



**UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE PERNAMBUCO**

**UTILIZAÇÃO DA FILTRAÇÃO DIRETA  
ASCENDENTE EM PEDREGULHO COMO  
ALTERNATIVA DE PRÉ-FILTRAÇÃO EM  
SISTEMAS DE DUPLA FILTRAÇÃO.**

Adriana Pereira Pinto

**ORIENTADOR:** Prof. Paulo Tadeu Ribeiro de Gusmão

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

# UTILIZAÇÃO DA FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE EM PEDREGULHO COMO ALTERNATIVA DE PRÉ-FILTRAÇÃO EM SISTEMAS DE DUPLA FILTRAÇÃO.

Adriana Pereira Pinto

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

- 1) Prof<sup>a</sup> Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti - Universidade Federal de Campina Grande **UFCG** - Titular Externo.
- 2) Prof<sup>a</sup> Maria Lourdes Florêncio dos Santos - Universidade Federal de Pernambuco **UFPE** - Titular Interno.
- 3) Prof. Paulo Tadeu Ribeiro de Gusmão - Universidade Federal de Pernambuco **UFPE** - Orientador.

Recife  
2006

*Dedico esse trabalho ao meu avô materno,  
ao qual nem conheci, mas  
Que sinalizou, há quase um século atrás,  
que o verdadeiro caminho do amor.  
É Educar!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que confiaram em mim. Todos que caminharam comigo e que fortaleceram a minha vontade de vencer com uma palavra amiga, um sorriso paciente e no olhar a certeza de que somos todos vencedores. Aos meus pais um eterno agradecimento pela persistência e responsabilidade com um mundo melhor. Meus pais, que não somente criaram cinco filhos, mas formaram cidadãos conscientes do seu papel na sociedade como agentes multiplicadores. Ao meu pai um beijo orgulhoso pelo ícone de educador que representa em todos os locais por onde deixa a sua marca. A minha mãe pela sua beleza singular, dotada da pureza dos que nunca envelhecem. Aos meus irmãos que conseguiram, entre si, servir de espelho aos que, no momento, precisavam de uma imagem para se mirar. A minha vózinha que mesmo longe torce muito por mim. Aos meus amigos, Wedson, Aldinêz, Nisa, Ana Maria e Edmilson pela valiosa atenção e prestimosa ajuda.

Ao Prof. Paulo Tadeu Ribeiro de Gusmão, pela orientação e sugestão dada durante todo período da pesquisa.

Agradeço a Prof.<sup>a</sup> Lourdinha Florencio pela confiança depositada e o Prof. Mário Kato pelo conhecimento transmitido. À **COMPESA** e seus funcionários pelo espaço concedido na montagem da instalação piloto e por todo apoio dado durante a realização dos ensaios.

Ao **CNPq** pela bolsa de estudo concedida. Aos amigos do **LSA** que tantas vezes me auxiliaram na realização dos ensaios de laboratório. A Laudenice pela disponibilidade em servir, sempre. Aos meus colegas de pós-graduação que bem sabem a importância de apoio nessa jornada.

Dedico a minha luta a todos que praticam o querer e experimentam a alegria da vitória. A você, meu marido, meu amigo, companheiro, meu Príncipe. Que é um guerreiro, que não se rendeu à falta de oportunidade, as condições sociais e raciais. Que venceu o conformismo com a força dos que sabem para que vieram.

Agradeço a Deus pela dádiva de, no plano material, poder conviver com todos esses irmãos e juntos desenvolver a espiritualidade que nos levam ao encontro da felicidade.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>Vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>Viii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>Xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>Xii</b>
<b>Capítulo 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2 - OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
<b>1 – Introdução .....</b>	<b>4</b>
<b>2 – Filtração em Meio Granular .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 – Ações que Ocorrem em Meio Granular .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 – Filtração .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 – Floculação e Sedimentação .....</b>	<b>9</b>
<b>3 – Filtração Direta .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. – Coagulação Química .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. – Mistura Rápida .....</b>	<b>12</b>
<b>4 – Filtração Direta Ascendente .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. – Dupla Filtração .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2. – Filtração em Pedregulho .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 – Filtração direta Ascendente em pedregulho na Dupla Filtração .....</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo 4 – MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>1 – Introdução .....</b>	<b>23</b>
<b>2 – Instalação Piloto .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 – Sub-adutora de Água Bruta .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 – Unidades de Coagulação e Mistura Rápida .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.1 – Preparação da Solução Estoque .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.2 - Equipamento de Dosagens e Mistura Rápida .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3 – Unidade de Filtração .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.1 – Filtro de Pedregulho com Escoamento Ascendente .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.2 - Funcionamento do Filtro de Pedregulho (FDAP) .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.3 – Descargas de Fundo Intermediárias .....</b>	<b>40</b>
<b>3 – Determinação da Dosagem do Coagulante .....</b>	<b>42</b>
<b>4 - Desenvolvimento da Investigação Experimental .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1 – Fase 1 – Atividades Preliminares .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2 – Fase 1 – Ensaio de Coagulação e Filtração Preliminares .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3 – Fase 2 – Ensaio Efetivo de Filtração Direta Ascendente em Pedregulho .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4. – Fase 2 – Ensaio Especiais .....</b>	<b>48</b>
<b>5 – Parâmetros de Interesse na Investigação Experimental .....</b>	<b>50</b>
<b>Capítulo 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>1 – Apresentação dos Ensaio.....</b>	<b>52</b>
<b>2 – Resultados e Discussão.....</b>	<b>56</b>
<b>2.1 – Atividades Preliminares .....</b>	<b>56</b>
<b>2.1.1 – Medição da Vazão da Bomba Dosadora .....</b>	<b>56</b>
<b>2.1.2 – Medição das Vazões Afluentes ao Filtro FDAP .....</b>	<b>56</b>
<b>2.1.3 – Medição da Concentração de Cloro Residual Livre (CLR) .....</b>	<b>56</b>
<b>2.1.4 – Comparação entre Turbidímetros .....</b>	<b>57</b>
<b>2.1.5 – Ensaio de Coagulação e Filtração .....</b>	<b>57</b>

<b>2.2 – Ensaios Efetivos .....</b>	<b>58</b>
<b>Capítulo 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>72</b>
<b>1 – Conclusões.....</b>	<b>72</b>
<b>2 – Recomendações.....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE A – Fase 1 – Atividades Preliminares .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE B – Fase 2 – Ensaios Efetivos .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>129</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**AWWA** – American Water Works Association  
**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**Ca** – Cor aparente  
**COMPESA** – Companhia Pernambucana de saneamento  
**Cv** – Cor verdadeira  
**CRL** – Cloro Residual Livre  
**CNC** – Caixa de Nível Constante  
**Cse** – Concentração da solução estoque  
**DFI** – Descarga de Fundo Intermediária  
**ECF** – Ensaio de Coagulação e Filtração  
**E** – Ensaio Efetivo  
**EE** – Ensaio Especial  
**ETA** – Estação de Tratamento de Água  
**FAP** – Filtro Ascendente de Pedregulho  
**FRA** – Filtro Rápido de Areia (descendente)  
**FAAG** – Filtro Ascendente de Areia Grossa  
**FLA** – Filtro de Laboratório de Areia  
**FLP** – Filtro de Laboratório de Papel  
**FDAP** – Filtração Direta Ascendente em Pedregulho  
**Gm** – Gradiente de velocidade  
**Pa** – Perda de Carga antes da **DFI**  
**Pd** – perda de Carga depois da **DFI**  
**Pi** – Perda de Carga inicial  
**pHc** – pH de coagulação  
**pH** – Potencial Hidrogeniônico  
**Pz** – Potencial zeta  
**SA** – Sulfato de Alumínio  
**Tab** – Turbidez da água bruta  
**Tm** – Tempo de mistura

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 01</b> –	Distritos, Nº Total e com algum Serviço de Saneamento Básico – 2000 .....	2
<b>TABELA 02</b> –	Classificação do Meio Granular Conforme o Tamanho dos Grãos .....	17
<b>TABELA 03</b> –	Classificação do meio Granular Conforme Instituições internacionais .....	18
<b>TABELA 04</b> –	Classificação do meio Granular Conforme Instituições Internacionais .....	18
<b>TABELA 05</b> –	Classificação do Meio Granular Conforme Normas Brasileiras .	18
<b>TABELA 06</b> –	Descrição dos Sistemas de Dupla Filtração – Características da Água Bruta e Operação dos Sistemas.....	25
<b>TABELA 07</b> –	Descrição do Sistema de Dupla Filtração Pesquisado – Parâmetros e Tipo de Mistura Rápida Utilizada.....	26
<b>TABELA 08</b> –	Valores de Turbidez e Cor Aparente nas Águas da Barragem de Duas Unas – Período de 15/01/1998 a 27/02/2002 .....	29
<b>TABELA 09</b> –	Características do Sulfato de Alumínio Comercial Líquido Fabricado pela Aluminal .....	30
<b>TABELA 10</b> –	Concentração do Coagulante na Solução Estoque e Dosagem do Coagulante nos Ensaios de Filtração Direta Ascendente em Pedregulho .....	33
<b>TABELA 11</b> –	Medição de vazão da Bomba Dosadora III .....	34
<b>TABELA 12</b> –	Medição de vazão da Bomba Dosadora II .....	34
<b>TABELA 13</b> –	Vazão dos Orifícios da Caixa de nível Constante e Taxa de Filtração resultante na Unidade de Filtração .....	39
<b>TABELA 14</b> –	Características dos Ensaios de Filtração Direta Ascendente em Pedregulho ( <b>E1</b> a <b>E13</b> ) .....	52
<b>TABELA 15</b> –	Título das Tabelas referentes aos ensaios <b>E1</b> a <b>E13</b> e <b>ECF 5</b> a <b>ECF 9</b> .....	57
<b>TABELA 16</b> –	Título das Figuras referentes aos ensaios <b>E1</b> a <b>E13</b> e <b>ECF 5</b> a <b>ECF 9</b> .....	58
<b>TABELA 17</b> –	Características dos ensaios <b>E3</b> e <b>E11</b> . .....	63
<b>TABELA 18</b> –	Perda de carga Total e Taxa de Filtração dos Ensaios <b>E10</b> , <b>E12</b> e <b>E13</b> .....	64
<b>TABELA 19</b> –	Características dos Ensaios <b>E9</b> e <b>E10</b> .....	65
<b>TABELA 20</b> –	Ensaios sem <b>DFI</b> .....	65
<b>TABELA 21</b> –	Características dos Ensaios <b>E10</b> e <b>E11</b> .....	66
<b>TABELA 22</b> –	Características do <b>E2</b> .....	67
<b>TABELA 23</b> –	Características do <b>E4</b> .....	67
<b>TABELA 24</b> –	Características do <b>E6</b> .....	67
<b>TABELA 25</b> –	Características do <b>E7</b> .....	67
<b>TABELA 26</b> –	Características do <b>E9</b> .....	67
<b>TABELA 27</b> –	Características do <b>E11</b> .....	67
<b>TABELA 28</b> –	Percentual da Perda de Carga Final por subcamada registrada nos ensaios sem <b>DFI</b> .....	69
<b>TABELA 29</b> –	Percentual da Perda de Carga Final por subcamada registrada nos ensaios com <b>DFI</b> .....	69
<b>TABELA 30</b> –	Remoção de Turbidez e Cor Aparente nos ensaios <b>E1</b> a <b>E13</b> .....	72
<b>TABELA 31</b> –	Turbidez X Dosagem .....	75

<b>TABELA A1</b>	<b>ECF1</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	80
<b>TABELA A2</b>	<b>ECF2</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	80
<b>TABELA A3</b>	<b>ECF3</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	81
<b>TABELA A4</b>	<b>ECF4</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	82
<b>TABELA A5</b>	Comparação entre as Leituras de turbidez nos Turbidímetros Hach 2100 P e Hach 2100 N, utilizando 29 amostras .....	84
<b>TABELA B1</b>	Ensaio <b>E1</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> .....	87
<b>TABELA B2</b>	Ensaio <b>E1</b> – Turbidez e Cor Aparente .....	87
<b>TABELA B3</b>	<b>ECF 5</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	87
<b>TABELA B4</b>	Ensaio <b>E2</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> – <b>DFI</b> .....	88
<b>TABELA B5</b>	Ensaio <b>E2</b> – Turbidez , Cor Aparente, pH e Alcalinidade – <b>DFI</b> .....	88
<b>TABELA B6</b>	Ensaio <b>E3</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> .....	89
<b>TABELA B7</b>	Ensaio <b>E3</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade .....	89
<b>TABELA B8</b>	Ensaio <b>E4</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> – <b>DFI</b> .....	90
<b>TABELA B9</b>	Ensaio <b>E4</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade – <b>DFI</b> .....	90
<b>TABELA B10</b>	Ensaio <b>E5</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> – <b>DFI</b> .....	91
<b>TABELA B11</b>	Ensaio <b>E5</b> – Turbidez, - pH e Alcalinidade – <b>DFI</b> .....	91
<b>TABELA B12</b>	<b>ECF 6</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	92
<b>TABELA B13</b>	Ensaio <b>E6</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> – <b>DFI</b> .....	92
<b>TABELA B14</b>	Ensaio <b>E6</b> – Turbidez e Cor Aparente .....	93
<b>TABELA B15</b>	Ensaio <b>E7</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> – <b>DFI</b> .....	93
<b>TABELA B16</b>	Ensaio <b>E7</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade – <b>DFI</b> .....	94
<b>TABELA B17</b>	<b>ECF 7</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	94
<b>TABELA B18</b>	Ensaio <b>E8</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> .....	95
<b>TABELA B19</b>	Ensaio <b>E8</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade .....	96
<b>TABELA B20</b>	<b>ECF 8</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	96
<b>TABELA B21</b>	Ensaio <b>E9</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> – <b>DFI</b> .....	97
<b>TABELA B22</b>	Ensaio <b>E9</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade .....	98
<b>TABELA B23</b>	Ensaio <b>E10</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> .....	99
<b>TABELA B24</b>	Ensaio <b>E10</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade .....	100
<b>TABELA B25</b>	Ensaio <b>E11</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> – <b>DFI</b> .....	101
<b>TABELA B26</b>	Ensaio <b>E11</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade - <b>DFI</b> .....	102
<b>TABELA B27</b>	<b>ECF 9</b> – Ensaio do <b>FLA</b> .....	103
<b>TABELA B28</b>	Ensaio <b>E12</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> .....	103
<b>TABELA B29</b>	Ensaio <b>E12</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade .....	104
<b>TABELA B30</b>	Ensaio <b>E13</b> - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do <b>FDAP</b> .....	104
<b>TABELA B31</b>	Ensaio <b>E13</b> – Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade .....	105

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 01</b> –	Esquema Detalhado da Instalação Piloto .....	28
<b>FIGURA 02</b> –	Canalização de Recalque que faz parte do Sistema de Coagulação e Mistura Rápida .....	32
<b>FIGURA 03</b> –	Tanque de Preparo da Solução Estoque (A) Tanque T1 e (B) Tanque T2 .....	32
<b>FIGURA 04</b> –	Bomba Dosadora .....	34
<b>FIGURA 05</b> –	Curva da Bomba Dosadora Posição III .....	35
<b>FIGURA 06</b> –	Curva da Bomba Dosadora Posição II .....	35
<b>FIGURA 07</b> –	Identificação dos Registros do Sistema de Adução de Água Bruta e de Coagulação e Mistura Rápida .....	37
<b>FIGURA 08</b> –	Esquema do Injetor I .....	37
<b>FIGURA 09</b> –	Esquema da Caixa de Nível Constante – Corte Longitudinal .....	38
<b>FIGURA 10</b> –	Detalhe da Parede Divisória da Caixa de Nível Constante entre as Camadas A e C .....	39
<b>FIGURA 11</b> –	Visão Superior da Caixa de Nível Constante. (A) Parede Divisória com Orifícios e (B) Parede Vertedora .....	40
<b>FIGURA 12</b> –	(A) Caixa de Nível Constante, (B) Tubulação Extravasora e (C) Tubulação de Alimentação .....	40
<b>FIGURA 13</b> –	Tubulação de Entrada e Tubulação para Descarga de Fundo no <b>FDAP</b> .....	40
<b>FIGURA 14</b> –	Foto do Filtro Ascendente de Pedregulho .....	42
<b>FIGURA 15</b> –	Quadro Piezométrico .....	42
<b>FIGURA 16</b> –	Esquema do Filtro de Laboratório de Areia ( <b>FLA</b> ) .....	48
<b>FIGURA 17</b> –	Esquema do Filtro Ascendente de Pedregulho .....	49
<b>FIGURA 18</b> –	Perda de Carga Total e Taxa de Filtração dos Ensaios <b>E10, E12</b> e <b>E13</b> .....	64
<b>FIGURA A1</b> –	<b>ECF 2</b> – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do <b>FLA</b> .....	80
<b>FIGURA A2</b> –	<b>ECF 3</b> – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do <b>FLA</b> .....	81
<b>FIGURA A3</b> –	<b>ECF 4</b> – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do <b>FLA</b> .....	82
<b>FIGURA A4</b> –	Variação da Concentração de <b>CRL</b> ao Longo do Período de Estocagem .....	83
<b>FIGURA A5</b> –	Comparação entre Turbidímetros 2100 P e 2100 N – Intervalo de 0 a 10 .....	85
<b>FIGURA A6</b> –	Comparação entre Turbidímetros 2100 P e 2100 N – Intervalo de 0 a 100 .....	85
<b>FIGURA A7</b> –	Comparação entre Turbidímetros 2100 P e 2100 N – Intervalo de 0 a 1000 .....	85
<b>FIGURA B1</b> –	Ensaio <b>E1</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	106
<b>FIGURA B2</b> –	Ensaio <b>E1</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	71/106
<b>FIGURA B3</b> –	<b>ECF 5</b> – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do <b>FLA</b> .....	107
<b>FIGURA B4</b> –	Ensaio <b>E2</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	108
<b>FIGURA B5</b> –	Ensaio <b>E2</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b>	

