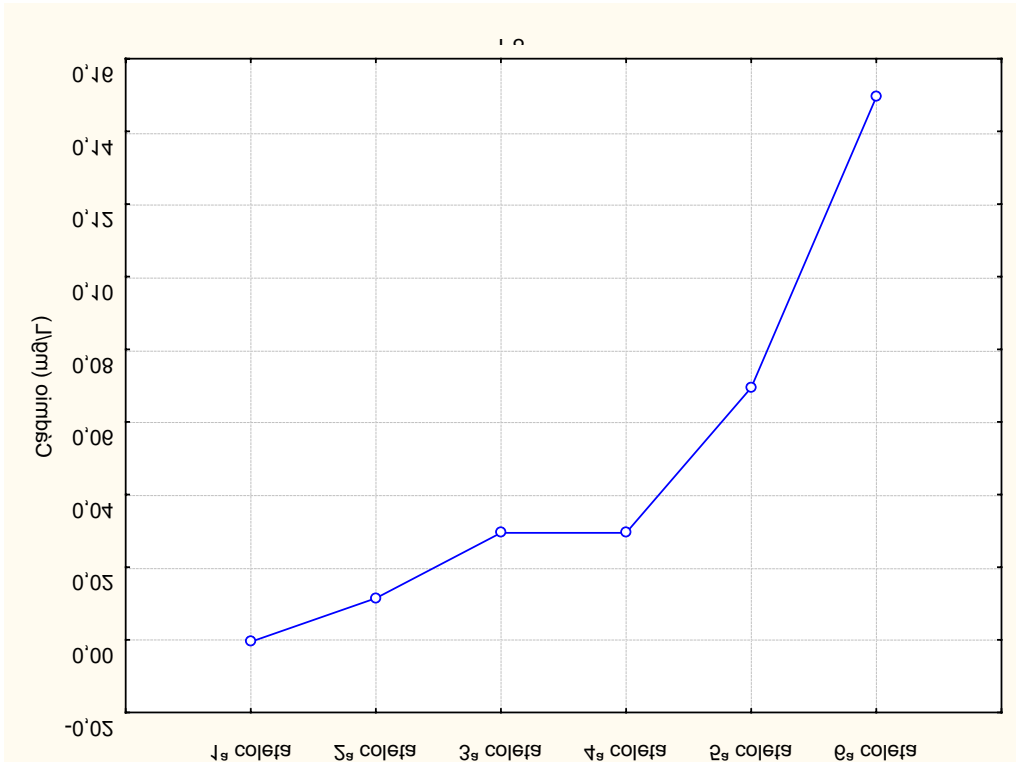


Figura 83 - Variação Temporal de MP (Cádmio) no ponto P8

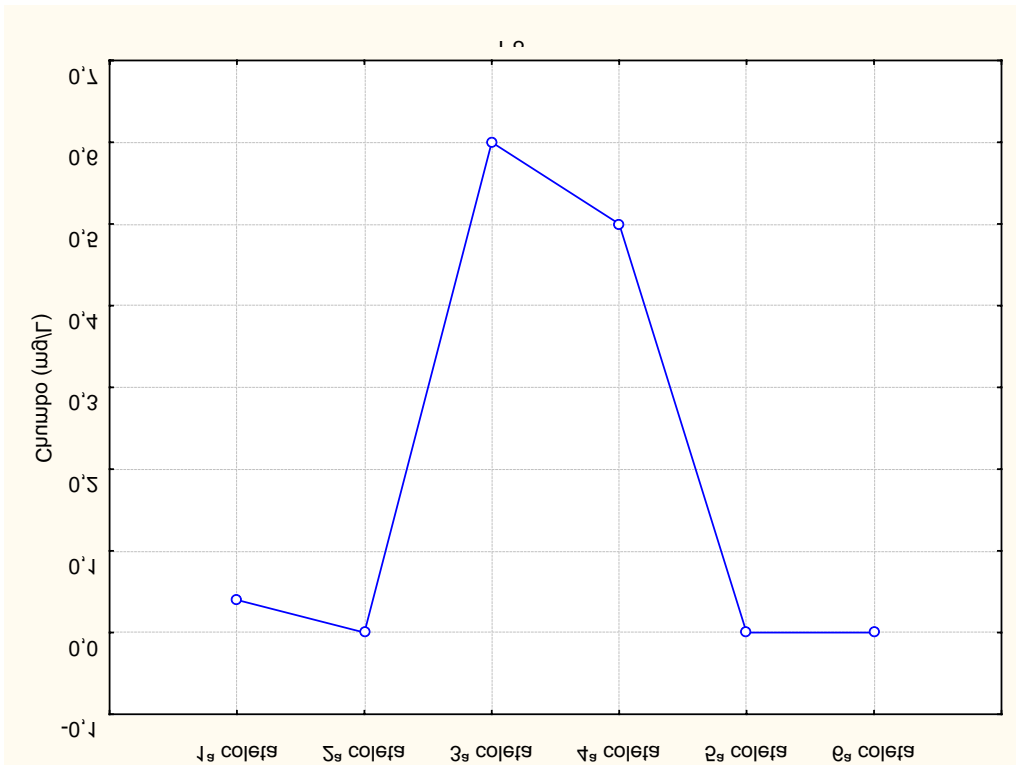


Figura 84 - Variação Temporal de MP (Chumbo) no ponto P8

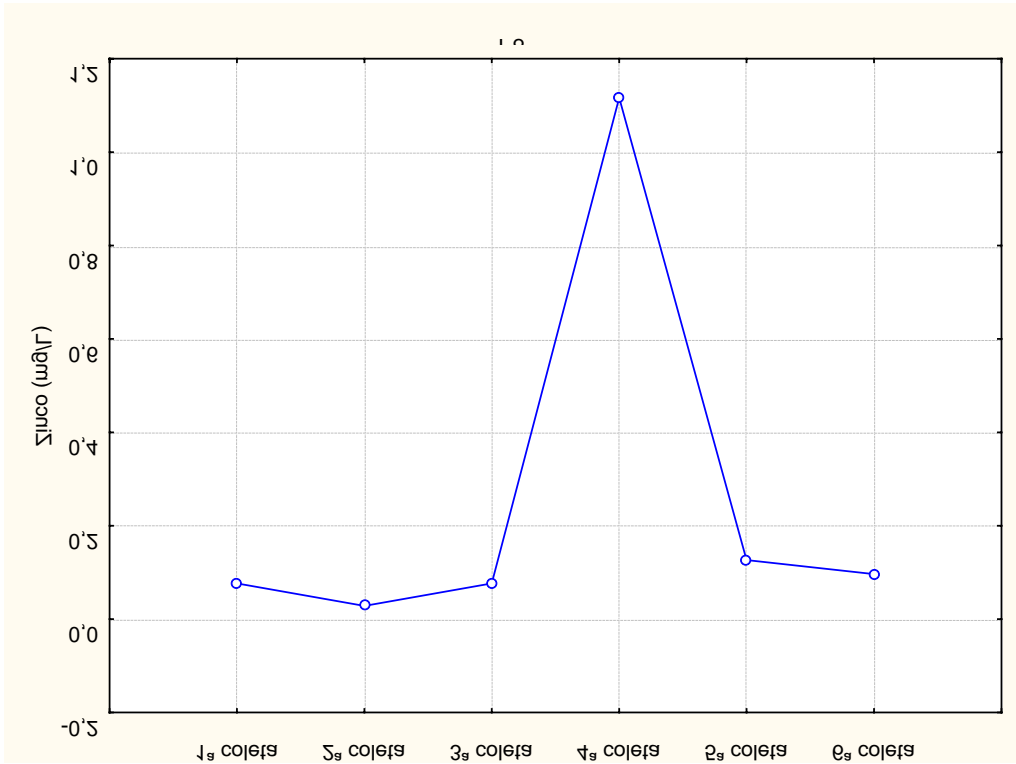


Figura 85 - Variação Temporal de MP (Zinco) no ponto P8

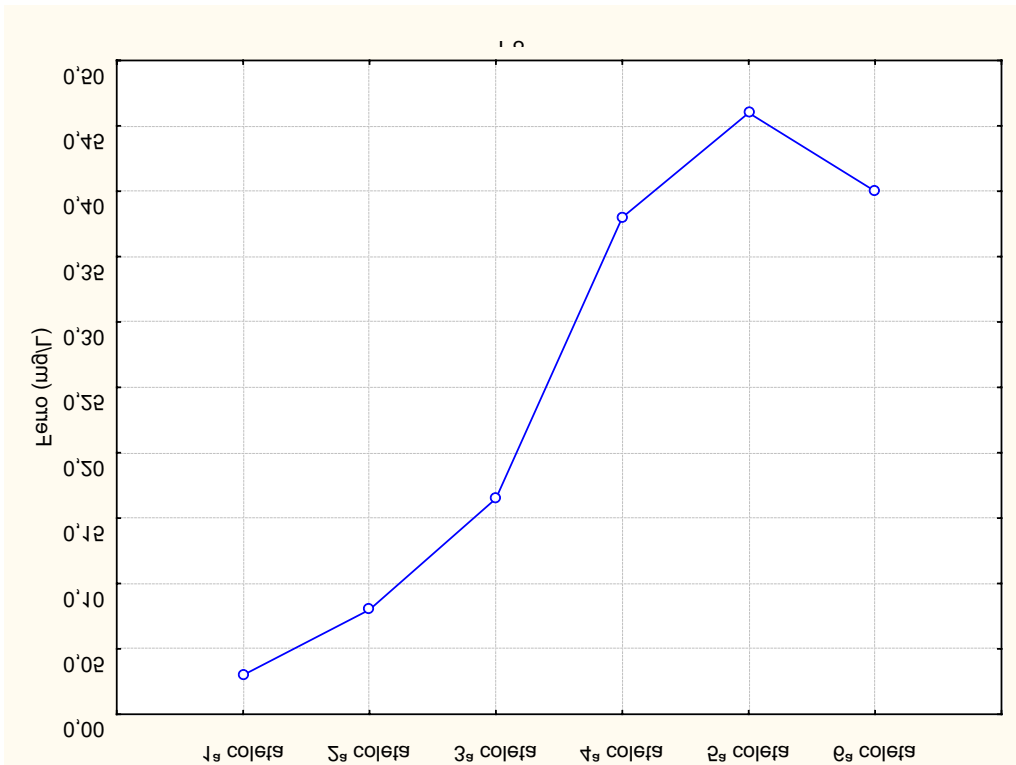


Figura 86 - Variação Temporal de MP (Ferro) no ponto P8

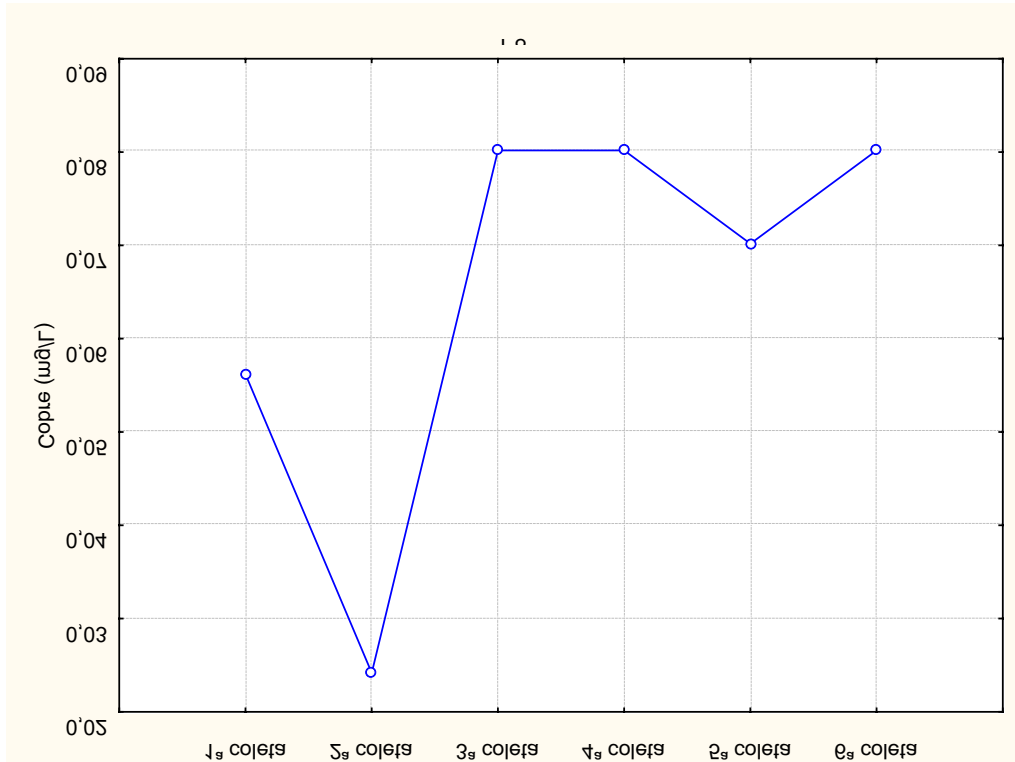


Figura 87 - Variação Temporal de MP (Cobre) no ponto P8

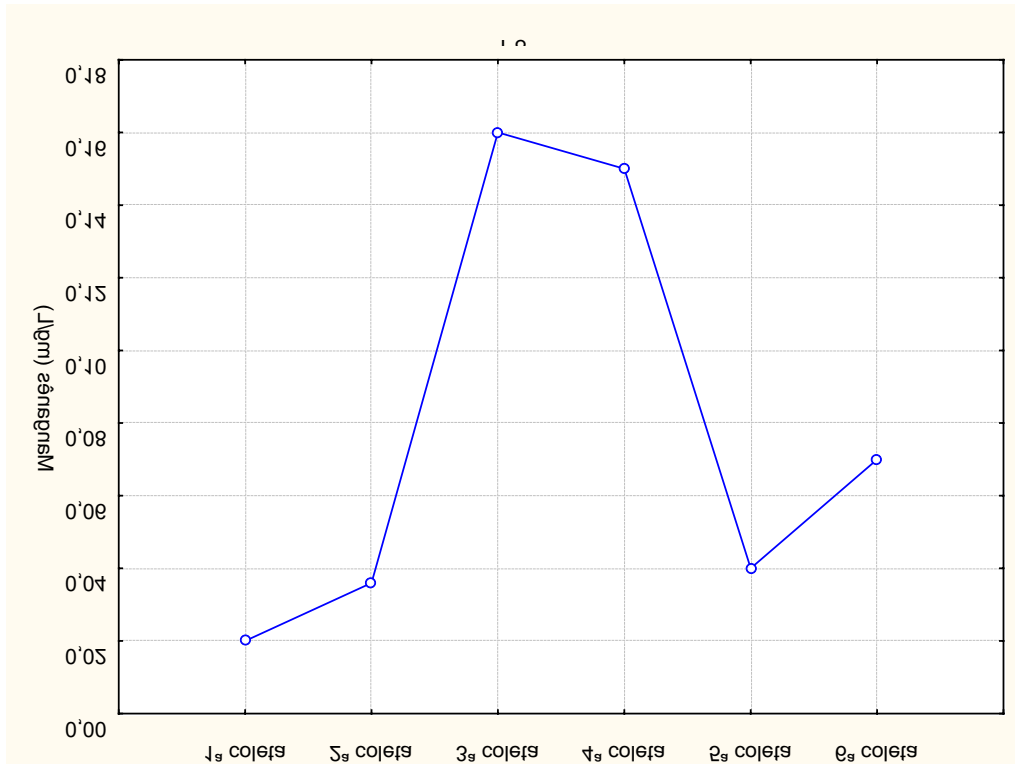


Figura 88 - Variação Temporal de MP (Manganês) no ponto P8

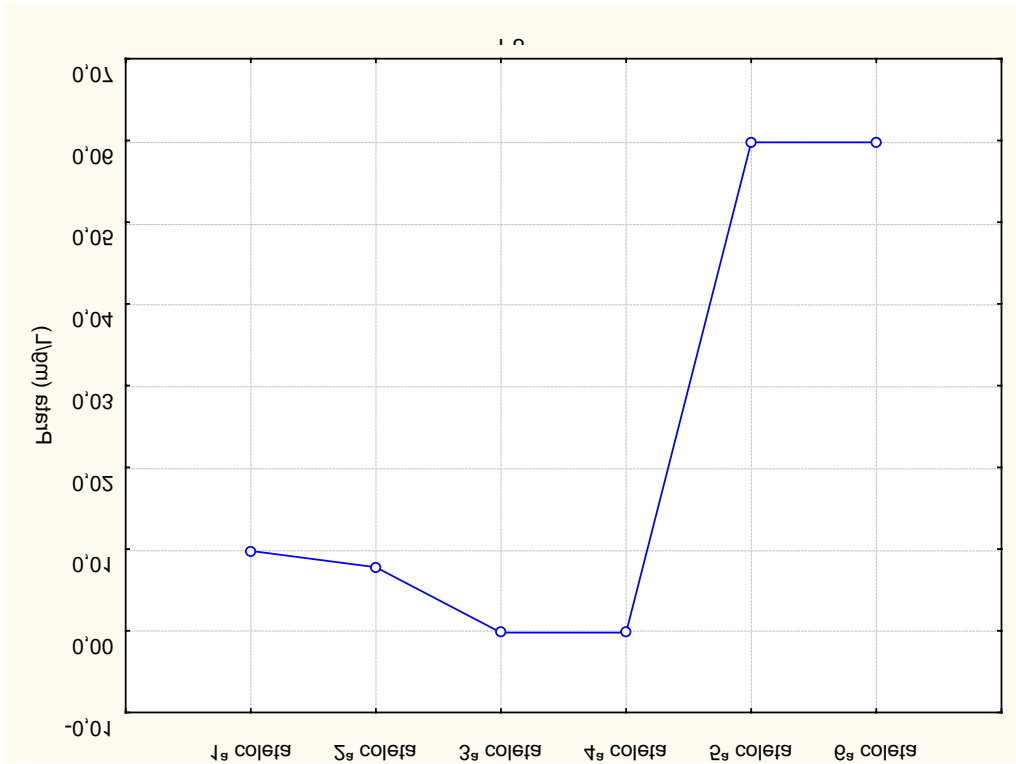


Figura 89 - Variação Temporal de MP (Prata) no ponto P8