	(20°C) .....	108
<b>FIGURA B6 –</b>	Ensaio <b>E3</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	63/109
<b>FIGURA B7 –</b>	Ensaio <b>E3</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	109
<b>FIGURA B8 –</b>	Ensaio <b>E4</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	110
<b>FIGURA B9 –</b>	Ensaio <b>E4</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	110
<b>FIGURA B10 –</b>	Ensaio <b>E5</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	111
<b>FIGURA B11 –</b>	Ensaio <b>E5</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	111
<b>FIGURA B12 –</b>	<b>ECF 6</b> – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do <b>FLA</b> .....	112
<b>FIGURA B13 –</b>	Ensaio <b>E6</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	113
<b>FIGURA B14 –</b>	Ensaio <b>E6</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	113
<b>FIGURA B15 –</b>	Ensaio <b>E7</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	114
<b>FIGURA B16 –</b>	Ensaio <b>E7</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	114
<b>FIGURA B17 –</b>	<b>ECF 7</b> – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do <b>FLA</b> .....	115
<b>FIGURA B18 –</b>	Ensaio <b>E8</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	116
<b>FIGURA B19 –</b>	Ensaio <b>E8</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	116
<b>FIGURA B 20 –</b>	Ensaio <b>E8</b> – Perda de Carga nas subcamadas no meio Granular	117
<b>FIGURA B21 –</b>	<b>ECF 8</b> – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do <b>FLA</b> .....	117
<b>FIGURA B22 –</b>	Ensaio <b>E9</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	118
<b>FIGURA B23 –</b>	Ensaio <b>E9</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	118
<b>FIGURA B24 –</b>	Ensaio <b>E9</b> – Perda de Carga nas subcamadas no meio Granular	119
<b>FIGURA B25 –</b>	Ensaio <b>E10</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	66/120
<b>FIGURA B26 –</b>	Ensaio <b>E10</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	120
<b>FIGURA B 27 –</b>	Ensaio <b>E10</b> – Perda de Carga nas subcamadas no Meio Granular .....	70/ 121
<b>FIGURA B28 –</b>	Ensaio <b>E11</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	63/122
<b>FIGURA B29 –</b>	Ensaio <b>E11</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	122
<b>FIGURA B 30 –</b>	Ensaio <b>E11</b> – Perda de Carga nas subcamadas no meio Granular .....	123
<b>FIGURA B31 –</b>	<b>ECF 9</b> – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do <b>FLA</b> .....	124
<b>FIGURA B32 –</b>	Ensaio <b>E12</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	124
<b>FIGURA B33 –</b>	Ensaio <b>E12</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> (20°C) .....	125
<b>FIGURA B 34 –</b>	Ensaio <b>E12</b> – Perda de Carga nas subcamadas no Meio Granular .....	125
<b>FIGURA B35 –</b>	Ensaio <b>E13</b> – Turbidez da água bruta e efluente do <b>FDAP</b> .....	126
<b>FIGURA B36 –</b>	Ensaio <b>E13</b> – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro	

	<b>FDAP (20°C)</b> .....	126
<b>FIGURA B 37</b> –	Ensaio <b>E13</b> – Perda de Carga nas subcamadas no Meio Granular .....	127
<b>FIGURA B38</b> –	Ensaio <b>E1</b> – Taxa de Escoamento das Descargas de Fundo .....	128
<b>FIGURA B39</b> –	Ensaio <b>E1</b> – Curva de Turbidez do Efluente das Descargas de Fundo .....	128
<b>FIGURA B40</b> –	Ensaio <b>E2</b> – Taxa de Escoamento das Descargas de Fundo .....	129
<b>FIGURA B41</b> –	Ensaio <b>E2</b> – Curva de Turbidez do Efluente das Descargas de Fundo .....	129
<b>FIGURA B42</b> –	Ensaio <b>E4</b> – Curva de Turbidez do Efluente do Filtro <b>FDAP</b> após a 3º <b>DFI</b> .....	130
<b>FIGURA B43</b> –	Ensaio <b>E5</b> – Curva de Turbidez do Efluente do Filtro <b>FDAP</b> após a 3º <b>DFI</b> .....	130
<b>FIGURA B44</b> –	Ensaio <b>E5</b> – Curva de Turbidez do Efluente do Filtro <b>FDAP</b> após a 4º <b>DFI</b> .....	131
<b>FIGURA B45</b> –	Ensaio <b>E7</b> – Curva de Turbidez do Efluente do Filtro <b>FDAP</b> após <b>DF</b> .....	131
<b>FIGURA B46</b> –	Ensaio Especial ( <b>EE1</b> ) – Turbidez do Efluente do Filtro <b>FDAP</b> .....	132
<b>FIGURA B47</b> –	Ensaio Especial ( <b>EE1</b> ) – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> .....	132
<b>FIGURA B48</b> –	Ensaio Especial ( <b>EE1</b> ) – Turbidez do Efluente do Filtro <b>FDAP</b> no Período Inicial .....	133
<b>FIGURA B49</b> –	Ensaio Especial ( <b>EE2</b> ) – Turbidez do Efluente do Filtro <b>FDAP</b> .....	133
<b>FIGURA B50</b> –	Ensaio Especial ( <b>EE2</b> ) – Perda de Carga no Meio Granular do Filtro <b>FDAP</b> .....	134

## RESUMO

**PINTO, A. P.(2006).** Utilização da filtração direta ascendente em pedregulho como alternativa de pré- filtração em sistemas de dupla filtração.

Este trabalho teve como objetivo a avaliação do desempenho da unidade de filtração ascendente em pedregulho (**FDAP**) como alternativa de pré-filtração em sistema de dupla filtração, utilizando-se água superficial da Barragem de Duas Unas. Foram aplicadas as taxas de filtração no **FDAP** variando entre 45 a 195 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e executadas descargas de fundo intermediarias (**DFIs**). Para controle das dosagens do coagulante foi utilizado filtro de laboratório de areia (**FLA**). Foi constatada a aplicabilidade da tecnologia de **FDAP** na produção de água com turbidez inferior a 5 uT. Operado com taxa de filtração inferior a 86 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e realização de **DFIs**, para água bruta com valor de turbidez entre 4,1 e 30 uT. As **DFIs** foram eficientes na remoção de impurezas, na redução da perda de carga e contribuem para o prolongamento da carreira de filtração.

## ABSTRACT

**PINTO, A. P.(2006).** Using of up-flow gravel direct filtration as a alternatives of double filtration system.

The present work was carried out in order to evaluate the performance of up-flow gravel direct filter (**FDAP**) as a alternatives of double filtration system, using surface natural raw water. The filtration rates studied were **FDAP** (45 a 195 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia) and executed intermediate down flushes performed in the upflow filter **DFIs**. The coagulant doses have been established through the use laboratory scale sand filter. The main conclusions the technology a **FDAP** to produce water with turbidity 5uT and executed the **DFI** with filtration rates 86 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia of water natural turbidity a values between 4,1 and 30 uT. Interdiate down flushes performed in the upflow filter have significantly reduced impurities headloss in the gravel layers during the runs and contributed to increase the run length.

*“ ... águas escuras dos rios,  
são as mesmas águas  
que encharcam o chão.  
... águas que o sol evapora,  
para o céu vão embora,  
virar nuvens de algodão.  
... águas que matam a sede da população  
e depois voltam tranqüilas para o fundo da Terra.”*  
*(Guilherme Arantes)*

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1 – INTRODUÇÃO

A escassez de água de boa qualidade, os elevados custos do tratamento de água, a defasagem no sistema de abastecimento de água e aumento crescente na demanda no consumo de água tratada são alguns dos motivos que levam os pesquisadores a buscar alternativas de pré-tratamento a tecnologia ao tratamento de água em ciclo completo (seqüência de coagulação, floculação e decantação ou flotação). Segundo **DI BERNARDO (2003)**, os profissionais que se dedicam à pesquisa relacionadas ao tratamento de água para abastecimento público estão sempre almejando o aperfeiçoamento dos processos de tratamento de água existentes ou o desenvolvimento de novas tecnologias, visando reduzir custos e aumentar a eficiência do tratamento. Para o pesquisador o objetivo primordial é a potabilidade da água distribuída à população, contudo, é importante buscar alternativas de baixo custo que atenda a esse objetivo a fim de viabilizar a universalização do acesso à água em quantidade e com qualidade necessária para satisfazer os fins que se destina.

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo **IBGE** em 2000 revelou que a percentagem de distritos Nordestinos não abastecidos por rede de distribuição de água é a mesma dos distritos Pernambucanos, superando assim os índices Nacionais, conforme a **Tabela 01**:

**TABELA 01** – Distritos, Nº Total e com Alguem Serviço de Saneamento Básico – 2000.

Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais.	Total de distritos	Distritos sem rede geral de abastecimento de água	Distritos com algum serviço de Saneamento Básico				
			Total	Tipo de Serviço			
				Rede geral de distribuição de água	Rede coletora de esgoto	Limpeza Urbana e Coleta de Lixo	Drenagem Urbana
Brasil	9.848	1.192	9.262	8.656	4.097	8.381	5.758
Nordeste	3.084	534	2.871	2.550	933	2.714	1.417
Pernambuco	381	66	371	315	260	359	251
Recife	1	-	1	1	1	1	1
Região Metropolitana	24	-	24	24	14	23	21

Fonte:www.ibge.gov.br

Segundo essa mesma pesquisa, o Brasil dispõe de 4.560 estações de tratamento de água sendo que 1.195 estão localizadas no Nordeste, das quais 228 estão em Pernambuco e 29 no Recife. Dentre os 6.046 distritos brasileiros abastecidos com água tratada, 3.413 deles são através do tratamento convencional. Apesar dessa predominância do número de unidades que utilizam o tratamento convencional é necessário o desenvolvimento dessa tecnologia para aplicabilidade em pequenas comunidades e distritos que ainda não dispõem de água tratada, já que a implantação de estação tipo filtração direta pode ser instalada em pequenas áreas, com um custo de implantação menor que os da **ETA** tipo ciclo completo, menores gastos com operacionalização do sistema devido à simplicidade na sua operação.

O presente trabalho resultou da investigação experimental desenvolvida em instalação piloto, dotada de sistema de filtração ascendente em pedregulho, filtrando água previamente coagulada. A investigação avaliou o sistema em relação à eficiência na remoção de turbidez e cor aparente. Assim como a influência do modo de operação com a realização de **DFI**, taxa de filtração adequada, e lavagem do meio filtrante na eficiência do filtro ascendente de pedregulho (**FDAP**).

## Capítulo 2

# OBJETIVOS

---

### 1 – OBJETIVOS

O objetivo principal da investigação foi avaliar o desempenho do filtro ascendente de pedregulho, operado sem e com a realização de descarga de fundo intermediária, como alternativa para o pré- tratamento na tecnologia de dupla filtração. Assim como avaliar: (i) a dosagem ótima de coagulante, utilizando um filtro de areia em escala de laboratório; (ii) a descarga de fundo intermediária como método de operação; (iii) a taxa de filtração mais adequada às condições empregadas durante a pesquisa e (iv) os métodos de lavagem do meio granular dentre eles a descargas de fundo sucessivas e a sinfonagem.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 1 – INTRODUÇÃO

Nesta revisão bibliográfica serão enfocados os conceitos básicos e os avanços das pesquisas na tecnologia da filtração direta em pedregulho. Primeiramente, serão apresentados os aspectos da filtração em meio granular, as principais características e ações envolvidas nesse processo. Em seguida, a definição de filtração direta, a utilização da coagulação química e a importância da mistura rápida. A abordagem sobre filtração direta ascendente enfocou a utilização dessa tecnologia empregando pedregulho como meio granular, a possibilidade de sua aplicação como pré-tratamento na dupla filtração e as mais recentes pesquisas realizadas nessa área.

### 2 – FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR

A filtração é um processo de passagem da água através de um meio granular para remoção das partículas suspensas e coloidais e de microrganismos, resultando na melhoria da qualidade do efluente (**DI BERNARDO, 1993**). O meio granular normalmente empregado nas unidades de filtração das estações de tratamento de água pode ser disposto em camadas com diferentes tamanhos de grãos, em um único compartimento / câmara ou em camadas únicas em unidades em série. O material filtrante empregado normalmente como meio granular é areia e/ou pedregulho, cuja escolha, para o tratamento empregado é baseada nas características específicas da água que se quer tratar.

Os filtros são classificados de acordo com o sentido do escoamento da água em: horizontais e verticais. Nos filtros de fluxo horizontal a água escoar horizontalmente através do meio granular. Nos filtros de escoamento vertical a água poderá escoar em sentido ascendente ou descendente.

Os filtros também podem ser classificados como lentos e rápidos, conforme a taxa de filtração aplicada. A taxa de filtração corresponde à relação entre a vazão de água filtrada e a área superficial do filtro. A definição do valor da taxa de filtração depende do tipo de material

filtrante e das características da água a ser tratada. De acordo com a **ABNT (1992)**, os filtros lentos são os que operam com taxa de filtração máxima de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e filtros rápidos são aqueles que operam com taxa de filtração máxima de  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , no caso de camada simples, e com taxa de filtração de  $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , no caso de dupla camada. Esses valores não diferem muito do recomendado por **WEGELIN (1986)**:  $0,1$  a  $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  ( $2,4$  a  $4,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ) para os filtros lentos e  $5$  a  $15 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  ( $120$  a  $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ) para os filtros rápidos.

## **2.1 – Ações que Ocorrem em um Meio Granular**

Durante o escoamento da água através de um meio granular, além da filtração, podem ocorrer simultaneamente a floculação e a sedimentação. Dessa combinação resulta o desempenho desse meio (**AHSAN, 1995**).

### **2.1.1 - Filtração**

A filtração pode ocorrer pela ação de profundidade ou pela ação superficial, dependendo da constituição do meio granular. Quando o meio granular é constituído de pedregulho ou grãos de areia de dimensões da ordem de  $1 \text{ mm}$  as partículas em suspensão são removidas da água e depositadas ao longo de toda espessura do meio granular (ação de profundidade).

“À medida que as partículas são retidas nos vazios intergranulares, causam o estreitamento dos canais e o conseqüente aumento da velocidade intersticial. Esse aumento faz com que parte das partículas retidas seja arrastada para subcamadas inferiores, até que todo o meio granular seja eficiente na retenção de impurezas” (**DI BERNARDO, 1993**).

De acordo com **DI BERNARDO (2003)**, a ação de profundidade pode ser entendida como o resultado de sucessivos estágios de colmatação das subcamadas que compõem o meio granular.

A filtração por ação de superfície ocorre em filtros cujo meio granular é formado por grãos de tamanho menor que  $0,5 \text{ mm}$ . Para **DI BERNARDO (1980)**, a ação física de coar é o mecanismo dominante na filtração por ação de superfície. Esse mecanismo remove as partículas que são maiores que os interstícios granulares, justificando assim a formação de uma camada de partículas removidas da suspensão na superfície do leito. Com a formação dessa camada de partículas atuam os processos biológicos que se desenvolvem na camada

superior do meio granular nos filtros lentos. **MURTHA & HELLER (2003)**, investigaram a influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia e concluíram que a remoção de sólidos e bactérias, tanto nos filtros de fluxo ascendente como nos de fluxo descendente, ocorre, predominantemente nos 30 cm iniciais do meio granular, ratificando assim a ação de superfície nesse tipo de filtro. Segundo **BRANCO (1986)**, a ação de superfície não se desenvolve nos filtros rápidos devido ao pequeno tempo de contato entre a água e os elementos filtrantes, assim como pela necessidade freqüente de limpeza do meio granular ocorrida nos filtros rápidos.

De acordo com **WEBER (1972)** e **DI BERNARDO (1993)** a retenção de impurezas é o resultado de dois mecanismos: o mecanismo de transporte que é responsável pela captura das partículas em suspensão na água e o mecanismo de aderência que é responsável pela adesão das partículas presentes na água aos grãos do meio granular. As partículas após a adesão aos grãos podem permanecer presas ou desprenderem-se caracterizando assim o arraste.

### **Mecanismo de Transporte**

O transporte de partículas da suspensão até as proximidades da superfície dos grãos é influenciado principalmente pelas características físicas e químicas da água, do pré-tratamento químico, da taxa de filtração, do meio granular e do método de operação do filtro (**DI BERNARDO, 1993**). **IVES (1975)**, cita como principais mecanismos responsáveis pelo transporte na filtração com ação de profundidade :

(i) impacto inercial, (ii) interceptação, (iii) sedimentação, (iv) difusão e (v) ação hidrodinâmica. Esses mecanismos, segundo o mesmo autor, provavelmente atuam de forma simultânea, embora com graus variáveis de importância relativa, dependendo da natureza da suspensão e do meio granular.

De acordo com **DI BERNARDO (1993)** impacto inercial ocorre porque “durante o escoamento, as linhas de corrente divergem nas proximidades dos grãos do meio filtrante de modo que, as partículas suspensas com quantidade de movimento suficiente para manter suas trajetórias colidem com os grãos”.

**HERZIG (1970) apud DI BERNARDO (1980)**, avaliou a eficiência desse mecanismo tendo concluído que quanto maior for a velocidade intersticial média ou menor o diâmetro do grão, maior será a probabilidade da partícula suspensa deixar a linha de corrente e colidir com o

grão. Sendo assim esse mecanismo é importante para os filtros operados com altas taxas de filtração e com meio granular de menor granulometria.

O mecanismo de interceptação se desenvolve quando, em relação à superfície do grão, as linhas de corrente estiverem a uma distância menor que a metade do diâmetro da partícula. Para **IVES (1975)** a eficiência desse mecanismo, quando as partículas possuírem a sua massa específica próxima à da água, é definida pela relação entre a distância do grão às linhas de corrente e o diâmetro da partícula.

Segundo **AHSAN (1995)**, o mecanismo de sedimentação decorre da atuação da gravidade sobre a partícula suspensa durante a movimentação da mesma através dos vazios intergranulares sendo influenciada pelas características da partícula (densidade, massa específica) e da operação do filtro (taxa de filtração aplicada).

O mecanismo de difusão, para as partículas relativamente pequenas em suspensão na água, resulta do movimento errático (movimento browniano) provocado pelos choques das moléculas de água. Esse mecanismo é proporcional ao aumento da temperatura, à diminuição da viscosidade da água e é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. **IVES e YAO apud DI BERNARDO (1993)** mostraram que, na filtração, a difusão é um mecanismo importante na remoção de partículas com tamanho menor que 1  $\mu\text{m}$ . De acordo com **AMIRTHARAJAH (1988)**, geralmente é aceito que na filtração de água os mecanismos de transporte dominantes sejam difusão e sedimentação.

O mecanismo da ação hidrodinâmica, segundo **DI BERNARDO (1993)**, é responsável pela remoção de partículas com tamanho relativamente grande ( $\sim 10 \mu\text{m}$ ). Esse mecanismo é definido, para escoamento com gradiente de velocidade constante, como uma força que conduz a partícula a regiões de velocidade mais alta. Esta força é resultante do movimento giratório da partícula causado pela diferença entre as componentes da velocidade da partícula em suspensão.

### **Mecanismo de Aderência**

Ocorre o encontro da partícula com o grão, por meio dos mecanismos de transporte, pode ocorrer então a aderência da partícula ao grão. Os mecanismos de aderência das partículas são

governados pelas características das superfícies das partículas e dos grãos. As partículas suspensas em movimento podem aderir diretamente às superfícies dos grãos do meio filtrante ou aderir a partículas já depositadas nessas superfícies.

Segundo **DI BERNARDO (1980)** a aderência pode ser atribuída a duas categorias de fenômenos: (i) interação combinada entre as forças de repulsão de origem elétrica (forças coulombicas) e as forças de atração de van der Waals, e (ii) interação superficial de origem química.