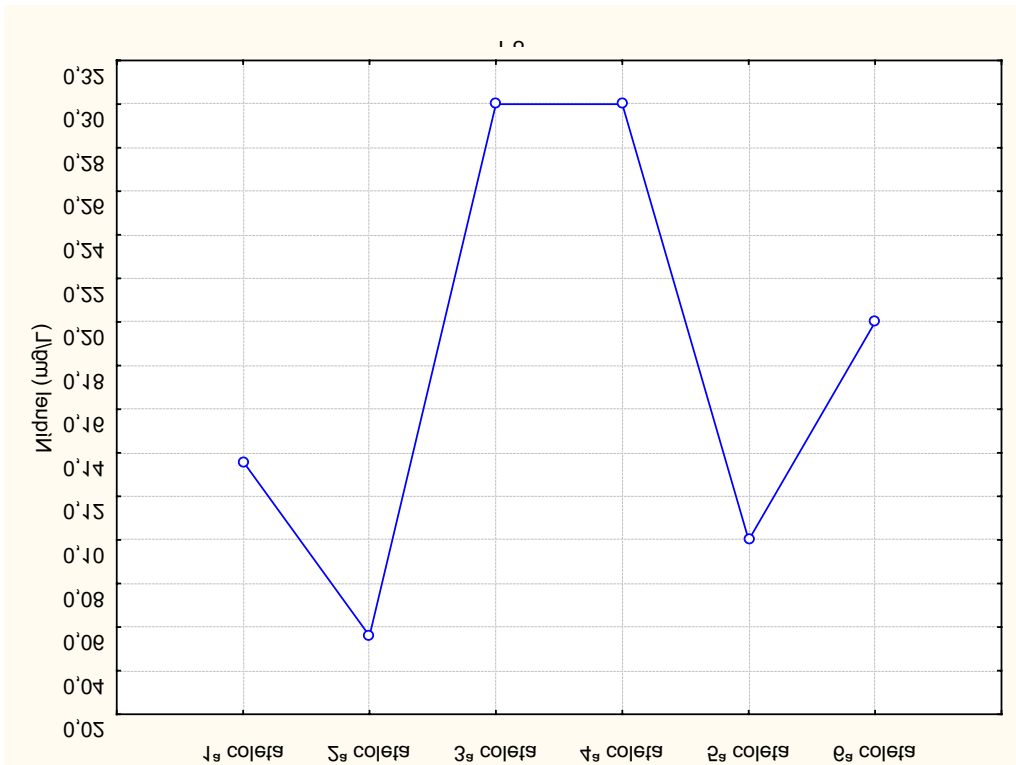


Figura 90 - Variação Temporal de MP (Níquel) no ponto P8

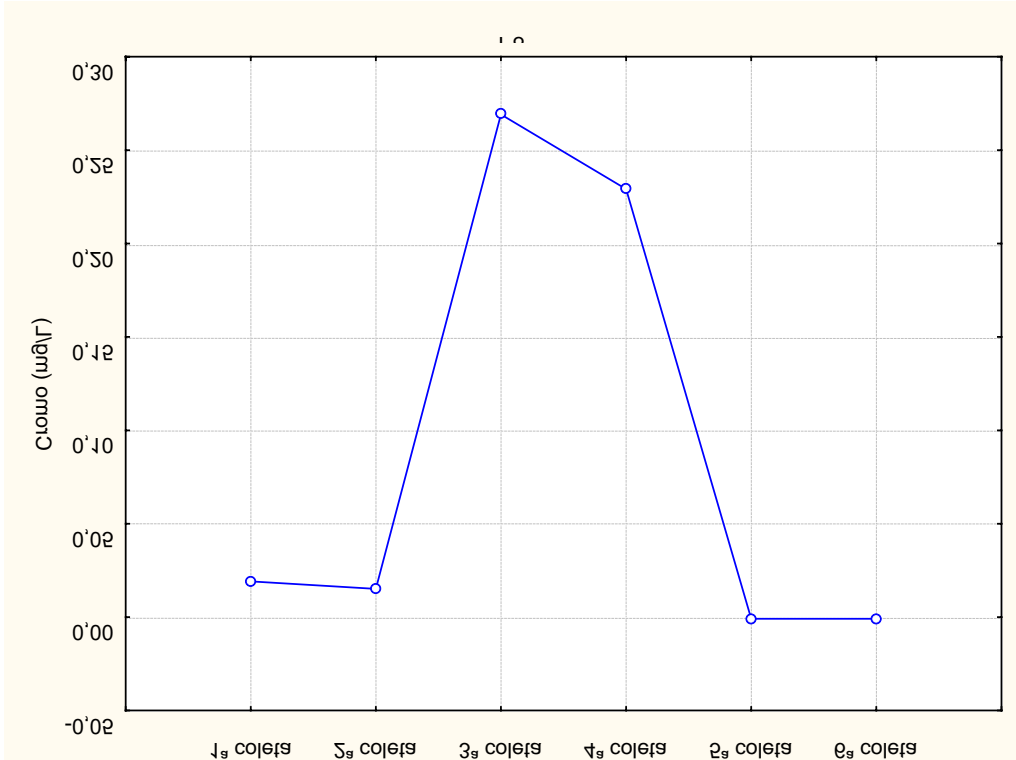


Figura 91 - Variação Temporal de MP (Cromo) no ponto P8

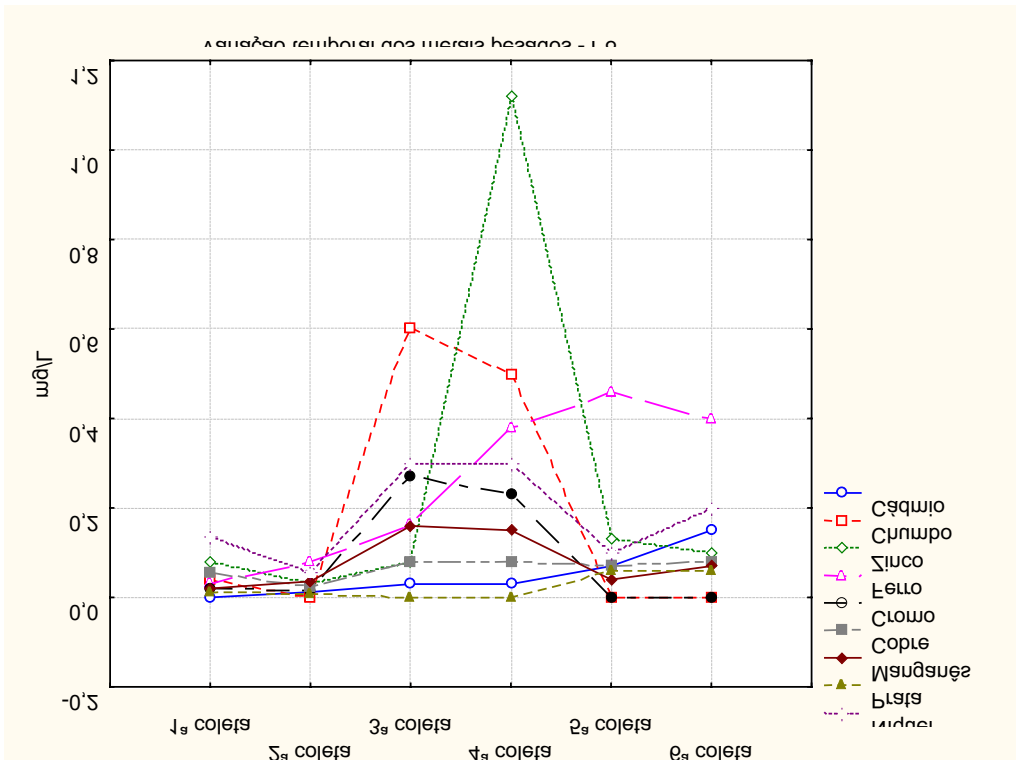


Figura 92 - Variação Temporal de MP no ponto P8

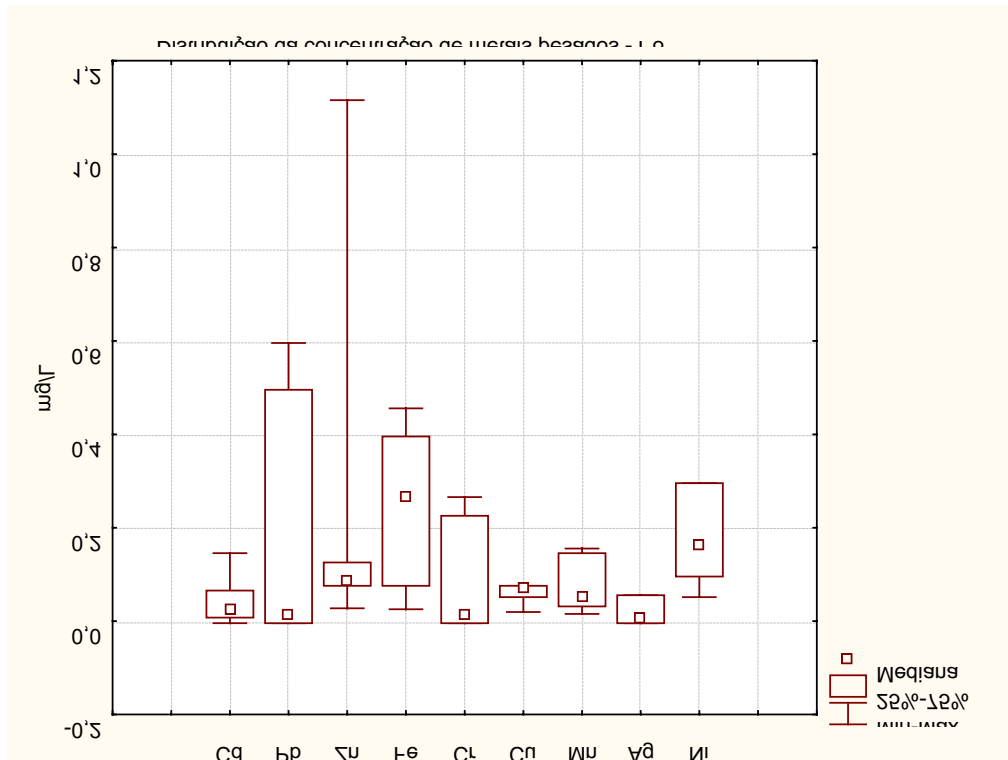


Figura 93 – Gráfico Box & Whisker - Distribuição da concentração de MP ponto P8

5.4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM A RESOLUÇÃO 357/2005 – CONAMA

Conforme Tabela 8, disposta no item 3.6.2.2 da Revisão Bibliográfica, que define **Algumas condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores** da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA – baseado no Art.34º, tem-se os valores de alguns parâmetros disponíveis na Resolução que monitoramos neste trabalho de pesquisa.

Todos os parâmetros monitorados na saída da ETE (pré-tratamento) no ponto P8 (que existem valores de referência limite na Resolução) se enquadram segundo Tabela 8, conforme se destaca abaixo:

- Coliformes Termotolerantes (Zero)
- pH (valor médio 8,10)
- Temperatura (valor médio 35,42°C)
- Valor médio do ponto P8 do metal Ferro (0,253 mg/L)
- Valor médio do Ponto P8 do metal Manganês (0,079 mg/L)

Existem ainda outros parâmetros que foram monitorados nesse trabalho de pesquisa que não tem citado valores de referência limite segundo Tabela 8, portanto não se pode fazer comparação de dados e/ou resultados.

Conforme as **Condições e Padrões características de corpos receptores classe 2** – Art. 14º da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA – dispostas no item 3.6.2.1., os resultados obtidos de OD e Turbidez se encontram fora da normalidade, obtendo resultados insatisfatórios em relação aos limites adotados.

5.5. RESULTADOS DAS EFICIÊNCIAS GLOBAIS

Os parâmetros que se calculou a eficiência global (apenas para o pré-tratamento) entre os pontos P7 e P8, visualizados na tabela 18, foram:

- Condutividade Elétrica
- Sólidos Totais
- Sólidos Suspensos Totais
- DQO
- Cor
- Turbidez
- Metais Pesados

Tabela 18 – Resultados das Eficiências Globais no pré-tratamento

| PARÂMETRO | EFICIÊNCIA (%) |
|--------------------------|-----------------------|
| Condutividade Elétrica | 15,60 |
| Sólidos Totais | 41,21 |
| Sólidos Suspensos Totais | 55,17 |
| DQO | 76,94 |
| Cor | 84,43 |
| Turbidez | 86,16 |
| Cádmio | 0,0 |
| Chumbo | 15,55 |
| Zinco | 0,0 |
| Ferro | 38,29 |
| Cromo | 22,61 |
| Cobre | 21,69 |
| Manganês | 0,0 |
| Prata | 8,0 |
| Níquel | 1,08 |

Observou-se nas análises dos resultados das eficiências globais que os parâmetros SST, DQO, Cor e Turbidez obtiveram bons resultados quantitativos (boa percentagem), já os

outros parâmetros monitorados encontram-se com valor percentual abaixo de 50%, consideramos bons resultados aqueles que possuem eficiência maior que 50%.