Segundo **DI BERNARDO (1993a)**, “quando dois colóides semelhantes se aproximam um do outro, ocorre interação entre as camadas difusas fazendo com que haja repulsão devida à força eletrostática entre os mesmos. Existem também as forças atrativas entre as partículas, denominadas de forças de van der Waals, são atribuídas às flutuações de cargas nos átomos e resultam de interações entre dipolos permanente ou induzidos nos átomos inter-atuantes dos colóides e da água. A interação entre as forças de repulsão de origem elétrica e de atração de van der Waals, entre partículas coloidais que se movem continuamente, devido ao Movimento Browniano, contribui para a estabilidade do sistema.”

As forças químicas podem, em determinadas situações, sobrepujar as eletrostáticas. As ligações de hidrogênio, troca iônica e adsorção mútua são as principais formas de ligações químicas entre as partículas e a superfície dos grãos.

### **Mecanismo de Arraste**

Após um certo tempo de funcionamento, e considerando a vazão afluyente a um filtro constante, o acúmulo de partículas retidas nos vazios intergranulares causa o estreitamento das dimensões destes, com conseqüente aumento da velocidade intersticial e da força de cisalhamento. Quando a força de cisalhamento e a força de adesão se igualam ocorre o arraste de partículas para subcamadas inferiores do meio granular (**CRAFT, 1966 apud GUSMÃO, 2001**). O desprendimento e o arraste das partículas já aderidas pode ocorrer principalmente durante a lavagem do meio granular e provavelmente durante a filtração. De acordo com **IVES (1975)**, o arraste, em fluxo constante ou não, é provocado pela pressão superficial que o fluxo faz sobre o depósito de partículas já aderidas ao grão. O arraste também pode ocorrer quando o grande acúmulo de partículas depositadas nos interstícios do meio granular torna o

depósito instável e o choque de novas partículas pode desencadear uma avalanche desse material. **AMIRTHARAJAH (1988)** e **MORAN et al. (1993)**, afirmam que o resultado dessa ruptura ocasiona um aumento da concentração de partículas suspensas no efluente e, conseqüentemente, a deterioração de sua qualidade.

### **2.1.2 - Floculação e Sedimentação**

O mecanismo de floculação, que ocorre durante a filtração, se deve à passagem da água pelos interstícios do meio granular, o que facilita a colisão e, portanto, a formação de flocos sedimentáveis ou filtráveis (**AHSAN, 1995**). A remoção desses flocos dar-se-á ao longo do meio granular por sedimentação e filtração. A floculação em meio granular é importante porque, quanto maior for o tamanho da partícula, maior será sua chance de ser retida no meio filtrante, uma vez que, na filtração, os mecanismos de captura tendem a ser dependentes do tamanho das partículas suspensas e, em menor grau, da sua densidade (**WILSON et al., 1980** e **DI BERNARDO, 1980**).

No entanto, a floculação nos poros dos filtros, embora apreciável, é menos importante, como mecanismo de remoção, que a aderência de partículas aos grãos ou aderência de partículas a outras partículas previamente retidas (**GRAHAM, 1988**).

**GUSMÃO (2001)** observou que uma unidade de filtração direta ascendente em pedregulho, operando com altas taxas de filtração (acima de  $190 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ) funciona basicamente como um floculador. **KURODA (2002)** ratificou o aparecimento, mais intenso, de flocos no efluente do filtro de pedregulho quando a taxa de filtração aplicada foi de  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , tornando insatisfatória a utilização da dupla filtração.

O mecanismo de sedimentação das partículas floculadas, que ocorre durante a filtração, permite a clarificação do efluente. Esse mecanismo é influenciado pelas características das partículas como forma, tamanho e densidade, assim como pela viscosidade e pela temperatura da água. O mecanismo de sedimentação exerce maior importância para as partículas com tamanho maior que  $1\mu\text{m}$  (**AMIRTHARAJAH, 1988**). De acordo com **WEGELIN (1996)**, nos filtros de pedregulho operados a baixas taxas de filtração, o mecanismo de sedimentação é fator determinante na eficiência do sistema.

### 3 – FILTRAÇÃO DIRETA

Segundo **AWWA (1980)**, a filtração direta é um tratamento que utiliza coagulante químico e que não contempla uma unidade de sedimentação em separado, já que todo processo de tratamento se realiza na unidade de filtração. As estações de tratamento de água que utilizam a tecnologia da filtração direta são constituídas por unidade de coagulação e mistura rápida seguida por unidades de filtração, podendo ou não incluir uma unidade de floculação anterior aos filtros. A filtração direta é utilizada como tratamento alternativo às estações de tratamento de água convencionais, ou de ciclo completo.

#### 3.1 – Coagulação Química

As partículas responsáveis pela cor aparente e turbidez são normalmente partículas suspensas ou coloidais que possuem carga elétrica negativa. A repulsão ocasionada pela igualdade de carga faz com que essas partículas tornem-se estáveis e de difícil remoção (**AMIRTHARAJAH, 1989**).

**DI BERNARDO (1993)** registra que desde o final do século XIX sabe-se que um sistema coloidal pode ser desestabilizado pela adição de íons com carga contrária à das partículas coloidais. Segundo **WEBER (1972)**, a coagulação é um processo de desestabilização das partículas para permitir a formação de agregados. Essa desestabilização é alcançada pela adição de substâncias químicas (coagulantes) em uma unidade de mistura rápida. Os coagulantes mais utilizados são sais metálicos com íons de carga elevada ( $\text{Al}^{3+}$ ;  $\text{Fe}^{3+}$ ). O mais empregado no Brasil é o sulfato de alumínio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{H}_2\text{O}$ . Outros coagulantes também são utilizados: cloreto férrico, o sulfato ferroso, sulfato férrico e o cloreto de polialumínio.

Quando o coagulante, no caso é o sulfato de alumínio, é adicionado à água ocorre a sua dissociação:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6 \text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2 \text{Al}^{3+} + 6 \text{OH}^- + 6\text{H}^+ + 3 \text{SO}_4^{2-}$ ; imediatamente após essa reação ocorre a hidratação do íon  $\text{Al}^{3+}$ , coordenando seis moléculas de água, formando o íon  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ , que se decompõe em diversas espécies hidrolisadas em que os íons  $\text{OH}^-$  passam a substituir as moléculas de água, liberando o íon  $\text{H}^+$  que consumirá a alcalinidade do meio aquoso. A partir das espécies hidrolisadas são formados os polímeros (hidroxo-complexos), cujo tempo de existência é menor que 1 segundo. Entre 1 a 7 segundos, grande parte do

alumínio passará a existir como hidróxido de alumínio –  $\text{Al(OH)}_3 (s)$ , o qual ocorre na forma de pequenos flocos gelatinosos, insolúveis, neutros e precipitáveis.

Para **DI BERNARDO (1993a)** a coagulação é resultado da ação de quatro mecanismos: (i) compressão da camada difusa, (ii) adsorção e neutralização de carga, (iii) varredura e (iv) adsorção e formação de pontes. De acordo com **AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)**, a adsorção e neutralização de cargas e a varredura são os mecanismos predominantes no tratamento de água, quando é utilizado o sulfato de alumínio como coagulante.

No mecanismo de adsorção e neutralização de carga, ocorre a adsorção das espécies hidrolisadas solúveis do coagulante na superfície dos colóides, de forma que se produza a neutralização total da carga da partícula, ou mudança de sua carga superficial, resultando na desestabilização parcial ou total das mesmas (**O “MELIA & STUMM, 1967**). Para **AHSAN (1995)**, esse mecanismo implica na possibilidade de reestabilização (por excesso de carga positiva) da suspensão coloidal. **AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)** observaram que esse mecanismo é muito importante quando o tratamento de água é feito por meio de uma das tecnologias da filtração direta, pois não há a necessidade de produção de flocos para posterior sedimentação, mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio granular. Esse mecanismo deve ser realizado com alta intensidade da mistura para que a dispersão do coagulante na massa líquida se processe com energia suficiente já que, de acordo com **AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)**, as reações que precedem a coagulação por adsorção e neutralização de carga são extremamente rápidas e ocorrem em microsegundos, caso não se formem polímeros na hidrólise do Al (III), e menos de 1 segundo se tais polímeros são formados.

Segundo **DI BERNARDO (2003)**, no mecanismo de varredura a coagulação consiste no aprisionamento das partículas por pequenos flocos do hidróxido do coagulante que são precipitáveis, gelatinosos e insolúveis. Esses flocos facilitam a remoção das partículas nas unidades de decantação e filtração das estações de tratamento de água. Por isso esse mecanismo é mais utilizado nas estações de tratamento de água convencionais (ciclo completo). De acordo com **AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)**, ao contrário do que ocorre no mecanismo de adsorção e neutralização de carga, o curto tempo de dispersão do coagulante na massa líquida e a elevada intensidade da mistura entre elas não são fatores cruciais para a coagulação no mecanismo de varredura.

De uma forma sucinta, o mecanismo de adsorção e neutralização de carga apresenta as seguintes características: (i) aplicabilidade nas estações de tratamento de água com tecnologia de filtração direta, (ii) a coagulação que se processa nesse mecanismo forma partículas desestabilizadas, com isso há a necessidade de curto tempo de mistura e elevado gradiente de velocidade conseqüentemente ocorre menor produção de resíduos sólidos (lodo) durante o tratamento, (iii) esse mecanismo possibilita a reestabilização das partículas quando ocorre uma dosagem do coagulante além da necessária, (iv) essa tecnologia possui maior vulnerabilidade a mudanças bruscas na qualidade da água bruta (**DI BERNARDO, 1993 a, 2002, 2003**).

### **3.2 – Mistura Rápida**

**HESPANHOL (1961)** define mistura rápida como uma operação unitária cuja finalidade única é a de obter o maior grau possível de homogeneização de dois ou mais compostos, de maneira que as taxas de reação procedam uniformemente em todo o volume considerado.

Nas estações de tratamento de água, a coagulação é realizada nas unidades de mistura rápida. Essa unidade condiciona o desempenho de todas as outras etapas do processo de tratamento de água e influi substancialmente no consumo do coagulante aplicado. **AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)** lembram que essa unidade deve ser o primeiro passo na elaboração do projeto de uma estação de tratamento de água.

O tempo de mistura e o gradiente de velocidade definem a eficiência durante todo o processo. A Norma Técnica brasileira recomenda que a “dispersão de coagulantes metálicos hidrolisáveis deve ser feita a gradiente de velocidade compreendido entre 700 e 1100 s<sup>-1</sup> em um tempo de mistura não superior a 5s” (**ABNT, 1992**). Segundo **DI BERNARDO (2002)**, nas unidades de mistura rápida que utilizam dispositivos hidráulicos, o tempo de mistura resulta inferior a 1 s, porém, em unidades mecanizadas, pode alcançar até 30 s, e o valor do gradiente de velocidade que otimiza o processo pode variar de 200 até 2.000 s<sup>-1</sup>. No entanto a escolha dos valores do tempo de mistura e gradiente de velocidade a serem adotados, dependem significativamente do mecanismo dominante de coagulação, do tipo de coagulante químico e sobretudo da qualidade da água que se quer tratar. Assim sendo, **DI BERNARDO (1993a)**, recomenda que: quando for adotado o mecanismo de adsorção e neutralização de carga sejam adotados os seguintes valores: (i) gradiente de velocidade de 3.000 a 7.000 s<sup>-1</sup> e

(ii) tempo de mistura menor ou igual a 5 s. E quando for adotado o mecanismo de varredura, sejam adotados os seguintes valores: (i) gradiente de velocidade entre 500 e 1.200 s<sup>-1</sup> e (ii) tempo de mistura menor ou igual a 60 s.

Segundo **VRALE e JORDEN (1971)**, para compreender a importância do processo de mistura rápida devem ser considerados: (i) o tipo e a velocidade da reação que a substância química Al(III) ou Fe(III) sofreu e os fatores físicos e químicos que alteram essas reações; (ii) como os diferentes regimes de mistura afetam esses fatores físicos e químicos; (iii) como os vários produtos das reações do Al(III) e Fe(III) afetam as colisões das partículas. Essas condições são importantes porque as reações físico-químicas se processam com extrema rapidez e de forma essencialmente irreversível.

Na unidade de mistura rápida podem ser utilizados vários dispositivos de mistura: (i) hidráulicos – vertedores e medidores ou calha Parshall, (ii) mecânicos – agitadores mecânicos de escoamento radial ou axial e (iii) especiais - injetores, malhas difusoras e malhas de fios redondos. **VRALE e JORDEN (1971)** pesquisaram unidade de mistura rápida, testando três modelos de agitadores e seis unidades injetoras de coagulante. **GÜVEN e BENEFIELD (1983)** em seu estudo sobre injetores verificaram que a injeção do coagulante por jato é uma opção prática para a adição da solução do coagulante, fornecendo uma boa mistura, baixo custo e controlando perdas excessivas. Vários pesquisadores dedicaram suas investigações a diferentes tipos de injetores: **CHAO e STONE (1979)** e **GÜVEN e BENEFIELD (1983)** compararam os injetores de jato lateral com os de jato central e concluíram que o jato central é mais eficiente.

#### 4 – FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE

De acordo com **LETTERMAN et al (1979)** e **TATE & TRUSSELL (1980) apud GUSMÃO (2001)**, a filtração direta consiste nas operações unitárias de coagulação, floculação e filtração e não inclui a sedimentação. Para **DI BERNARDO (1993)**, dependendo do tamanho das partículas presentes na água bruta, as características do meio filtrante e da taxa de filtração aplicada ao sistema, a filtração pode ser simplesmente precedida pela coagulação.

A filtração direta ascendente é uma denominação dada ao sistema que opera com escoamento da água no sentido vertical, ascendendo através do meio granular. O meio granular pode ser constituído por areia ou pedregulho. A denominação dada ao meio granular em função do tamanho dos grãos não encontra uma verdade absoluta e nem uma unanimidade no seu emprego.

**TABELA 02** – Classificação do Meio Granular Conforme o Tamanho dos Grãos.

Denominação do Meio Granular	Tamanho dos Grãos		Pesquisador
	Tamanho mínimo dos grãos (mm)	Tamanho máximo dos grãos (mm)	
Areia Convencional	0,30 a 0,42	1,41 a 2,00	Di Bernardo (2002)
Areia	0,42 a 0,59	1,41 a 2,00	Di Bernardo (2002)
Areia	0,42	2,40	Gusmão (2001)
Areia	0,30	1,41	Kuroda (2002)
Areia	0,30	1,41	De Paula (2003)
Areia Grossa	1,00	2,38	Gusmão (2001)
Areia Grossa	1,00	2,40	Kuroda (2002)
Areia Grossa	1,00	2,40	De Paula (2003)
Pedregulho	2,40	50,00	Gusmão (2001)
Pedregulho	1,41	25,40	Kuroda (2002)
Pedregulho	3,20	25,40	De Paula (2003)

**DI BERNARDO (2002)**, utiliza a seguinte denominação: a) areia convencional – tamanho mínimo dos grãos varia de 0,30 a 0,42 mm; tamanho máximo dos grãos varia de 1,41 a 2,0 mm; b) areia – tamanho mínimo dos grãos varia de 0,42 a 0,59 mm; tamanho máximo dos grãos varia de 1,41 a 2,0 mm. Alguns pesquisadores orientados por Di Bernardo, conforme a **Tabela 02**, empregaram em seus estudos a seguinte denominação: areia para o tamanho dos grãos variando entre 0,30 a 2,40 mm, areia grossa para o tamanho dos grãos variando entre 1,0 e 2,40 mm e pedregulho para o tamanho dos grãos variando entre 1,41 e 50,00 mm. Segundo **BRADY (1979)**, a classificação das partículas do solo, de acordo com os tamanhos encontram diferentes faixas conforme o **Tabela 03 e 04**, que também é diferente do descrito pela **ABNT(1995)** conforme o **Tabela 05**:

**TABELA 03** – Classificação do Meio Granular Conforme Instituição Internacionais.

		0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2,0 mm
Instituto Britânico de Padrões	<b>ARGILA</b>	Fino	Médio	Grosso	Fino	Médio	Grosso	<b>CASCALHO</b>
		<b>SILTE</b>			<b>AREIA</b>			
Sociedade Internacional de Ciência do Solo	<b>ARGILA</b>	<b>SILTE</b>			<b>AREIA</b>			<b>CASCALHO</b>
					Fino	Grosso		
		0,002	0,02	0,2	2,0 mm			

**TABELA 04** – Classificação do Meio Granular Conforme Instituição Internacionais.

		0,002	0,05	0,10	0,25	0,5	1,0	2,0 mm		
Departamento de Agricultura dos Estados Unidos	<b>ARGILA</b>	<b>SILTE</b>			Muito Fino	Fino	Méd io	Gros so	Muito Gross o	<b>CASCALHO</b>
					<b>AREIA</b>					
Administração de Estradas Públicas dos Estados Unidos	<b>ARGILA</b>	<b>SILTE</b>			<b>AREIA</b>			<b>CASCALHO</b>		
					Fino	Grosso				
		0,005	0,05	0,25	2,0 mm					

Fonte BRADY (1979) . The nature and properties of soils. P. 42.

**TABELA 05** – Classificação do Meio Granular Conforme Norma Brasileira.

		0,02	0,06	0,2	0,6	2,0	6,0	20,0	60,0	200	
<b>ABNT</b> Associação brasileira de Normas Técnicas	<b>ARGILA</b>			Fino	Médio	Grosso		Fino	Médio	Grosso	<b>PEDRA DE MÃO</b>
				<b>AREIA</b>					<b>PEDREGULHO</b>		

A filtração direta ascendente tem sido empregada com sucesso em países como a ex-União Soviética, Inglaterra e Holanda, entretanto nos últimos 20 anos vem sendo estudada no Brasil, com base apoiado nos resultados das investigações experimentais coordenadas pelo Professor Luís Di Bernardo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Esse pesquisador ressaltava algumas vantagens desse sistema: (i) a filtração direta ascendente possibilita a filtração no sentido do maior para o menor grão, resultando na utilização da altura total da camada como meio filtrante, e reduz a taxa de aumento da perda de carga devido à remoção de uma quantidade substancial de impurezas na camada com os grãos de maior tamanho (suporte) e assim proporcionando maiores carreiras de filtração, (ii) possibilita o emprego de menor quantidade de coagulante, já que o mecanismo de coagulação deve ser a adsorção e neutralização de carga, (iii) requer menores áreas e custos de implantação, operação e manutenção para as estações de tratamento de água que tenham essa tecnologia e (iv) implica menor produção de lodo.

**MENDES (1985)** concluiu que a filtração direta ascendente em areia apresenta grande eficiência na remoção de sólidos suspensos e a dosagem de coagulante utilizada pode ser reduzida em até 25% dos valores de dosagem ótimas utilizadas na coagulação para tratamento em ciclo completo. **CRUZ VELEZ (1993)**, avaliou a filtração direta ascendente em areia com taxas de até 480 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, sem a realização de **DFI**, utilizando água bruta com cor aparente de 120 uC e turbidez de 30 uT. O pesquisador obteve efluente dentro dos padrões de potabilidade relativos a cor aparente e turbidez.

Como alternativa à filtração direta ascendente em areia tem sido adotada em estações de tratamento de água a tecnologia da Dupla Filtração, onde são aproveitadas as vantagens do sistema de filtração direta ascendente e supridas suas deficiências por meio da complementação com a filtração rápida descendente.

#### **4.1 – Dupla Filtração**

Segundo **WIECHETECK et al. (2004)**, dupla filtração é a tecnologia de tratamento de água de abastecimento que emprega a filtração direta ascendente seguida da filtração rápida descendente.

A filtração rápida descendente após a filtração direta ascendente acrescenta vantagens ao sistema de filtração direta ascendente, com a retenção de impurezas remanescentes no efluente dos filtros ascendentes. Sendo assim o novo sistema adquire as seguintes vantagens: (i) a dupla filtração trata água de pior qualidade que estações que utilizam simplesmente uma unidade de filtração direta ascendente em areia, (ii) oferece maior segurança com relação às variações bruscas de qualidade da água bruta, (iii) não há necessidade do descarte do efluente do filtro ascendente no início da carreira de filtração e logo após a realização da **DFI**, pois essa água será filtrada no filtro descendente, (v) apresenta maior remoção de microorganismos e assim menor risco sanitário. Vários pesquisadores têm se dedicado a pesquisar essa tecnologia, variando parâmetros específicos dentro do objetivo de cada pesquisa.

No sistema de dupla filtração a primeira unidade pode ser um filtro rápido ascendente com meio granular constituído por areia grossa ou por pedregulho que atua como unidade de pré-filtração. A segunda unidade do sistema seria um filtro rápido descendente constituído por areia.

#### **4.2– Filtração em Pedregulho**

De acordo com **WEGELIN (1996)** a utilização dos filtros de pedregulho data da Idade Média, na Europa, onde eram utilizados como estratégias de defesa contra a escassez de água durante as guerras, pois utilizava água de chuva através da passagem em camadas de pedregulho (filtro descendente). No Castelo de Hohentins localizado nos Alpes Suíços foi registrado o primeiro filtro de pedregulho, de que se tem conhecimento, para tratamento de água superficial.

#### **4.3– Filtração Direta Ascendente em Pedregulho na Dupla Filtração**

A filtração direta em pedregulho é uma tecnologia com operação e manutenção relativamente simples, sendo assim, estações de tratamento de água convencionais ou de ciclo completo têm

vido substituída por estações de tratamento de água não convencionais ou filtração direta. Segundo **DI BERNARDO (2003)**, atualmente somam, no Brasil, 350 instalações com essa tecnologia em funcionamento. Através desse número é possível constatar a difusão desse método, lembrando que o volume de água tratada por meio delas ainda é bastante pequeno em alguns estados brasileiros.

Nos filtros ascendentes de pedregulho, independente de seu meio granular ser disposto em camadas superpostas ou em série, o tamanho do material filtrante decresce no sentido do escoamento variando de 25 mm a 1,6 mm (**GALVIS et al., 1993**), proporcionando uma maior e melhor distribuição das impurezas ao longo do meio granular. Segundo **DI BERNARDO (1993) e MEGDA (1999)**, nos filtros ascendente de pedregulho (**FAP**) a fração graúda do material granular é colocada na parte inferior do filtro e a mais fina no topo, de forma que os sólidos retidos se acumulem principalmente na fração graúda e possam ser facilmente arrastados com a água acumulada no próprio filtro, ratificando assim a importância da camada suporte na retenção de impurezas.

De acordo com **DI BERNARDO (1993) e FAZOLO (1999)**, a acumulação de sólidos se dá principalmente na zona de entrada, próxima a zona de drenagem, que nesse filtro se localizam na parte inferior do filtro, é uma vantagem na escolha do sistema, já que o volume de água empregado para lavagem do meio granular é bem menor, pois o grande volume de água acumulada na parte superior será utilizada para carrear, para fora da unidade, parte das impurezas retidas no meio granular.

De acordo com **GALVIS et al. (1997)**, a camada filtrante tem normalmente uma espessura máxima total de 1,5 m nos filtros em camada, para não dificultar a operação de limpeza, enquanto que nos filtros em série a espessura de cada camada depende do número máximo de unidades em série. Espessuras maiores do meio granular, normalmente, propiciam maior eficiência de remoção de impurezas, mas requerem velocidade de descarga mais elevada.

Em decorrência do acúmulo de impurezas nos vazios intergranulares, recomenda-se a realização de **DFI**, já que uma grande quantidade de sólidos estará retida principalmente na camada suporte. Sua pequena capacidade de acúmulo de sólidos e a proximidade entre a zona de entrada da unidade e o sistema de drenagem são fatores facilitadores na limpeza dos filtros operados desta forma.

A lavagem do meio granular é usualmente realizada com água mas várias metodologias têm sido testadas: **GUSMÃO (2001)** utilizou a sifonagem e o escoamento ascendente com água bruta, mas não obteve bons resultados. Dentre os vários métodos testados a utilização de 3 descargas de fundo sucessivas, com taxa de escoamento de  $840 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  mostrou-se o mais eficiente. **KURODA (2002)** testou a descarga de fundo seguida da introdução simultânea de ar com taxa de aplicação de  $20 \text{ L/s.m}^2$  e água com velocidade ascensional de  $1,4 \text{ m/min}$ , durante 5 min, com sucesso. **WIECHETECK et al. (2002)** utilizou a mesma metodologia de Kuroda, sendo que após a descarga de fundo ocorreu a introduziu água com velocidade ascensional de  $0,5 \text{ m/min}$ .

De acordo com **WEGELIN (1996)** para que ocorra a remoção das partículas retidas nos vazios intergranulares e dos flocos depositados no topo do meio, a limpeza hidráulica dos filtros de pedregulho, deve ter a velocidade de drenagem nas descargas de fundo na ordem mínima de  $720 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e preferencialmente de  $1440$  a  $2160 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ .

Vários pesquisadores têm se dedicado a analisar o sistema de dupla filtração, comparando o filtro de pedregulho com filtro de areia grossa como pré-tratamento do sistema. Os **Tabela 06** e **07** sintetizam as características da água bruta, operação do sistema, parâmetros e tipo de mistura rápida utilizada.

**MEGDA (1999)** verificou que o **FAP** possui capacidade de remoção de picos de turbidez  $< 71 \text{ uT}$ , quando operado com taxa de filtração de  $12$  a  $115 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ . **GUSMÃO (2001)** constatou que: (i) nos ensaios sem **DFI**, após cerca de 10 horas de operação ocorreu expressiva deterioração da qualidade do efluente do filtro **FAP**; (ii) a perda de carga no meio granular apresentou crescimento retardado ao longo do tempo de funcionamento; (iii) a execução de **DFI** provocou elevada redução no valor da perda de carga decorrente da retenção de impurezas em seu meio granular; (iv) o filtro de **FAP** quando operado com taxa de filtração da ordem de  $190 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  atuou como floculador de meio granular.

As principais conclusões de **KURODA (2002)** foram: (i) nos ensaios realizados sem **DFI**, os efluentes produzidos pelo pré-filtro com valores de turbidez adequada ao tratamento complementar com o filtro rápido ascendente (**FRA**) para taxas de filtração inferiores ou iguais a  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  no **FAP** e superiores ou iguais a  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  no filtro ascendente de areia grossa (**FAAG**) (ii) o método de **DFI** no **FAP** (com esvaziamento total do filtro)

apresentou maior recuperação de carga hidráulica e melhor qualidade dos efluentes logo após a **DFI** em relação ao método com esvaziamento até o topo do meio granular (convencional); (iii) os ensaios realizados sem **DFI**, o **FAP** produziu efluentes com valores de turbidez adequado ao tratamento complementar com **FRA**, para taxa de filtração inferiores ou iguais a  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ .

Nos ensaios onde foi aplicada a taxa de filtração de  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  no **FAP**, embora o **FRA** fosse capaz de absorver os picos de turbidez decorrentes do desprendimento de flocos no **FAP**, as carreiras de filtração resultaram curtas e seu desempenho insatisfatório; (v) em geral, foi observado no **FAP**, a ocorrência de desprendimento de flocos para todas as taxas de filtração empregada ( $60$  a  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ), tendo sido constatado que quanto maior a taxa de filtração, mais rapidamente inicia-se a sua ocorrência e mais elevados resultavam os picos de turbidez decorrentes desses desprendimentos.

**WIECHETECK et al. (2004)**, concluíram na sua investigação que o pH de coagulação entre  $4,8$  e  $5,1$ , foi responsável pela maior eficiência na remoção de substâncias húmicas tendo-se com parâmetros a cor aparente do efluente final dos dois sistemas, no entanto, os valores de alumínio residual foram elevados. Em geral o sistema 2 (**FAP + FRA**) obteve maior produção efetiva quando operado com a combinação de taxas de  $80$  e  $150 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , respectivamente.

**TABELA 06** – Descrição dos Sistemas de Dupla Filtração – Características da Água Bruta e Operação dos Sistemas.

Autor/ Ano	Características da Água Bruta				Operação dos Sistemas						Sistemas		
	Tab	Ca	Cv	pH	DFI	Taxas de Filtração ( m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)						Sistema 1 (S1)	Sistema 2 (S2)
						FAP		FAAG		FRA			
					Não	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	FAP + FRA	
<b>Megda / 1999</b>	< 71 uT	75 a 425 uC	18 a 106 uC	6,5 a 8,0		12	115			250	250		
<b>Gusmão / 2001</b>					Sim <sup>(*)</sup>	80	190	200	360	115	480	FAAG + FRA	FAP + FRA
<b>Kuroda et al /2003</b>	8,5 a 21 uT		19 a 74 uH	6,5 a 7,5	Sim <sup>(**)</sup>	60	240	120	360	100	400	FAAG + FRA	FAP + FRA
<b>wiecheteck et al/2004</b>	< 15 uT		90 a 110 uH	7,0	Sim <sup>(**)</sup>	80	120	110	180	80	280	FAAG + FRA	FAP + FRA

- FAP – Filtro ascendente de pedregulho • FAAG – Filtro ascendente de areia grossa • FRA – Filtro rápido de areia (descendente)
- Cv – Cor verdadeira • Ca – Cor aparente • Tab – Turbidez da água bruta

Obs: <sup>(\*)</sup> a **DFI** foi realizada com esvaziamento parcial.

<sup>(\*\*)</sup> a **DFI** foi realizada com esvaziamento parcial e total.

**TABELA 07** – Descrição do Sistema de Dupla Filtração Pesquisado – Parâmetros e Tipo de Mistura Rápida Utilizada.

<i>Autor/ Ano</i>	<i>Mistura Rápida</i>			<i>pHc</i>	<i>Dosagem de Coagulante (mg SA/L)</i>	<i>Controle de Dosagem</i>
	<i>Tipo</i>	<i>Gm ( s<sup>-1</sup>)</i>	<i>Tm (s)</i>			
<b>Megda / 1999</b>	Injetor Central			5,7 a 7,2	6 a 11,5	FLA
<b>Gusmão/2001</b>	Injetor central			6,3 a 7,0	3,3 a 7,4	FLA, FLP e Pz
<b>Kuroda et al /2003</b>	Agitador Mecânico	1.000	60	6,2 a 7,1	4,2 a 5,9	FLA, FLP e Pz
<b>Wiecheteck et al/2004</b>	Agitador Mecânico	500, 750 e 1.000	15, 20, 25, 30, 35 e 40	5,0 a 5,6	8,0	FLA, FLP e pHc.

- FLA – Filtro de laboratório de areia ● FLP – Filtro de laboratório de papel
- Pz – Potencial Zeta ● Gm – Gradiente de Velocidade ● Tm – Tempo de mistura ● pHc – pH de Coagulação

## Capítulo 4

# MATERIAIS E MÉTODOS

---

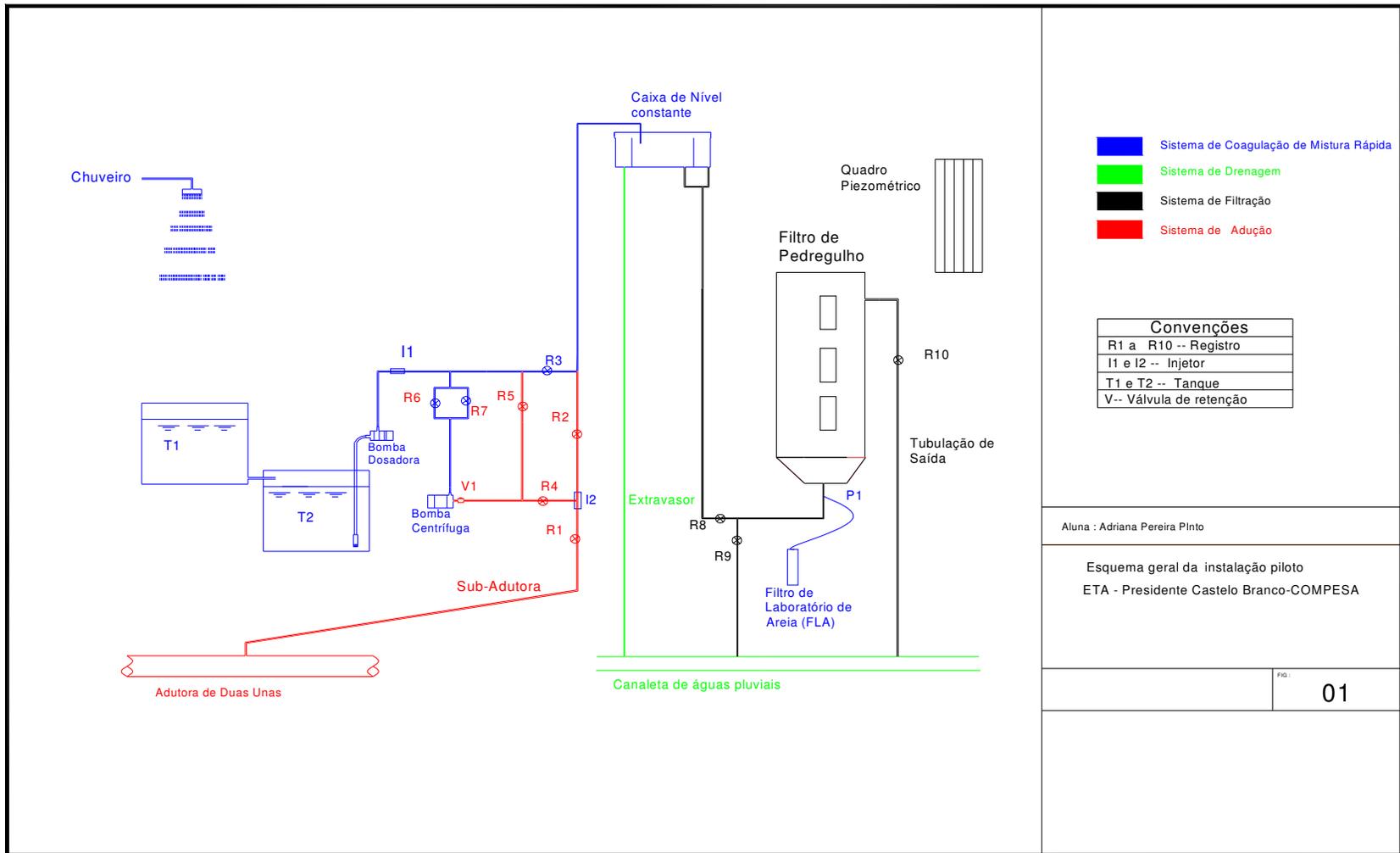
### 1 - INTRODUÇÃO

As investigações experimentais foram realizadas no período de novembro de 2002 a julho de 2004, na instalação piloto montada na Estação de Tratamento de Água (ETA) Presidente Castello Branco operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), situada na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco.

A instalação piloto utilizada na investigação experimental consistia de sistema de filtração direta ascendente em pedregulho, constituído por: (a) sub-adutora de água bruta; (b) unidades de coagulação e mistura rápida e (c) unidade de filtração (**Fig.01**).

As análises físico-químicas foram realizadas no prédio da própria instalação piloto e no Laboratório da ETA Castello Branco.

A investigação experimental foi dividida em duas fases: A Fase 1, em que foram realizados os ensaios preliminares para ajustes de métodos, equipamentos e instalações e a Fase 2, em que foram realizados os ensaios de filtração efetivos, nos quais o desempenho do sistema de filtração direta ascendente em pedregulho foi avaliado sob diferentes condições operacionais, em que ocorreram variações: (1) na qualidade da água bruta, (2) na concentração e dosagem do coagulante, (3) nas taxas de filtração e (4) na execução ou não de descargas de fundo intermediárias na unidade de filtração.



## 2 - INSTALAÇÃO PILOTO

### 2.1 - Sub-Adutora de Água Bruta

Nas investigações experimentais foi utilizada água bruta proveniente da Barragem Duas Unas, um dos mananciais que abastecem a **ETA** Castello Branco. Conforme dados fornecidos pela **COMPESA**, no período de 15/07/1998 a 27/02/2002 a água bruta aduzida da Barragem Duas Unas apresentou turbidez entre 4,1 e 125 uT, predominando (78%) valores entre 4,1 e 30 uT. Com relação à cor aparente, foram registrados valores entre 17,5 e 550 uC, predominando (83%) valores entre 17,5 e 250 uC (ver **Tabela 08**).

**TABELA 08** - Valores de Turbidez e Cor Aparente nas Águas da Barragem Duas Unas - Período de 15/01/1998 a 27/02/2002.

Turbidez (uT)	Percentual do Número Total de Medições	Cor Aparente (uC)	Percentual do Número Total de Medições
0 – 5	35%	0 – 20	10%
5 – 10	14%	25 – 50	23%
10 – 20	19%	55 – 100	21%
20 – 30	10%	105 – 150	18%
30 – 50	5%	155 – 250	12%
50 – 70	5%	255 – 350	8%
70 – 100	7%	355 – 450	4%
100 – 150	5%	455 – 500	1%
		> 500	3%

Fonte: G.Q.LA. Sistema de Controle de Qualidade da Água

Relatório de Amostras por Elementos - **COMPESA**

A sub-adutora de água bruta, utilizada para alimentação da instalação piloto, era de PVC com 50 mm de diâmetro e 15 m de extensão. Sua extremidade de montante foi conectada à adutora que interliga a Barragem Duas Unas a **ETA** Presidente Castello Branco, e sua extremidade de jusante foi conectada à Caixa de Nível Constante (**CNC**), instalada na cobertura do prédio da instalação piloto, a partir da qual era alimentada a unidade de filtração. Para controle da vazão e do fluxo de água nessa sub-adutora, foram instalados os registros **R1** e **R2** (**Fig.02**).