Apesar do parâmetro Turdidez apresentar uma boa eficiência global, ainda assim, ficou fora dos padrões limites de referência estabelecidos, conforme apresentados na análise e discussão dos resultados no item 5.3..

CAPÍTULO 6
CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

As análises apresentaram um efluente com as seguintes características:

- A entrada da ETE (pré-tratamento) ponto P7 (coleta de todos os efluentes do processo industrial P1 a P5) – possui elevada alcalinidade e pH ;
- Altas temperaturas nos pontos monitorados no processo industrial (P1 a P5);
- Presença constante de metais pesados, porém com baixas concentrações;
- Em alguns pontos altos teores de DQO;
- Altos valores de cor, principalmente nos pontos P3 – tingimento e P5 – amaciamento;
- Baixos valores de OD no ponto P7 – entrada da ETE e grande recuperação destes verificado no decorrer do Pré-tratamento;
- Baixos valores de Condutividade Elétrica.

Em relação aos resultados obtidos nos cálculos das eficiências globais da ETE, temos:

- Boa eficiência para os parâmetros de DQO, Cor, Turbidez e Sólidos Suspensos Totais;
- Baixa eficiência nos parâmetros de Condutividade Elétrica, Sólidos Totais e principalmente Metais Pesados;

A presença de metais pesados no efluente é contínua e, embora em quantidades inferiores aos limites estabelecidos pelo SITEL-DIN, deve ser considerada com cautela pelo efeito acumulativo dos mesmos.

Outro ponto a ser realçado é a grande quantidade de cor encontrada durante o monitoramento dos pontos no processo industrial, principalmente no tingimento e amaciamento (P3 e P5, respectivamente). Porém, verifica-se durante o pré-tratamento físico-químico uma remoção de 84,43%.

De acordo com as características encontradas no ponto P8 e apresentadas no Capítulo 5 – Apresentação e discussão dos Resultados pode-se dizer que as concentrações dos parâmetros (pH, temperatura, cor, Sólidos Suspensos Totais e Metais Pesados) analisados neste trabalho de pesquisa, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelos Padrões de Recebimentos do SITEL-DIN, com exceção do metal pesado Prata. Porém, se considerarmos o padrão da Resolução n.º 357/2005 – CONAMA (Art. 34º), disposta na tabela 8, que estabelece os padrões de lançamento de efluente em corpos receptores, o metal Prata estaria dentro dos limites estabelecidos.

Conforme análise realizada com a Resolução n.º 357/2005 – CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, os parâmetros monitorados nesta pesquisa, comparados com:

- Artigo 34º da Resolução, **Condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores**, foram aprovados dentro dos limites estabelecidos. Porém, os outros parâmetros não disponíveis para esse enquadramento foram analisados segundo outras fontes e/ou critérios;
- Artigo 14º da Resolução, **Condições e Padrões característicos de corpos receptores classe 2**, os parâmetros comparados foram - Oxigênio Dissolvido e Turbidez, ambos com resultados insatisfatórios.

Os parâmetros DQO, MP (Manganês), ST e CE foram enquadrados segundo outras normas dispostas nos anexos, tendo como conclusões as seguintes informações:

- DQO o efluente de saída se aproximou bastante da normalidade, ficando levemente superior ao padrão estabelecido (Legislação da Jordânia para utilização de águas residuárias tratadas para uso urbano – parques públicos);
- MP (Mangânês-Mn) mostrou resultado satisfatório segundo análise com a Resolução n.º 357/2005 – CONAMA (Art. 34º) que estabelece os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores;
- Sólidos Totais – ST – apresentou bom resultado – dentro da normalidade – segundo Concentrações máximas permitidas para disposição dos efluentes industriais em águas superficiais no Chile (Etschmann, 2000);
- Condutividade Elétrica – CE – foi considerada grau de risco elevado, segundo os Critérios de Avaliação para Reutilização da Água Residuária Tratada em Irrigação de Campos de Esportes, Pátios de Colégios e Indústrias, Parques e Jardins com contato público (Brito, 1999).

Uma outra perspectiva é analisarmos se esse lançamento direto do efluente no corpo receptor, não alterará a classe do mesmo, pois segundo a Resolução citada, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões previstos, e que não alterem a classe característica do corpo receptor.

Portanto, é indispensável à existência do Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos do Distrito Industrial de Natal (SITEL-DIN), monitorado pela Companhia de Águas e Esgotos do RN (CAERN), já que nesse trabalho de pesquisa não foram monitorados todos os parâmetros existentes na Resolução n.º 357/2005 – CONAMA, como também, não estudou-se

o efeito do lançamento direto dessa carga contaminante no corpo receptor, podendo inclusive alterar a classe do mesmo.

Isso nos mostra a grande importância do monitoramento direto dos efluentes das indústrias para evitarmos a poluição do corpo receptor Rio Jundiá/Potengi.

CAPÍTULO 7
CONSIDERAÇÕES EXTRAS

7. CONSIDERAÇÕES EXTRAS

A indústria têxtil é um campo de pesquisa muito vasto em todos os aspectos.

No aspecto ambiental, a caracterização do efluente líquido têxtil, especificamente no beneficiamento do índigo, permitiu conhecer melhor sua carga contaminante.

7.1. Limitações da Pesquisa

Algumas informações não puderam ser fornecidas ou divulgadas devido se tratar de segredo industrial.

7.2. Sugestão de Reaproveitamento de água na Produção

Conforme apresentado no capítulo 5 – Apresentação e Discussão dos Resultados – verificamos a possibilidade de reaproveitamento da água localizada no ponto P6 – água natural de resfriamento do cilindro da Sanforizadeira, para ser utilizada como complemento, juntamente com o ponto P1, no abastecimento industrial para o beneficiamento do índigo têxtil, pois a água proveniente deste ponto é de boa qualidade, não havendo presença de carga poluidora (contaminantes), e qualitativamente adequada para esse fim, conforme monitoramente realizado segundo os parâmetros analisados.