## 2.2 - Unidades de Coagulação e Mistura Rápida

### 2.2.1 - Preparação da Solução Estoque

A solução estoque do coagulante era preparada utilizando-se solução comercial de sulfato de alumínio e água tratada proveniente da própria **ETA** Castello Branco.

A água tratada era conduzida até o prédio da instalação piloto por meio da sub-adutora em PVC com diâmetro de 25 mm e 40 m de extensão, conectada à rede de água tratada da **ETA** Castello Branco. Para facilitar a liberação do cloro residual livre contido na água tratada, foi instalado um aerador (chuveiro) na extremidade de jusante dessa tubulação, no interior do prédio. O aerador foi instalado sobre o tanque **T1**, onde a água tratada permanecia em repouso por 72 horas para liberação do cloro residual livre e só então era transferida para o tanque **T2** onde era preparada a solução estoque. Os tanques **T1** e **T2** eram de fibra de vidro tendo, cada um deles, capacidade para 250 L. Na parte externa de cada tanque foi instalado um tubo transparente vertical, que possibilitava a determinação do volume ocupado mediante leitura em escala previamente calibrada (**Fig.03**).

O coagulante utilizado foi o Sulfato de Alumínio Comercial Líquido, fornecido pela **COMPESA** e utilizado na **ETA** Castello Branco. Esse produto, fabricado pela Aluminal, apresentou as características, constantes da **Tabela 09**, as quais estão de acordo com os padrões exigidos pela Associação brasileira de Normas Técnicas - **ABNT**, conforme atestado pela própria **COMPESA**.

**TABELA 09** - Características do Sulfato de Alumínio Comercial Líquido Fabricado pela Aluminal

Parâmetros	Percentuais
Alumínio Total Solúvel em água (% em massa como $Al_2O_3$ )	7,70
Ferro Total Solúvel em água (% em massa como $Fe_2O_3$ )	0,90
Resíduo insolúvel em água (% em massa)	0,0
Acidez Livre (% em massa como $H_2SO_4$ )	-
Basicidade Livre (% em massa como $Al_2O_3$ )	0,06

A massa específica da solução de Sulfato de Alumínio Comercial Líquido foi determinada a cada nova remessa, através do método volumétrico, em ensaios realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental da **UFPE**, utilizando balança de precisão Sartorius – BL 210s e balões volumétricos de 100 mL. A solução estoque do coagulante foi preparada com diferentes concentrações, de modo a atender os objetivos dos ensaios, respeitando-se os limites de vazão da bomba dosadora utilizada na instalação. A determinação da dosagem do coagulante (**Dsoc**) utilizada em cada ensaio era baseada na seguinte expressão:

$$\mathbf{Dsoc} = \frac{\mathbf{Qbd \times Cse}}{\mathbf{Qbd + Qab}}$$

em que :

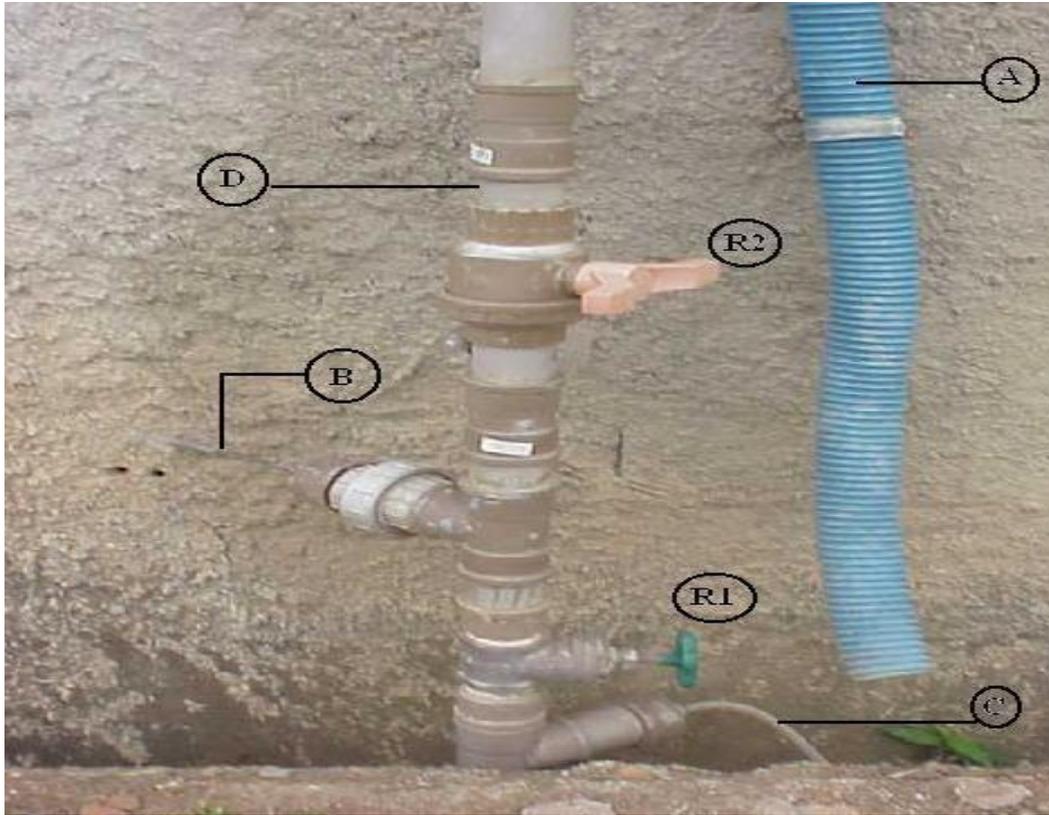
**Dsoc** = dosagem do coagulante (mg solução comercial / L );

**Qbd** = vazão da bomba dosadora (L da solução estoque / hora)

**Qab** = vazão da água bruta (L de água bruta / hora);

**Cse** = concentração da solução estoque (mg da solução comercial /L da solução estoque);

A solução estoque do coagulante foi preparada com diferentes concentrações e os ensaios de filtração direta ascendente em pedregulho foram realizados com dosagens distintas, conforme a **Tabela 10**.



**FIGURA 02** - Canalização de Recalque que faz parte do Sistema de Coagulação e Mistura Rápida.



**FIGURA 03** - Tanques de Preparo da Solução Estoque. (A) Tanque T1 e (B) Tanque T2.

**TABELA 10** - Concentrações do Coagulante na Solução Estoque e Dosagens do Coagulante nos Ensaio Efetivos de Filtração Direta Ascendente em Pedregulho.

Concentração da Solução Estoque		Dosagens do Coagulante				Ensaio de Filtração
mg Soc/L	mg SA/L	D1	D2	D3	D4	
15.000	7.215	63,05 e 69,12	30,33 e 33,25	5,16 e 5,65	2,73 e 2,99	E1
14.966	7.124	58,08 e 53,24	27,65 e 25,34	4,70 e 4,31	2,49 e 2,28	E2
14.966	7124	54,12	25,76	4,38	2,32	E3 e E4
15.079	7.328	60,72	29,51	5,02	2,66	E5
15.079	7.328	85,80	41,70	7,09	3,75	E6
15.000	7.290	60,09	29,20	4,96	2,63	E7
3.600	1.750	44,91	21,83	3,71	1,97	E8
15.000	7.290	47,23	22,95	3,90	2,06	E9
15.000	7.290	47,98	23,32	3,96	2,10	E10 e E11
10.000	4.633	42,61	19,74	3,36	1,78	E12
5.000	2.316	41,32	19,14	3,25	1,72	E13

(Soc) – Solução Comercial; (SA) -  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O$

Obs: Dosagens: **D1** (mg de Solução Comercial/L); **D2** (mg de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O/L$ ); **D3** (mg de  $Al_2O_3/L$ ); **D4** (mg de  $Al(III)/L$ ).

### 2.2.2 - Equipamentos de Dosagens e Mistura Rápida

Para dosagem do coagulante foi utilizada bomba dosadora ProMinent Concept, de membrana eletromagnética de curto deslocamento (**Fig.04**), tipo **CONb** 0223, com 180 carreiras /min, confeccionada em polipropileno/ EPDM, resistente a uma temperatura ambiente variando de – 10°C a +45°C e com um desvio de medição de –5 a 15%. A vazão do coagulante era obtida através do acionamento de dois botões de ajuste da bomba dosadora. O primeiro botão era um comutador de frequência, possuía forma de alavanca e poderia ser posicionado na posição III ou II. O segundo botão era de regulagem, poderia ser posicionado em dez posições distintas. As posições variavam de 10 a 100 % e determinavam a longitude da carreira a ser executada. A combinação entre a frequência e longitude da carreira, determinava o escoamento da solução estoque e, por conseguinte a vazão da bomba dosadora, conforme as **Tabelas 11 e 12**.

**TABELA 11** - Medição de Vazão da Bomba Dosadora na Posição III

<b>Posição III</b>				
<b>%</b>	<b>V(mL)</b>	<b>T(seg.)</b>	<b>Q(mL/s)</b>	<b>Q(L/h)</b>
100	908	105,16	8,63	31,08
90	882	114,31	7,72	27,78
80	910	133,50	6,82	24,54
70	880	145,34	6,05	21,80
60	877	175,13	5,01	18,03
50	919	245,50	3,74	13,48
40	840	305,28	2,75	9,91
30	483	291,03	1,66	5,97
20	270	251,47	1,07	3,86
10	170	253,66	0,67	2,41

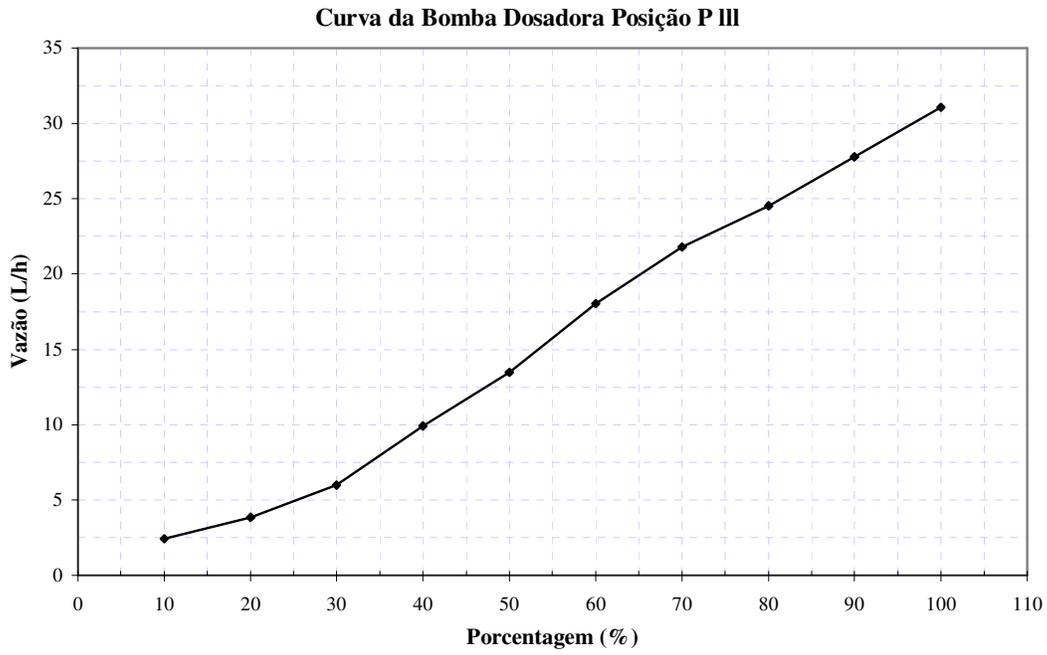
**TABELA 12** - Medição de Vazão da Bomba Dosadora na Posição II

<b>Posição II</b>				
<b>%</b>	<b>V(mL)</b>	<b>T(seg.)</b>	<b>Q(mL/s)</b>	<b>Q(L/h)</b>
100	200	73,75	2,71	9,76
90	200	80,25	2,49	8,96
80	200	88,25	2,27	8,17
70	100	52,00	1,92	6,91
60	100	64,20	1,56	5,62
50	100	76,91	1,30	4,68
40	100	101,28	0,99	3,56
30	100	132,00	0,76	2,74
20	100	186,50	0,54	1,94
10	100	245,37	0,41	1,48

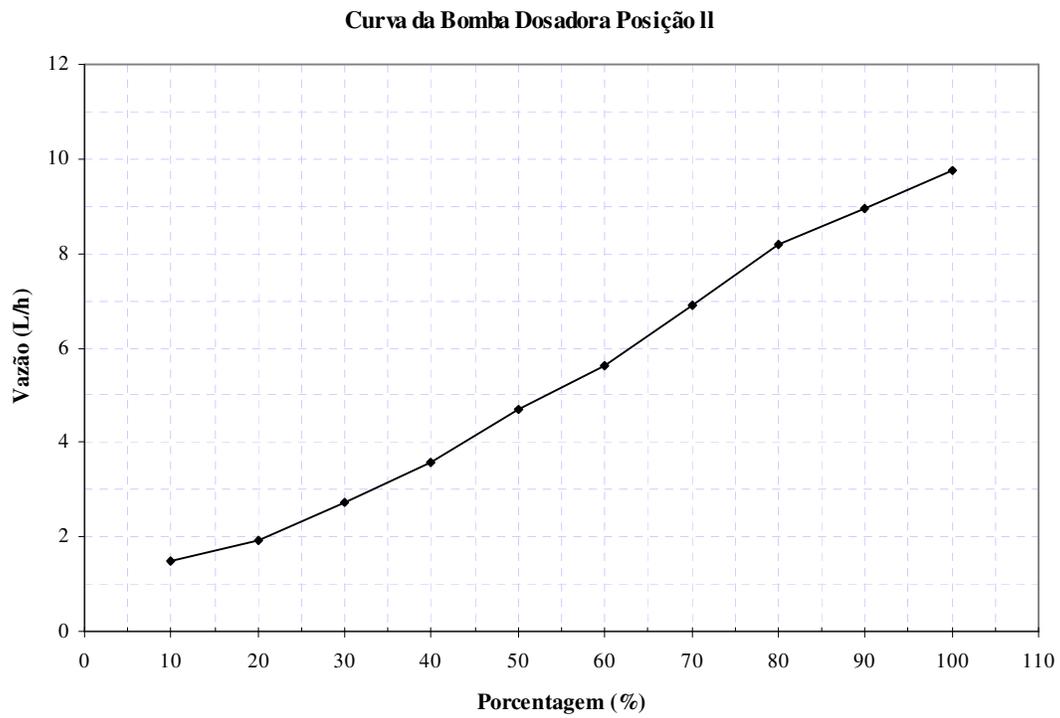
Obs: V (volume coletado); T (tempo de coleta); Q (vazão da Bomba Dosadora)



**FIGURA 04** - Bomba Dosadora.



**FIGURA 05** - Curva da Bomba Dosadora Posição III



**FIGURA 06** - Curva da Bomba Dosadora Posição II

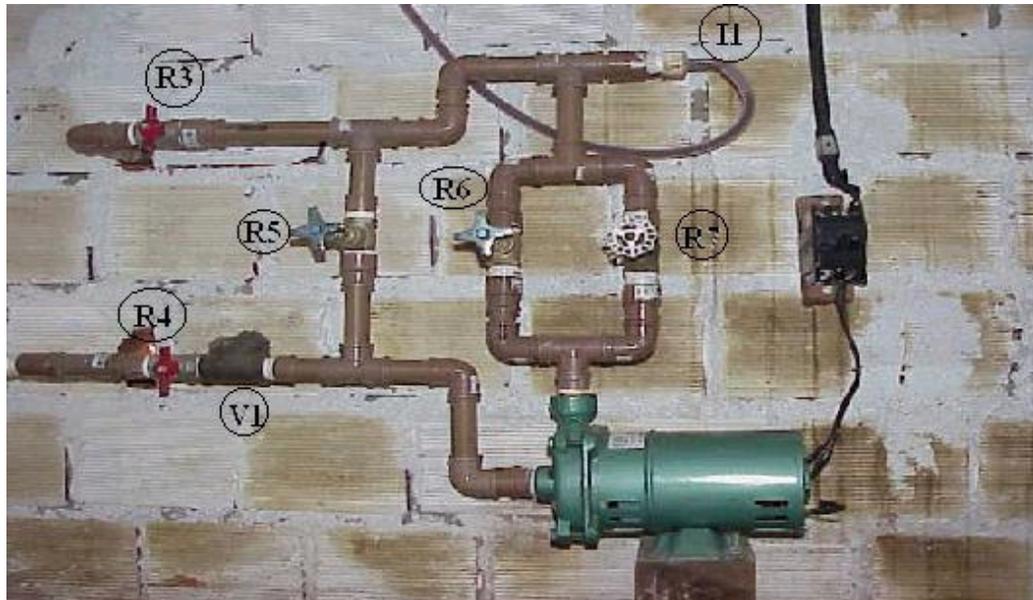
Para promover a mistura rápida entre a solução do coagulante e a água bruta, foi intercalada na sub-adutora de água bruta a bomba centrífuga (**B**), em cuja tubulação de sucção foram instalados o registro **R4** e a válvula de retenção **V1** e na tubulação de recalque os registros **R6**, **R7** e **R3** (**Fig. 07**). Outro registro (**R5**) foi instalado na tubulação que interliga as canalizações de sucção e de recalque da bomba **B**.

A solução estoque, succionada do tanque **T2** pela bomba, era injetada na tubulação de recalque da bomba centrífuga **B** por meio do injetor **I**, que consistia de um tubo de cobre com 0,5 cm de diâmetro e 17 cm de comprimento (**Fig.08**).

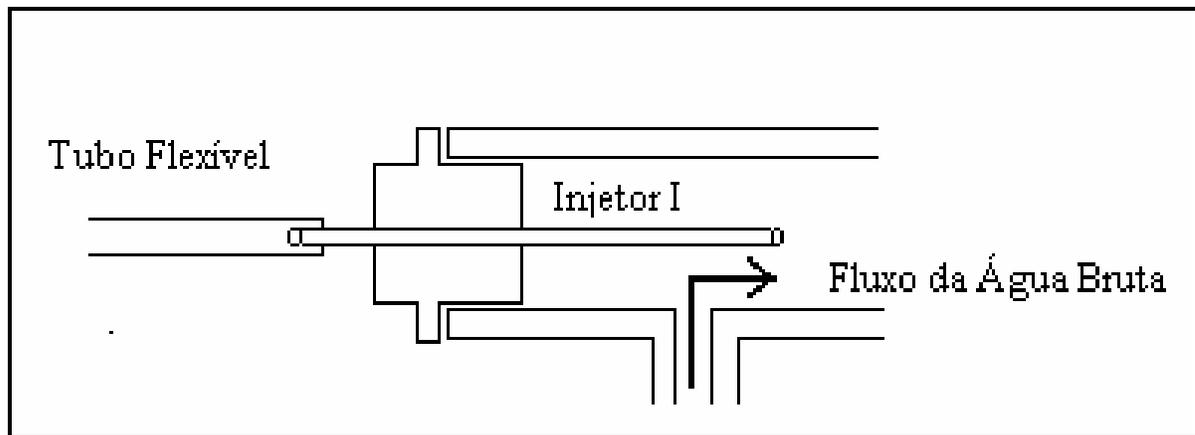
O injetor **I** era do tipo reator tubular ou “plug-flow” e foi instalado para propiciar uma mistura rápida do coagulante com a água bruta, conforme **VRALE & JORDEN (1971)**.

A operação do sistema de coagulação e mistura rápida (**Fig. 03**) seguia durante cada ensaio os procedimentos descritos a seguir:

- o registro **R1** permanecia parcialmente fechado para controle da vazão afluente à Caixa de Nível Constante;
- o registro **R2** era mantido totalmente fechado e o **R4** aberto, para direcionamento do fluxo de água bruta para o bocal de sucção da bomba **B**;
- o registro **R6** permanecia aberto e o **R7** mantido parcialmente fechado;
- o registro **R3** permanecia totalmente aberto e o **R5** era mantido aberto, permitindo a passagem do líquido recalcado novamente pelo rotor da bomba, favorecendo a mistura entre o coagulante e a água bruta.



**FIGURA 07** - Identificação dos Registros do Sistema de Adução de Água Bruta e de Coagulação e Mistura Rápida.



**FIGURA 08** - Esquema do Injetor I.

### 2.3 - Unidade de Filtração

A água bruta, após passar pela bomba centrífuga **B** e receber o coagulante, era recalçada até uma Caixa de Nível Constante (CNC), situada na cobertura do prédio da instalação piloto. Essa caixa era formada por três câmaras: câmara central (A), câmara de alimentação (C) e câmara do extravasor (B) (Fig. 09 e 10).

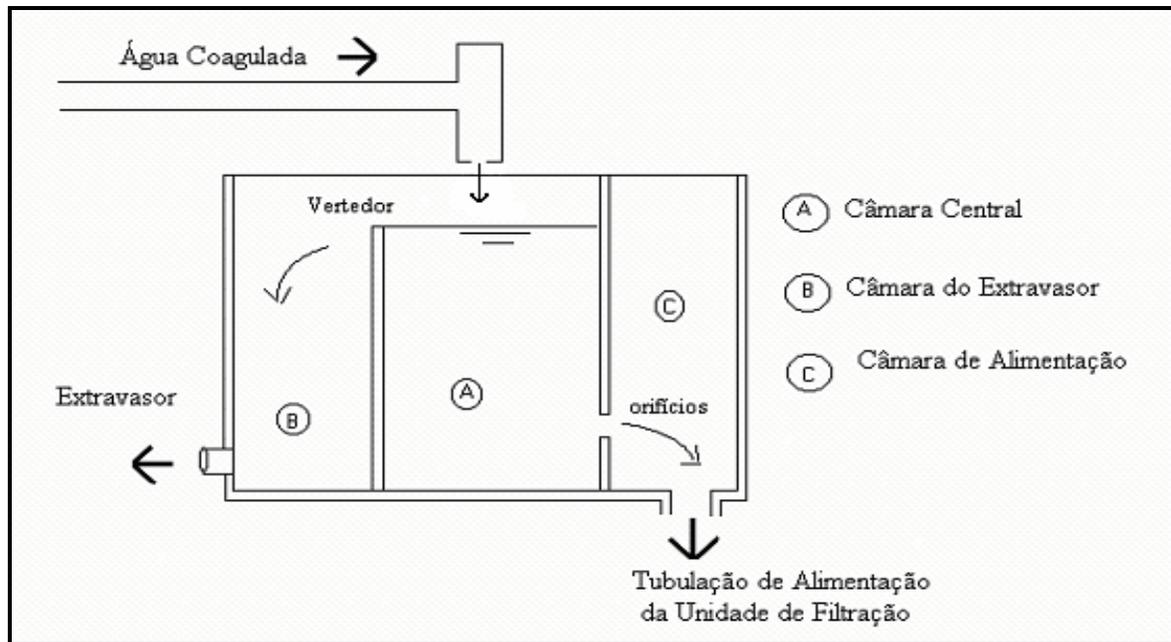


FIGURA 09 - Esquema da Caixa de Nível Constante - Corte Longitudinal.

A câmara central **A** recebia sempre uma vazão ligeiramente superior à vazão a ser filtrada na instalação piloto. O excesso de vazão vertia para a câmara **B** através do vertedor retangular situado acima da parede divisória entre as câmaras **A** e **B**, e através de tubulação extravasora escoava até o sistema de drenagem da **ETA** Castello Branco.

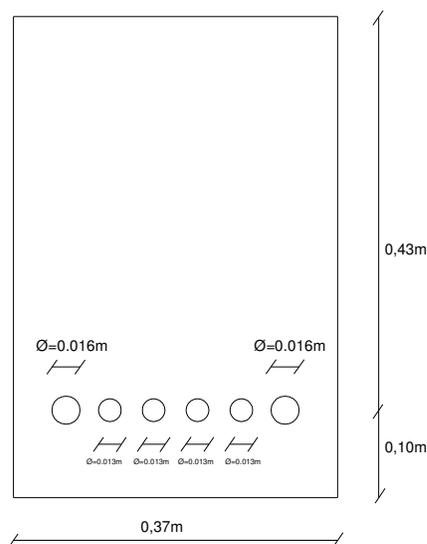
O citado vertedor retangular estabelecia nível de água constante na câmara central **A** e conseqüentemente, carga hidráulica constante (0,10 m) sobre os seis orifícios perfurados na parede divisória entre a câmara **A** e **C**.

Os seis orifícios tinham as seguintes dimensões: Os dois orifícios externos tinham diâmetro de 0,016 m e cada um dos quatro orifícios centrais tinha diâmetro de 0,013 m (Fig.10). A utilização de um ou mais orifícios é que permitia vazões de alimentação do filtro entre 740 e 1950 L/h. Vazões inferiores a 740 L/h foram conseguidas através da adaptação de peça plástica com diâmetro inferior a 0,013 m nos orifícios originais da **CNC**, conforme Tabela 13.

**TABELA 13 - Vazão dos Orifícios da Caixa de Nível Constante e Taxa de Filtração resultante na Unidade de Filtração.**

Orifício	Vazão (L/h)	Taxa de Filtração(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)
1	1111,62	112,10
2	759,32	76,57
3	806,47	81,32
4	740,90	74,84
5	749,50	75,58
6	996,30	100,47

Obs: a denominação dos orifícios de 1 a 6, segue a ordem crescente da esquerda para direita conforme a **Fig.10**.

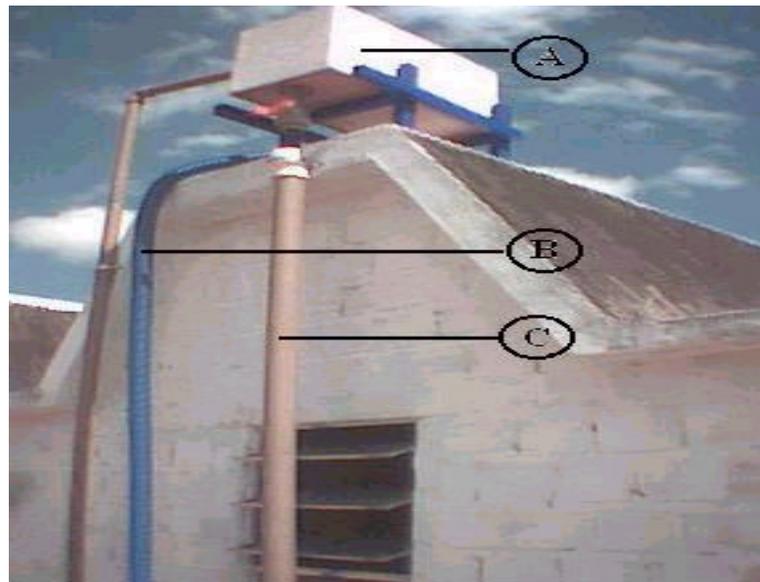


**FIGURA 10 - Detalhe da Parede Divisória da Caixa de Nível Constante entre as Camadas A e C.**

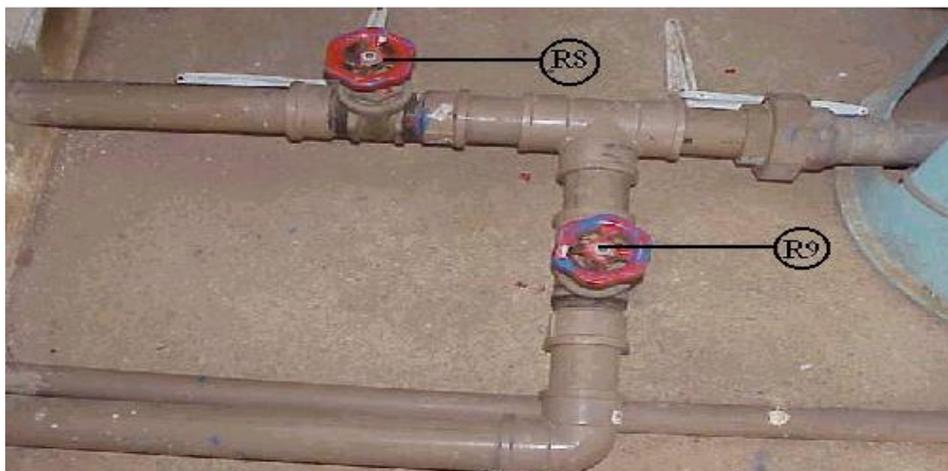
Da câmara de alimentação, a água coagulada escoava por gravidade através da tubulação de alimentação (PVC, diâmetro de 50 mm) até a parte inferior da unidade de filtração. Nessa tubulação foram instalados o registro **R8** e uma conexão (Tê) a qual foi conectada a tubulação para descargas de fundo na unidade de filtração. Na tubulação de descarga foi instalado o registro **R9** (**Fig.12 e 13**).



**FIGURA 11** - Visão Superior da Caixa de Nível Constante. (A) Parede Divisória com Orifícios e (B) Parede Vertedora.



**FIGURA 12** – (A) Caixa de Nível Constante, (B) Tubulação Extravasora e (C) Tubulação de Alimentação.



**FIGURA 13** - Tubulação de Entrada e Tubulação para Descarga de Fundo no FDAP.

### 2.3.1 – Filtro de Pedregulho com Escoamento Ascendente

O filtro de pedregulho com escoamento ascendente (**FDAP**) foi confeccionado em fibra de vidro, com 2,35 m de altura e diâmetro interno de 0,55 m. O filtro **FDAP** era formado por duas peças flangeadas, tendo a peça superior o formato cilíndrico e a peça inferior o formato de tronco de cone invertido. Para garantir a estanqueidade do filtro foi colocado anel de borracha (espessura de 6 mm) entre os flanges. Para visualização do meio filtrante, foram instaladas quatro janelas de vidro, nas paredes do filtro, cada uma medindo: 0,38 m de altura por 0,10 m de largura (**Fig.14**).

O filtro foi preenchido com pedregulhos de granulometria distinta (**Fig.17**), formando duas camadas:

- Camada suporte com espessura de 38 cm, formada por pedregulhos de tamanho entre 50 e 38 mm;
- Camada filtrante, formada por quatro sub-camadas com a seguinte granulometria:
  - camada inferior (25 cm de espessura): 38 a 19 mm;
  - camada intermediária (33 cm de espessura): 19 a 9,5 mm;
  - camada superior (38 cm de espessura): 9,5 a 4,8 mm;
  - camada superior ( 25 cm de espessura ) : 4,8 a 2,4 mm.

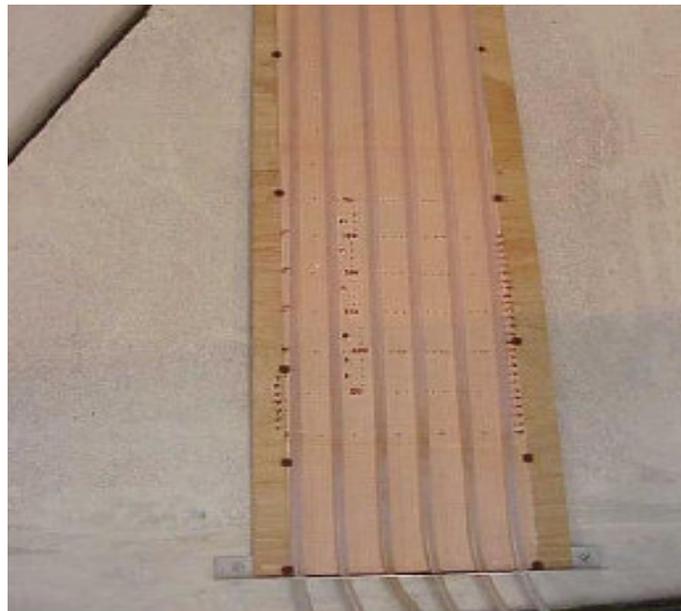
Ao longo da parede do filtro, no início e no final da camada suporte e de cada subcamada filtrante, foi instalados 06 bicos metálicos aos quais foram conectados 06 tubos piezométricos flexíveis, para leituras dos níveis piezométricos (**P1 a P6**), as quais eram realizadas em Quadro Piezométrico dotado de escala milimetrada (**Fig.15**).

Segundo **DI BERNARDO (2003)** as tomadas de pressão permitem a avaliação da perda de carga ao longo do meio filtrante, tornando possível à obtenção de informações sobre a ocupação deste por impurezas ao longo da carreira de filtração.

A água coagulada era introduzida sob a camada suporte, e escoava no sentido ascendente através de todo meio granular. Acima da camada superior do meio filtrante a água filtrada vertia para uma calha coletora e daí encaminhada ao sistema de drenagem.



**FIGURA 14 - Foto do Filtro Ascendente de Pedregulho.**



**FIGURA 15 - Quadro Piezométrico.**

### 2.3.2 - Funcionamento do Filtro de Pedregulho (FDAP)

Os ensaios de filtração direta ascendente em pedregulho que constituíram a investigação experimental tiveram por objetivo acompanhar o desempenho do filtro de pedregulho, por meio do monitoramento da turbidez da água filtrada e da perda de carga ao longo do meio granular, sob diferentes condições operacionais.

A cada ensaio correspondia uma carreira de filtração no filtro **FDAP**, cuja duração não era pré-determinada, podendo variar de horas a dias, a depender dos resultados obtidos.

Durante alguns ensaios foram realizadas descargas de fundo intermediárias (**DFI**), com o objetivo de prolongar a duração da carreira de filtração e produzir efluentes com menor turbidez.

Para realização de cada ensaio de filtração direta ascendente em pedregulho eram adotados os seguintes procedimentos preliminares:

- 1- armazenamento de água tratada no tanque **T1** por 72 horas para eliminação do cloro;
- 2- determinação da dosagem do coagulante, por meio de Ensaio de Coagulação e Filtração (**ECF**), utilizando-se Filtro de Laboratório de Areia (**FLA**);
- 3- verificação da vazão do sistema e determinação da taxa de filtração aplicada;
- 4- preparo da solução estoque no tanque **T2**;
- 5- abertura dos registros **R3** e **R4**;
- 6- remoção das bolhas de ar dentro da mangueira de sucção da bomba dosadora e dos piezômetros;

Procedimentos a serem seguidos durante o ensaio:

1. abertura do registro **R8** e fechamento do registro **R9**;
2. acionamento da bomba centrífuga;
3. acionamento da bomba dosadora na posição correspondente à dosagem de coagulante pré-determinada, dando início ao ensaio;
4. coleta de amostras de água bruta, água coagulada e água filtrada a intervalos pré-determinados para determinação dos parâmetros de monitoramento;
5. leitura dos níveis piezométricos no Quadro Piezométrico a intervalos pré-determinados para determinação da evolução da perda de carga no meio granular;

6. realização de Ensaio de Coagulação e Filtração (**ECF**) com o **FLA** para alteração da dosagem caso fosse observado variação acentuada na turbidez da água bruta;
7. realização de descargas de fundo intermediárias, caso tenham sido programadas;
8. encerramento do ensaio, mediante desligamento da bomba dosadora e da bomba centrífuga **B**;
9. fechamento dos registros **R3** e **R4**.

Após o encerramento de cada ensaio de filtração ascendente em pedregulho foram adotados os seguintes procedimentos:

1. realização de descargas de fundo para limpeza do meio granular do filtro **FDAP**;
2. limpeza dos tanques **T1** e **T2**.

### **2.3.3 - Descargas de Fundo Intermediárias**

A descarga de fundo intermediária (**DFI**) tinha como objetivo prolongar a duração da carreira de filtração e produzir um efluente do filtro de pedregulho com menor turbidez. A necessidade de sua realização se deu através da verificação do aumento na turbidez do efluente e verificação do aumento no nível da coluna d'água dos piezômetros, que indicavam que a capacidade de retenção de partículas pelo filtro foi exaurida. A programação das descargas de fundo intermediárias ao longo da carreira de filtração foi realizada em função da elevação da turbidez do efluente, tendo sido executadas em intervalos correspondentes ao crescimento deste parâmetro até o valor limite de 5 uT. A unidade de filtro rápido em **ETA** (ciclo completo) recebe água decantada com turbidez em torno de 5 uT. Por esse motivo, nessa pesquisa, foi adotada o valor de 5 uT como valor de turbidez a ser obtido no efluente do filtro **FDAP**. Os valores de turbidez exigidos para água pós-filtração ou pré-desinfecção estão fixados na Portaria n° **518/2004**, do Ministério da Saúde, conforme o tratamento empregado.

A realização das descargas de fundo intermediárias seguia os seguintes procedimentos:

1. fechamento do registro **R8** e imediata suspensão da operação do filtro através do desvio do afluente;
2. abertura rápida do registro **R9**;
3. fechamento do registro **R9** quando o nível de água no interior do filtro **FDAP** alcançava cerca de 15 cm acima da superfície da camada superior de areia
4. abertura lenta do registro **R8** para alimentação do filtro.

Os itens 3 e 4 eram observados para que a operação do filtro não fosse comprometida com o aparecimento de bolhas de ar no interior do mesmo. Antes e depois da realização da **DFI** era realizada a leitura dos piezômetros e efetuada coleta de amostra do efluente.

As descargas de fundo foram utilizadas nos ensaios com a finalidade de remover as partículas retidas nos vazios intergranulares e dos flocos depositados no topo do meio filtrante. Eram executadas ao término de cada ensaio, ou seja, a bomba centrífuga **B** continuava em funcionamento e o sistema sendo alimentado por água bruta aduzida pela sub-adutora.