7.3. Sugestões para trabalhos futuros

- Caracterizar novamente o efluente após substituição de produtos com alta carga contaminante por produtos de menor carga;
- Desenvolver tratamentos que permitam a reciclagem da água no próprio processo industrial, já que existem pontos do processo que água sai visualmente limpa, não se misturando com todo o efluente industrial;
- Desenvolver tratamentos com membranas para remoção de cor e turbidez.

REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A química do processamento têxtil. Química Nova, 19(3), 320-330, 1996. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington, 20th ed, 2000.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. Manual de Engenharia Têxtil. Lisboa: Gráfica de Coimbra, V. 2, 1987

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. Manual de Engenharia Têxtil. Lisboa: Gráfica de Coimbra, V.1, 1986.

ASANO, T.; SMITH, R.G.; TCHOBANOGLOUS. Agua residual municipal: tratamiento y características del agua residual regenerada em Manual práctico de riego com água residual regenerada. Tradução do original inglês: "Irrigation with reclaimed municipal wastewater – a guidance manual". PETTYGROVE, G.S.; ASANO, T. Tradutor: MUJERIEGO, R. Barcelona, 1990.

AMIRTHARAJAH, A. & O'MELIA, C.R. Coagulation Process: Destabilization, Mixing and Flocculation. Chapter 6 in Water Quality and Treatment, 4th Edition, McGraw-Hill, USA, 1990.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de Tratamento de águas residuárias industriais. 18 ed., São Paulo: CETESB, 1993.

BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

BRITO, L. P. Reutilização de água residuária tratada. Publicação em Meio Digital (CD-ROM). V. 01, 215p. PPGES/CT/UFRN, Natal-RN, 1999.

CHT. A carga dos efluentes provocada pela preparação de fibras celulósicas naturais. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (52), 60-68, 1998. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização para Tipologia Têxtil. Recife: CPRH/GTZ. 125p. 2001

COOPER, P. Removing color from dyehouse waste waters – a critical review of technology available. Journal of the Society of Dyers and Colourists, MPG Information Division, 109 (March), 97-100, 1993. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta

de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

CROSSLEY, C. Membrane filtration technology in the dye industry. Journal of the Society of Dyers and Colourists, MPG Information Division, 114 (July/August), 194-196, 1998. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

ETSCHMANN, D. Water use and wastewater reuse in industry and agriculture in chile. Technology Ressource Management & Development – Scientific Contributions for Sustainable Development, V.2, 2000. Disponível em: www.tt.fh-koeln.de/publications/ittpub301202_7.pdf. Acesso em: 15 jan 2004. In: SILVA, A. M. F. C. Caracterização do efluente da ETE de uma indústria Têxtil, visando possíveis usos. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGES, 2004.

FABRETI, A. A. Pós-tratamento de efluente de lagoa de estabilização através de processo físico-químico. 159p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2006.

FERREIRA FILHO, S. S. Notas de aula da disciplina: “Processos Físico-químicos II”. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

FONSECA, I. R. Notas de aula “Efluentes Industriais” – Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental – Módulo de Química Sanitária e Ambiental. Centro Federal de educação Tecnológica do Espírito Santo - CEFET/ES, 2007.

FREITAS, K. R.; SOUZA, S. M. A.; GUELLI, U.; SOUZA, A.A.U. Caracterização e Reaproveitamento de Efluentes na Indústria Têxtil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ. Anais, 2002.

FRUTUOSO, A. M. A.; VASCONCELOS, J. D.; ESCALEIRA, R. P. C. Coagulação. Processos de Tratamento de águas residuárias. On line. Disponível: www.esb.ucp.pt/biblio/diogo/coag_p.html. Arquivo capturado em 22 de março de 1999. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. *Química Nova*, Jan./Feb., vol.23, n.º.1, p.71-78, 2000.

GOVERNO DO ESTADO DO RN – Lei Complementar Estadual n.º 272 de 03 de março de 2004, Natal/RN.

HAMMER, M. J. Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos. Editora Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro/RJ, 1979.

HART, E. Reciclagem da água, um programa economicamente viável e tecnicamente inovativo. *Química Têxtil*, São Paulo: ABQCT, (36), 7-10, 1994. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

HORSTMANN, G. Dyeing as a new environmental challenge. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, MPG Information Division, 111 (June), 182-184, 1995. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do RN. Instrução Normativa - Requisitos e Padrões para recebimento de Efluentes no Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos do Distrito Industrial de Natal – DIN, 2004.

KERMER, W. D.; RICHTER, I. S. Decolorization of dyehouse waste water by ion-pair extraction. *Melliand Textilberichte*, Frankfurt: Druckerei Schwenk & Co. GmbH, 76 (6), E116-E120, 1995. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

LAGUNAS, F. G.; LIS, M. J. Tratamento de efluentes na indústria têxtil algodoeira. *Química Têxtil*, São Paulo: ABQCT, (50), 6-15, 1998. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

LUCCA NETO, H. Dyecare: diretrizes para o emprego ecologicamente compatível de corantes. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, 58-65, 1995. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

MARTINS, G. B. H. Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de Santa Catarina. 125p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: DEP/PPGEP, 1997.

METCALF & EDDY, Inc. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 3. ed., New York: McGraw Hill Inc., 1991. Cap. 1 e 3. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de águas residuales – tratamiento, vertido e reutilización. Tradução da 3 ed em inglês “Wastewater engineering – treatment, disposal and reuse”. 3 ed. Madrid. McGraw-Hill, Interamericana de España, S.A.U. 1485p. 1985.

METCALF & EDDY, INC. Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse, 4th ed, McGraw-Hill, 2003.

MINISTÉRIO DE ÁGUA E IRRIGAÇÃO DA JORDÂNIA. Standards, Regulations & Legislation for Water Reuse in Jordan. Jordânia: USAID/ARD, 2001. Disponível em: www.dec.org/pdf_docs/PNACP575.pds. Acesso em: 10 mar 2004. In: SILVA, A. M. F. C. Caracterização do efluente da ETE de uma indústria Têxtil, visando possíveis usos.

Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGES, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE: Resolução do CONAMA n.º 357, 2005.

MINISTÉRIO PÚBLICO – 45ª Promotoria de Justiça de Defesa do Meio Ambiente. Termo de Ajustamento de Conduta, 2004.

PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. Características e sistemas de tratamento de águas residuais da indústrias têxteis: Uma primeira abordagem. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (52), 22-39, 1998. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

UFSC - Revista eletrônica do Departamento de Química “química-ufsc.br” . CORANTES: A Química nas Cores – ano 4, 2004. Acesso em: 14 de dezembro de 2007. Disponível em: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/dye/corantes.html>

SANIN, L. B.B. A indústria têxtil e o meio ambiente. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (46), 13-34, 1997. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

SILVA FILHO, M. N. Produtos químicos utilizados na indústria têxtil e a questão ecológica. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (36), 11-16, 1994. In: BELTRAME, L. T. C.

Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – Princípios do tratamento biológico de água residuária. Volumes 1, 3ª edição, Editora Revista Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – Princípios do tratamento biológico de água residuária. Volumes 2, Editora Revista Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996.

SOUZA, D.; MAI, D. T. Caracterização físico-química do rejeito do tratamento de efluentes líquidos de indústrias têxteis. Dynamis, Blumenau: Editora da Universidade Regional de Blumenau, 2(9), 7-14, 1994. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

TRAUTER, J.; SCHAFER, T. Últimos desenvolvimentos na recuperação de gomas e corantes, In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL TÊXTIL/CONFECÇÃO, 1995, Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, Julho/95. In: BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN: PPGEQ,2000.

ANEXOS

Anexo 1 - Fio 100% algodão tingido com corante índigo, mantendo núcleo branco.



Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Denim>

Anexo 2 – Consumo de água em função do substrato têxtil

| | Consumo de Água (l/kg) | | |
|----------------------------------|------------------------|-------|-------|
| | Mín. | Méd. | Máx. |
| Lã – lavagem | 4,2 | 11,7 | 77,5 |
| Lã – acabamento | 110,9 | 283,6 | 657,2 |
| Tecidos – acabamento | | | |
| Processo simples | 12,5 | 78,4 | 275,2 |
| Processo complexo | 10,8 | 86,7 | 276,9 |
| Processo complexo + desengomagem | 5,0 | 113,4 | 507,9 |
| Malha | | | |
| Processo simples | 8,3 | 135,9 | 392,8 |
| Processo complexo | 20,0 | 83,4 | 377,8 |
| Meias | 5,8 | 69,2 | 289,4 |
| Carpetes | 8,3 | 46,7 | 162,6 |
| Fios – acabamento | 3,3 | 100,1 | 557,1 |
| Não tecidos | 2,5 | 40,0 | 82,6 |
| Feltrados | 33,4 | 212,7 | 930,7 |

Fonte: Companhia Pernambucana do Meio Ambiente – CPRH, 2001

Anexo 3 – Critérios de Avaliação para Reutilização da Água Residuária Tratada em Irrigação de Campos de Esportes, Pátios de Colégios e Indústrias, Parques e Jardins com contato público (Fonte: Brito, 1999).

| Parâmetros ou Possíveis Problemas | Grau de Restrições no Uso | | |
|---------------------------------------|---------------------------|------------|---------|
| | Nenhum | Moderado | Elevado |
| <u>Salinidade</u> | | | |
| .CEa (dS/m) | <0,7 | 0,7 - 3,0 | >3,0 |
| .SDT (mg/l) | <450 | 450 - 2000 | >2000 |
| <u>Permeabilid.</u> | | | |
| TAS=0-3 e CEa | ≥ 0,7 | 0,7 - 0,2 | <0,2 |
| =3-6 | ≥ 1,2 | 1,2 - 0,3 | <0,3 |
| =6-12 | ≥ 1,9 | 1,9 - 0,5 | <0,5 |
| <u>Toxic. Íons</u> | | | |
| .Na ⁺ | | | |
| R.Superf.(TAS) | <3 | 3 - 9 | >9 |
| R.Asper(mg/l) | <70 | 70 - 175 | >175 |
| .Cl ⁻ (mg/l) | | | |
| Irrigação Superf. | <140 | 140 - 350 | >350 |
| Irrigação Aspers. | <100 | 100 - 200 | >200 |
| .B (mg/l) | <1,0 | 1,0 - 3,0 | >3,0 |
| <u>Ef.Diversos</u> | | | |
| .N-Tot(mg/l) | <15 | 15 - 30 | >30 |
| .HCO ₃ ⁻ (mg/l) | <90 | 90 - 500 | >500 |
| .SST (mg/l) | <10 | 10 - 20 | >20 |
| .DBO ₅ (mg/l) | <10 | 10 - 20 | >20 |
| .pH | 6,5 - 8,4 | | |
| <u>Microorgan.</u> | | | |
| .CT /100ml | 0 | 0 - 500 | >500 |
| .CF /100ml | 0 | 0 - 100 | >100 |
| .EF /100ml | 0 | 0 - 100 | >100 |
| <u>Metais</u> | | | |
| .Zn (mg/l) | <2,0 | 2,0 - 5,0 | >5,0 |
| .Cu (mg/l) | <0,1 | 0,1 - 0,2 | >0,2 |

Anexo 4 – Concentrações máximas permitidas para a disposição dos efluentes industriais em águas superficiais no Chile

| Parâmetro de contaminação | Unid. | Concentração máxima permitida |
|----------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| pH | - | 5,5 – 9,0 |
| Temperatura | °C | 35 |
| Sólidos Totais | mg/L | 300 |
| DBO ₅ | mg/L | 300 |
| Óleos e Graxas | mg/L | 150 |
| Nitrogênio Amoniacal | mg/L | 80 |

Fonte: Etschmann, 2000

Anexo 5 – Legislação da Jordânia para utilização de águas residuárias tratadas para uso urbano em parques públicos – alguns parâmetros

| Parâmetro de contaminação | Unid. | Limites máximos estabelecidos |
|----------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| pH | - | 6,0 – 9,0 |
| SST | mg/L | 50 |
| SDT | mg/L | 2000 |
| DBO ₅ filtrada | mg/L | 50 |
| DQO | mg/L | 200 |
| OD | mg/L | >2 |

Fonte: Ministério de água e irrigação – Jordânia, 2001