Os procedimentos para descargas de fundo seguiam a mesma orientação dada a realização das **DFI**, sendo realizadas sucessivas descargas até que o efluente da lavagem apresentasse valores de turbidez da mesma ordem que os da água bruta.

Eram encaminhadas ao sistema de drenagem de águas pluviais da **ETA** Castello Branco: (i) o excesso da água bruta afluente à instalação piloto por meio da tubulação extravasora da Caixa de Nível Constante, (ii) o efluente do filtro **FDAP** durante a sua operação, (iii) o efluente das descargas de fundo, (iv) o efluente das descargas de fundo intermediárias (**DFI**).

### 3 - DETERMINAÇÃO DA DOSAGEM DO COAGULANTE

Para definição das dosagens do coagulante a serem utilizadas em cada um dos ensaios de filtração que constituíram a investigação experimental, foram realizados previamente Ensaios de Coagulação e Filtração (**ECF**) nos quais utilizava-se o Filtro de Laboratório de Areia (**FLA**).

O **FLA** pequeno filtro de areia instalado em de tubo de **PVC** com 25,5 cm de comprimento e diâmetro interno de 21 mm (**Fig. 16**). O meio filtrante (areia com tamanho dos grãos de 0,28 a 0,32 mm) tinha espessura de 15 cm. As paredes internas do **FLA** foram revestidas com areia fina de tamanho inferior a 0,45 mm, conforme **GUSMÃO (2001)**, para minimizar a ocorrência de caminhos preferenciais para a água e aumentar a eficiência da filtração.

Para utilização desse filtro foi instalada peça em formato de Tê no piezômetro **P1**, localizado na parte inferior do filtro **FDAP**. Através de um tubo flexível acoplado a essa peça era possível desviar parte da água coagulada afluyente à unidade de filtração. O acionamento de uma torneira cirúrgica instalada na extremidade desse tubo flexível permitia estabelecer a vazão da água coagulada afluyente ao **FLA** e, portanto, sua taxa de filtração.

O ensaio **ECF** era realizado com a instalação piloto em funcionamento e durava 30 min. Em cada ensaio **ECF** era fixada uma determinada dosagem de coagulante. Durante esse ensaio eram coletadas amostras do efluente do **FLA** a cada 10 min. para medição de turbidez.

Esse ensaio era repetido variando-se a dosagem do coagulante. Era considerada como a mais apropriada, a menor dosagem de coagulante associada a valores de turbidez <1 uT no efluente do **FLA**.

Os ensaios **ECF** foram empregados na investigação experimental devido à sua capacidade de determinação rápida da dosagem a ser adotada, caso houvesse qualquer mudança brusca e significativa na turbidez da água bruta.

Para realização de cada ensaio **ECF** eram adotados os seguintes procedimentos prévios:

1. determinação da vazão e turbidez da água bruta;
2. transferência do tanque **T1** para o **T2** do volume de água tratada necessário à preparação da quantidade de solução estoque a ser utilizada durante o ensaio;
3. adição ao tanque **T2** do volume adequado da solução de Sulfato de Alumínio Comercial, de forma a se obter a concentração da solução estoque (**Cse**);
4. seleção na bomba dosadora da vazão desejada (**Qbd**);
5. acionamento da bomba a dosadora;
6. espera de 15 min para que a solução coagulante percorresse todo o sistema;
7. ajuste da vazão afluyente ao **FLA** até ser obtida a taxa de filtração desejada (50 a 70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia), dando-se início ap ensaio **ECF**.

**- Procedimentos durante o ensaio ECF:**

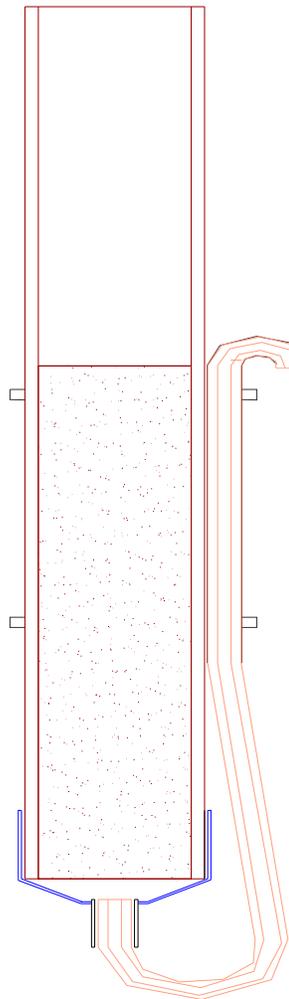
1. após 10 min de filtração, coleta de 30 mL da amostra;
2. registro do intervalo de tempo gasto para obtenção da amostra de 30 mL e verificação da taxa de filtração no **FLA**;
3. leitura de turbidez da amostra coletada;
4. repetição dos procedimentos 1, 2 e 3 para os 20min. e 30 min. de filtração;
5. término do ensaio.

Durante a realização do ensaio era verificada a vazão da torneira cirúrgica já que a simplicidade desse equipamento favorecia a vulnerabilidade a variações na vazão.

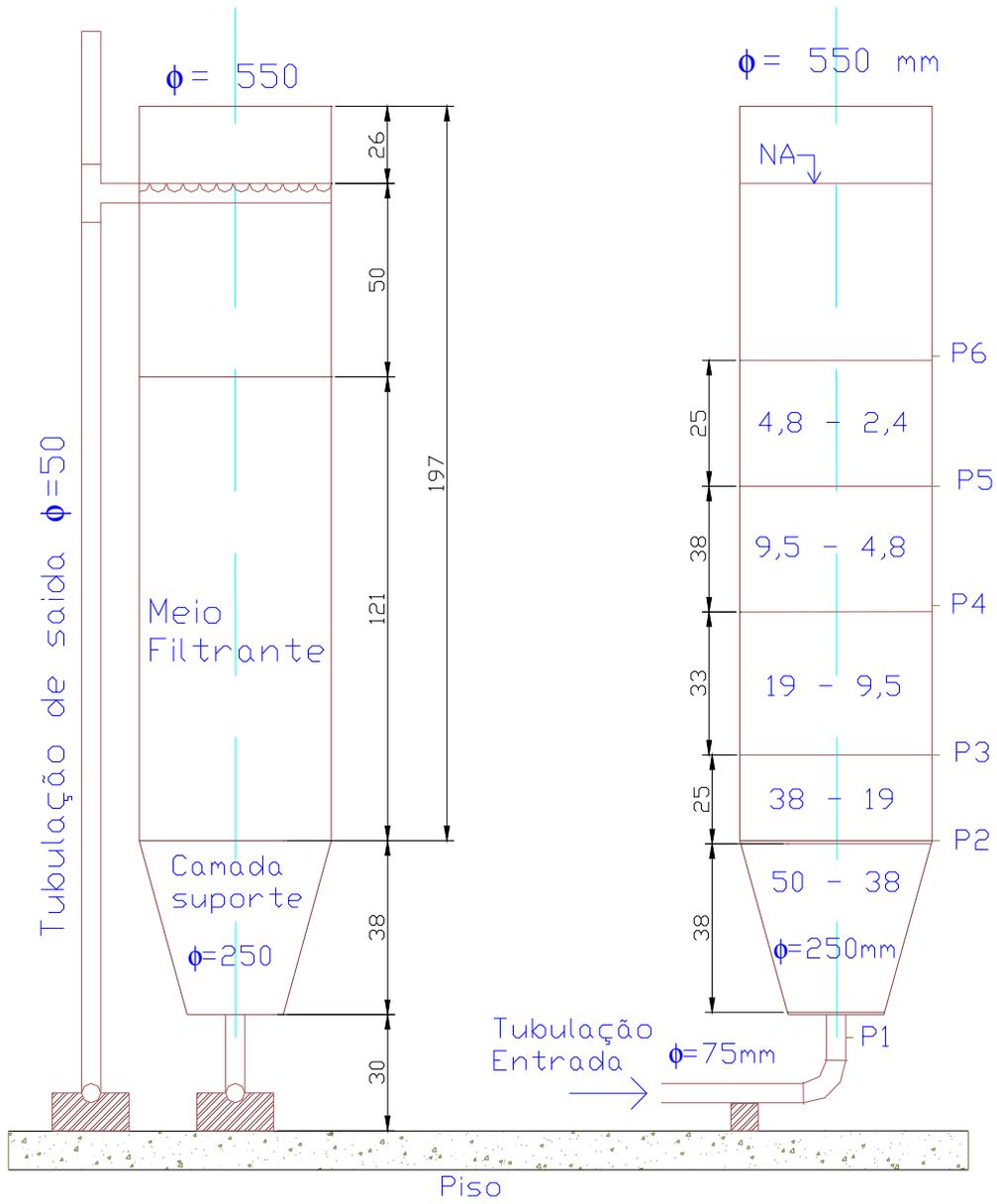
Após cada **ECF** a areia do **FLA** era removida e lavada adotando-se os seguintes procedimentos:

1. colocação da areia em um Becker de 500 mL, contendo aproximadamente 250 mL de água tratada;
2. adição de água tratada até um volume prefixado;
3. com um auxílio de um bastão era realizado o início da lavagem da areia através de movimentos circulares feito com o bastão;

4. lavagem da areia até o sobrenadante tornar-se turvo;
5. descarte do sobrenadante;
6. repetição a partir do item 2;
7. leitura da turbidez quando o sobrenadante apresentar, visualmente, baixa turbidez;
8. caso a leitura registrada fosse inferior a 5 uT, a operação de lavagem é finalizada;
9. caso contrário, repetição dos procedimentos a partir do item 2.



**FIGURA 16** - Esquema do Filtro de Laboratório de Areia (FLA).



**FIGURA 17** – Esquema do Filtro Ascendente de Pedregulho.

## 4 - DESENVOLVIMENTO DA INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

A investigação experimental foi desenvolvida em duas fases. Na Fase 1 foram realizadas: (i) atividades preliminares necessárias à realização da pesquisa, e (ii) testes preliminares para avaliação do desempenho das unidades de coagulação/mistura rápida e para definição preliminar das dosagens do coagulante a serem utilizadas durante a investigação experimental. Durante as atividades e testes preliminares foram avaliados e ajustados à instalação piloto e os equipamentos.

Na Fase 2 foram realizados os ensaios efetivos de filtração direta ascendente em pedregulho na instalação piloto e ensaios especiais relativos a questões operacionais.

### 4.1 - Fase 1 - Atividades Preliminares

As atividades preliminares incluíram:

- (i) medição das vazões máxima e mínima afluentes à instalação piloto, para determinação dos valores máximo e mínimo da taxa de filtração a ser aplicada no filtro de pedregulho (**FDAP**);
- (ii) medição das vazões da bomba dosadora para definição das dosagens de coagulante aplicadas nos ensaios;
- (iii) calibração dos dispositivos de leitura dos volumes armazenados nos tanques **T1** e **T2**, para facilitar a operação de preparo da solução estoque;
- (iv) monitoramento da evolução da concentração de cloro residual livre na água de preparo da solução estoque. Era utilizada água tratada produzida na **ETA** Castello Branco, a qual continha elevada concentração de cloro residual livre. Nessa atividade foi avaliado o desempenho do aerador (chuveiro) instalado na tubulação de alimentação do tanque **T1** e determinada a evolução da concentração de cloro residual livre na água armazenada nesse tanque. Para isso foram retiradas amostras na saída do aerador e após 0, 19, 43 e 71 horas de armazenamento no tanque **T1**. Foram medidas as concentrações de cloro residual livre aplicando-se a metodologia **DPD** (diaequil – 1,4-fenilenodiamino) utilizando-se um comparador Microquant com faixa de análise entre 0 e 2 mg/L Cl<sub>2</sub>.

- (v) comparação entre turbidímetros utilizados na pesquisa. Para isso, foram preparadas 29 amostras de água com valores crescentes de turbidez, variando de 0,83 a 736 uT. A turbidez de cada amostra foi medida simultaneamente no turbidímetro **Hach Model 2100P** Portable Turbidimeter (utilizado na instalação piloto) e o turbidímetro **Hach Model 2100N** Laboratory Turbidimeter (utilizado no Laboratório da **ETA** Presidente Castello Branco).

#### 4.2 - Fase 1 - Ensaios de Coagulação e Filtração Preliminares

Foram realizados quatro Ensaios de Coagulação e Filtração (**ECF**) preliminares. Em cada um deles a água bruta foi coagulada na própria instalação piloto, utilizando-se Sulfato de Alumínio e, em seguida, filtrada no filtro de laboratório de areia (**FLA**), com os seguintes objetivos:

Ensaios	Objetivos
<b>ECF 1</b>	(1) avaliar o sistema de mistura rápida da instalação piloto, com aplicação do coagulante injetado na sub-adutora; (2) determinar de forma preliminar a dosagem do coagulante mais adequada a turbidez da água bruta (72 uT); (3) verificar qual a influência da concentração da solução estoque nos valores da turbidez do efluente do FLA.
<b>ECF 2</b>	(1) avaliar o sistema de mistura rápida da instalação piloto, com introdução da bomba centrífuga B e aplicação do coagulante na tubulação de sucção da bomba B; (2) determinar de forma preliminar a dosagem do coagulante mais adequada a turbidez da água bruta (59 uT).
<b>ECF 3</b>	(1) determinar a melhor dosagem do coagulante para a turbidez da água bruta de 26 uT.
<b>ECF 4</b>	(1) repetir o ECF 3 aplicando menores dosagens do coagulante.

#### 4.3 - Fase 2 - Ensaios Efetivos de Filtração Direta Ascendente em Pedregulho

Nessa fase foram realizados 13 ensaios efetivos de filtração direta ascendente em pedregulho na instalação piloto (**E1 a E13**). Nesses ensaios a água bruta apresentou turbidez variando entre 13 e 51 uT e cor aparente variando entre 70 e 260 uC. Nesses ensaios foram adotadas taxas de filtração no filtro **FDAP** entre 39 e 195 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e dosagens de coagulante entre 19,14 e 41,70 mg SA/L, conforme indicado na **Tabela 14**.

Os ensaios foram realizados com os objetivos de: (i) avaliar o desempenho do filtro **FDAP** relativamente à redução de turbidez e cor aparente; (ii) avaliar a evolução da perda de carga no meio granular; e (iii) avaliar a eficiência das descargas de fundo intermediárias (**DFI**), executadas para aumento da duração das carreiras de filtração.

Os valores da taxa de filtração adotados em cada ensaio, assim como o número de descargas de fundo intermediário (DFI) executado durante cada ensaio, estão indicadas na **Tabela 14**.

Nessa fase foram também realizados ensaios de coagulação e filtração – **ECF 5 a ECF 9** – antes dos ensaios efetivos para determinação ou ratificação da dosagem do coagulante mais adequada, conforme indicado na **Tabela 14**.

**TABELA 14** - Características dos Ensaio de Filtração Direta Ascendente em Pedregulho (E1 a E13).

Ensaio	Taxa de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Nº de DFI	Água Bruta		Dosagem do Coagulante (mg SA/L)	Ensaio ECF
			Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)		
<b>E1</b>	195	0	18 a 29	160 e 200	30,33 e 33,25	ECF 3 e ECF 4
<b>E2</b>	195	3	15 a 18	80 a 200	27,65 e 25,34	ECF 5
<b>E3</b>	156	0	16 a 20	80 a 100	25,76	
<b>E4</b>	156	3	13 a 18	70 a 160	25,76	
<b>E5</b>	156	4	22 a 24		29,51	
<b>E6</b>	110	2	49 a 51	140 a 260	41,70	ECF 6
<b>E7</b>	110	1	47 a 49	220 a 250	41,70	
<b>E8</b>	75	0	28 a 29	80 a 180	21,83	ECF 7
<b>E9</b>	75	5	19 a 21	100 a 140	22,95	ECF 8
<b>E10</b>	86	0	15 a 17	80 a 120	23,32	ECF 9
<b>E11</b>	86	6	15 a 19	90 a 100	23,32	
<b>E12</b>	45	0	38 a 41	108 a 140	19,74	
<b>E13</b>	45	0	31 a 34	100 a 180	19,14	

Observações: (SA) – Sulfato de Alumínio.

#### 4.4 - Fase 2 - Ensaio Especiais

Foram realizados os seguintes Ensaio Especiais:

- Medição das taxas de escoamento durante a execução da descarga de fundo. Essas medições foram realizadas imediatamente após os ensaios **E1** e **E2**.
- Determinação do número mínimo de descargas de fundo necessários para limpeza do meio granular. Essa determinação foi realizada após os ensaios **E1** e **E2**.

- Avaliação da influencia da descarga de fundo intermediária na turbidez do efluente e na evolução da perda de carga no filtro **FDAP**. Essa avaliação foi realizada:
  - após a **3º DFI** no ensaio **E4**, após a **3º e 4º DFI** no ensaio **E5**. Nesses casos as medições de turbidez foram realizadas a cada 5 minutos, durante (no mínimo) 30 minutos.
  - após a **DF** realizada ao final do ensaio **E7**, foram feitas medições de turbidez do efluente a cada 5 minutos durante 75 minutos.
  - entre o ensaio **E11** e **E12** foi realizado o ensaio especial (**EE1**) de “Amadurecimento” com as seguintes características: turbidez da água bruta = 4,19 ut, taxa de filtração = 86,10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia e concentração da solução estoque = 3.600 mg/L. Nesse caso a turbidez do efluente foi registrada a cada minuto nos primeiros 5 minutos. a perda de carga e a turbidez do efluente foi acompanhada com intervalos de 5 minutos ate 1 hora de filtração, passando depois a serem acompanhadas a cada hora durante as seis primeiras horas de funcionamento.
  - entre os ensaios **E12** e **E13** foi realizado o ensaio especial (**EE2**) de “Amadurecimento” com as seguintes características: turbidez da água bruta = 39,40 ut, taxa de filtração = 45,71 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia e concentração da solução estoque = 15.000 mg/l. Nesse caso a perda de carga e a turbidez do efluente foi acompanhada com intervalos de 5 minutos ate 1 hora de filtração, passando depois a serem acompanhadas a cada hora durante as seis primeiras horas de funcionamento.
- Avaliação da limpeza do topo do meio granular por meio de sinfonamento. Essa avaliação foi realizada após o ensaio **E3**.

## 5 - PARÂMETROS DE INTERESSE NA INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

Durante a investigação experimental foram medidos e avaliados os seguintes parâmetros:

- vazão e nível piezométrico: utilizados como parâmetros de controle operacional, para fixação das taxas de filtração e determinação das perdas de carga nos meio granular, respectivamente;
- turbidez e cor aparente: utilizados na avaliação da eficiência da remoção de impurezas na instalação piloto;
- temperatura, pH e alcalinidade: por serem parâmetros que interferem no tratamento da água.

A vazão era medida antes de cada ensaio. Os níveis piezométricos eram medidos, em cada piezômetro, no início de cada ensaio, a cada hora durante a carreira de filtração e antes e depois de cada **DFI**.

As amostras de água bruta eram coletadas no ponto B da sub-adutora (**Fig.02**), enquanto as de água coagulada eram coletadas na derivação do primeiro piezômetro **P1** (**Fig.14**). As amostras do efluente do filtro **FDAP** eram coletadas próximo da calha coletora.

Procurou-se medir os parâmetros físico-químicos (turbidez, cor aparente, temperatura, pH e alcalinidade) das amostras de água bruta, água coagulada e do efluente do filtro, antes de cada ensaio e a cada hora durante a carreira de filtração. As coletas de amostras foram muitas vezes antecipadas ou retardadas conforma o curso particular de cada ensaio. A turbidez foi também medida no efluente do filtro antes e depois de cada **DFI**. A temperatura foi medida apenas no efluente do filtro **FDAP**.

Na determinação dos parâmetros físicos e químicos foram adotados os métodos indicados em **APHA (1995)**. A seguir estão indicados os métodos e equipamentos adotados na determinação de todos os parâmetros.

Vazão – método volumétrico, adotando-se o seguinte procedimento: medição do tempo de enchimento de determinado volume no interior do filtro.

Nível Piezométrico – leitura em piezômetros durante as carreiras de filtração. Para estimativa da perda de carga no meio granular a 20 °C foi utilizada a equação de Fair-Hatch.

Turbidez – princípio nefelométrico, utilizando-se, para medição, o turbidímetro Hach Model 2100P Portable Turbidimeter, com faixa de medição de 0 a 1000 uT (com colocação automática do ponto decimal).

Cor Aparente – determinada utilizando-se o método de comparação visual, baseado no princípio platino-cobalto. Foi utilizado o comparador visual, modelo Nessler Quanti 200 da Policontrol, com faixa de leitura dos discos até 70 mg/L Pt-Co.

Temperatura – foi utilizado o termômetro de mercúrio Incoterm, com faixa de medição de -10 °C a + 112 °C.

Potencial Hidrogeniônico (pH) – foi utilizado o potenciômetro Inatec. O pH determinado por meio da diferença de potencial entre o eletrodo interno do aparelho e a amostra.

Alcalinidade – método titulométrico, utilizando-se indicador misto (vermelho de Metila e verde de Bromocresol) e ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,02N) como titulante.

## Capítulo 5

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

### 1 – APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS

Os resultados obtidos na Fase 1 (Atividades Preliminares) estão resumidos no **Apêndice A** e aqueles obtidos na Fase 2 (Ensaio Efetivos) encontram-se resumidos no **Apêndice B**.

- **Resultados da Fase 1 – Atividades Preliminares**

No **Apêndice A** estão apresentadas as tabelas (**Tabelas A1 a A5**) e gráficos (**Figuras A1 a A7**) referentes aos ensaios preliminares (**ECF 1 ao ECF 4**), à medição do cloro residual livre da água tratada utilizada na solução estoque e à comparação entre os dois turbidímetros Hach 2100P e Hach 2100 N.

As **Tabelas A1 a A4** resumem os resultados dos ensaios de coagulação e filtração (**ECF 1 a ECF 4**) realizados no **FLA**. Nelas são fornecidas as taxas de filtração aplicadas, a concentração da solução estoque, a dosagem do coagulante utilizada, assim como a turbidez da água bruta e do efluente, nos tempos de filtração 10, 20 e 30min. Nas **Figuras A1 a A3** os resultados dos ensaios **ECF 2 ao ECF 4** foram apresentados através de gráficos, onde a turbidez do efluente nos tempos de filtração 10, 20 e 30 min foi relacionada a cada dosagem aplicada.

A **Figura A4** representa a variação da concentração do cloro residual livre na água tratada utilizada na preparação da solução estoque, ao longo do período de estocagem no tanque **T1**.

Na **Tabela A5** estão os valores de turbidez relativos a 29 amostras de água preparada, conforme o item 4.1 (v) do capítulo 4, medidos em cada um dos turbidímetros (Hach 2100P e Hach 2100 N). Nas **Figuras A5 a A7** mostra-se a correlação entre esses valores, considerando-se os seguintes intervalos: faixa de 0 a 10 uT (**Figura A5**); faixa de 0 a 100 uT (**Figura A6**) e faixa de 0 a > 1000 uT (**Figura A7**).

- **Resultados da Fase 2 – Ensaios Efetivos**

As tabelas e figuras do **Apêndice B** referem-se aos ensaios efetivos:

- (i) ensaios de filtração direta ascendente em pedregulho, **E1 a E13**;
- (ii) ensaios de filtração e coagulação, **ECF 5 a ECF 9**.

Os resultados de cada um dos ensaios **E1 a E13** estão apresentados em forma de duas tabelas e dois gráficos. Na primeira tabela estão apresentados os valores do nível piezométrico na mudança de sub camada de pedregulho no meio granular, utilizados para determinação da perda de carga no meio granular. Na segunda tabela estão apresentados os valores de turbidez, cor aparente, pH e alcalinidade, obtidos ao longo da carreira de filtração. No primeiro gráfico são apresentados os valores de turbidez da água bruta e do efluente durante o tempo de funcionamento do filtro **FDAP**. No segundo gráfico é apresentada a variação da perda de carga total no meio granular em função do tempo de filtração.

Os resultados dos ensaios de coagulação e filtração (**ECF 5 a ECF 9**) estão resumidos em uma tabela e um gráfico para cada ensaio. Nessa tabela são apresentadas as taxas de filtração aplicadas, a concentração da solução estoque, as dosagens do coagulante utilizadas, assim como a turbidez da água bruta e do efluente, nos tempos de filtração no **FLA** de 10, 20 e 30min. Os resultados dos ensaios **ECF 5** ao **ECF 9** foram apresentados por gráficos, onde a turbidez do efluente nos tempos de filtração 10, 20 e 30 min foi relacionada cada dosagem aplicada.

As tabelas referentes aos ensaios efetivos e aos ensaios **ECF** estão intituladas conforme o **Tabela 15**.

**TABELA 15:** Título das Tabelas referentes aos ensaios **E1 a E13** e **ECF 5 a ECF 9**.

Ensaios Efetivos	Título das Tabelas		
	Ensaios ECF	Variação do Nível Piezométrico	Parâmetros Físico-químicos
<b>E1</b>		Tabela B1	Tabela B2
<b>E2</b>	Tabela B3	Tabela B4	Tabela B5
<b>E3</b>		Tabela B6	Tabela B7
<b>E4</b>		Tabela B8	Tabela B9
<b>E5</b>		Tabela B10	Tabela B11
<b>E6</b>	Tabela B12	Tabela B13	Tabela B14
<b>E7</b>		Tabela B15	Tabela B16
<b>E8</b>	Tabela B17	Tabela B18	Tabela B19
<b>E9</b>	Tabela B20	Tabela B21	Tabela B22
<b>E10</b>		Tabela B23	Tabela B24
<b>E11</b>		Tabela B25	Tabela B26
<b>E12</b>	Tabela B27	Tabela B28	Tabela B29
<b>E13</b>		Tabela B30	Tabela B31

Os gráficos representativos dos ensaios supra citados seguem os seguintes títulos, indicados na **Tabela 16**:

**TABELA 16:** Título das Figuras referentes aos ensaios **E1** a **E13** e **ECF 5** a **ECF 9**.

Ensaio Efetivos	Título das Figuras			
	Ensaio ECF (Dosagem)	Varição da Turbidez da água bruta e efluente no tempo	Perda de carga no Meio Granular	Perda de Carga nas Subcamadas
<b>E1</b>		Figura B1	Figura B2	
<b>E2</b>	Figura B3	Figura B4	Figura B5	
<b>E3</b>		Figura B6	Figura B7	
<b>E4</b>		Figura B8	Figura B9	
<b>E5</b>		Figura B10	Figura B11	
<b>E6</b>	Figura B12	Figura B13	Figura B14	
<b>E7</b>		Figura B15	Figura B16	
<b>E8</b>	Figura B17	Figura B18	Figura B19	Figura B20
<b>E9</b>	Figura B21	Figura B221	Figura B23	Figura B24
<b>E10</b>		Figura B25	Figura B26	Figura B27
<b>E11</b>		Figura B28	Figura B29	Figura B30
<b>E12</b>	Figura B31	Figura B32	Figura B33	Figura B34
<b>E13</b>		Figura B35	Figura B36	Figura B37

As **Figuras B38** e **B40** representam a taxa de escoamento durante as **DF** realizadas respectivamente nos ensaios **E1** e **E2**. As **Figuras B39** e **B41** representam os valores de turbidez do efluente após cada **DF** realizada, respectivamente nos ensaios **E1** e **E2**.

Nas **Figuras B42** a **B45** estão representadas as variações de turbidez do efluente, após a realização das **DFI**, nos ensaios: **E4**, **E5**, e **E7**.

As **Figuras B46, B48 e B49** representam a variação da turbidez do efluente do filtro **FDAP** e as **Figuras B47 e B50** as perdas de carga no meio granular durante o funcionamento do filtro **FDAP**, realizado respectivamente nos Ensaio Especiais 1 e 2 (**EE1 e EE2**)

A **Figura B48** mostra a variação da turbidez do efluente, nos primeiros 30 minutos do ensaio **EE1**, para melhor visualização do período de “amadurecimento” do filtro **FDAP**.

## **2 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **2.1 – Atividades Preliminares**

#### **2.1.1 – Medição da Vazão da Bomba Dosadora**

Na fase inicial da pesquisa surgiu a necessidade da determinação das vazões da bomba dosadora, utilizando todas as possibilidades fornecidas pelo equipamento, nas condições reais da instalação piloto. Os resultados indicam que as vazões da bomba dosadora explicitadas pelo fabricante como sendo de 0,9 e 23 L/h, atingiram valores superiores: 1,48 a 31,08 L/h, indicados nas **Tabelas 11 e 12**.

#### **2.1.2 – Medição das vazões afluentes ao filtro FDAP**

A medição da vazão afluente ao filtro **FDAP** foi realizada através da determinação da vazão em cada orifício aberto da caixa **CNC**. Os valores estão indicados na **Tabela 06** (capítulo 4) e variaram de 1111,62 a 740,90 L/h. Antes de cada ensaio realizado durante a pesquisa foi realizada nova medição de vazão para certificação da real vazão afluente ao sistema. Foi verificado também que a vazão correspondente à combinação da abertura de mais de um orifício não correspondia ao valor da soma das vazões dos orifícios abertos em separado. Todos os valores obtidos através da combinação da abertura dos orifícios foram inferiores a soma de cada um em separado.

#### **2.1.3 – Medição da Concentração de Cloro Residual Livre (CRL)**

Com relação à investigação feita com a água tratada usada na preparação da solução estoque, foi observado o valor inicial de **CRL** (10 mg/L), sendo necessárias 71 horas para que a concentração de **CLR** fosse reduzida a 0,5 mg/L. Com base nesse resultado a água tratada a ser utilizada em cada ensaio foi armazenada durante 72 h antes do início de cada ensaio para eliminação do **CLR**. Essa medida foi tomada mesmo considerando que concentrações de até 5 mg/L de **CLR** na água de preparação da solução estoque não influencia significativamente nos resultados de turbidez remanescente e de perda de carga, conforme foi observado por **PÁDUA (2003)**.

#### 2.1.4 – Comparação entre Turbidímetros

Foi determinada a correlação entre a leitura de turbidez efetuada no turbidímetro utilizado na pesquisa (Hach 2100P) e o turbidímetro disponível na **ETA** Presidente Castello Branco (Hach 2100N), já que alguns valores fornecidos para pesquisa pela **COMPESA** foram determinados, pelos funcionários da empresa, através de medições efetuadas naquele equipamento. Os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) encontrados demonstraram que há uma elevada correlação entre as leituras fornecidas pelos dois turbidímetros, conforme a **Tabela A5** e **Figuras A6, A7 e A8**. Esse procedimento também foi seguido por **GUSMÃO (2001)**. No entanto a pesquisa utilizou somente o turbidímetro Hach 2100P.

#### 2.1.5 – Ensaios de Coagulação e Filtração

Durante o ensaio **ECF 1** foi possível observar que, aparentemente, a concentração da solução estoque (**Cse**) não interfere significativamente nos resultados de turbidez remanescente, já que quando a **Cse** foi alterada de 4000 mg/ L para 8000 mg/L, permanecendo constante a dosagem empregada no ensaio, a turbidez do efluente não sofreu alteração significativa.

No ensaio **ECF 1** foram aplicadas dosagens de 10 e 21 mg SA /L, sendo a turbidez da água bruta de 71,6 uT, a turbidez do efluente do **FLA** permaneceu elevada variando entre 84,60 e 87,50 uT (**Tabela A1**). No ensaio **ECF 2** a turbidez da água bruta sofreu redução para 58,90 uT e foram aplicadas as dosagens de 18 e 21 mg SA /L. Mesmo com elevação da dosagem do coagulante a turbidez do efluente do **FLA** permaneceu elevada, variando entre 65,30 e 63,50 uT, conforme a **Tabela A2** e **Figura A1**. Em função dos resultados insatisfatórios e com o objetivo de melhorar a mistura do coagulante com a água a ser tratada foi introduzida no sistema, antes do início ensaio seguinte (**ECF 3**), um dispositivo para intensificação da mistura (bomba centrífuga B). No ensaio **ECF 3** a turbidez da água bruta manteve-se em 26,20 uT tendo sido aplicadas elevadas dosagens, de 34 a 250 mg SA /L, resultando em turbidez remanescente inferior a 1 uT para todas as dosagens, conforme a **Tabela A3** e a **Figura A2**. Nesse estágio da pesquisa não foi possível afirmar que os resultados não satisfatórios dos ensaios anteriores se deram pela ineficiência da mistura rápida ou pela aplicação da dosagem inadequada.

Como foram obtidos valores de turbidez remanescente abaixo de 1 uT para a dosagem de 34 mg SA /L no ensaio **ECF 3**, foi realizado o ensaio **ECF 4** com aplicação de dosagens entre 5 a 38 mg SA / L. Os resultados obtidos (**Tabela A4** e **Figura A3**) indicam que para a turbidez da água bruta entre 23 e 29 uT; a dosagem de 37,81 mg SA / L corresponde aos melhores resultados de turbidez que o efluente do **FLA** apresentou.

Durante a realização do ensaio **ECF 3**, quando foram aplicadas dosagens de 125,96 e 250,61 mg SA /L, ocorreu o aparecimento de muitas bolhas de ar dentro da mangueira por onde a água coagulada era encaminhada até o **FLA**, tornando difícil manter constante a taxa de filtração durante o ensaio.

Diante dos resultados alcançados pelos ensaios preliminares **ECF 1** a **ECF 4**, concluiu-se que para uma turbidez da água bruta variando entre 22 e 29 uT, a dosagem indicada estaria no intervalo de 34 mg SA /L a 38 mg SA /L.

## **2.2 – Ensaios Efetivos**

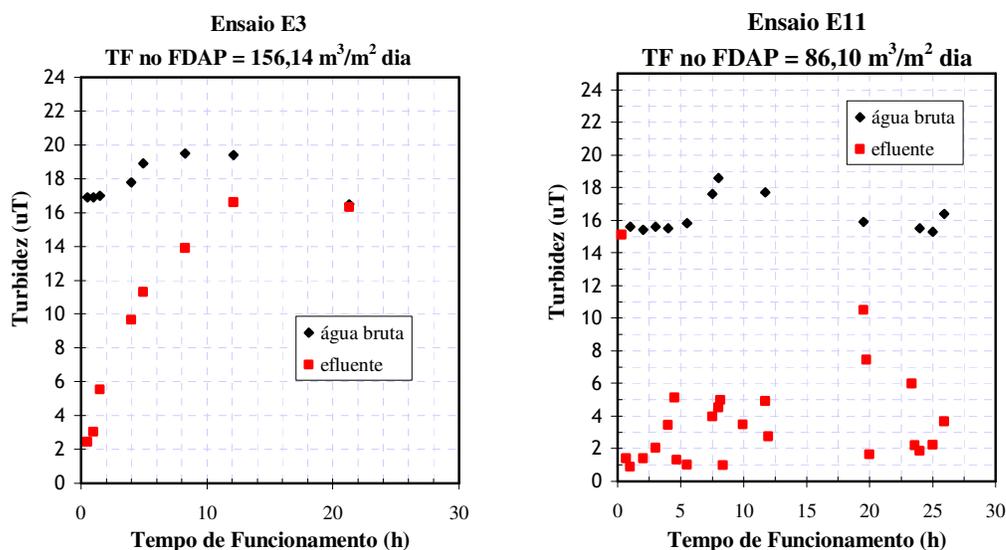
Nas análises dos resultados da investigação realizada no filtro **FDAP**, na Fase 2, foram avaliadas os seguintes parâmetros e procedimentos operacionais: taxa de filtração, descarga de fundo intermediária, perda de carga no meio granular, remoção de Turbidez e Cor aparente e lavagem do meio granular.

### **a) Taxa de Filtração**

Avaliando o desempenho do filtro **FDAP** em todos os ensaios realizados na Fase 2, conclui-se que a taxa de filtração exerce um papel fundamental nos resultados encontrados. Os ensaios realizados com as taxas de 195, 156 e 110 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia não alcançaram resultados satisfatórios. Nesses ensaios o efluente produzido pelo filtro **FDAP** possuía elevada turbidez, podendo ser observado o contínuo carreamento de impurezas. Somente para taxas de filtração iguais ou inferiores a 86 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia foi observada uma boa retenção de impurezas nessa unidade e valores baixos de turbidez no efluente.

A influência da taxa de filtração no desempenho do filtro **FDAP** também pode ser notada avaliando-se os ensaios **E3** e **E11**.

Apesar dos valores próximos da turbidez da água bruta, da dosagem aplicada e da concentração da solução estoque (**Tabela 17**), foi observado que com a taxa de filtração de  $156 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , a turbidez do efluente alcançou valores em torno de 5 uT (5,53 uT) após 1,5 h de funcionamento, no ensaio **E3**. No entanto, quando a taxa de filtração foi reduzida para  $86 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , no ensaio **E11**, a turbidez do efluente alcançou valores próximos de 5 uT (5,12 uT) após período maior de funcionamento (4,5 h) (**Fig. B6 e E28**). Observou que com a diminuição da taxa de filtração de  $156,14 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  para  $86,10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , nos ensaios **E3** e **E11**, respectivamente, ocorreu melhoria na qualidade do efluente do filtro **FDAP** e aumento na duração da carreira de filtração (**Tabelas B6, B7, B25 e B26**), assim é possível concluir que quanto menor a taxa de filtração, mais longa resulta a duração da carreira de filtração e menor a turbidez do efluente.



**FIGURA B6 e B28 – Ensaio E3 e E11 – Turbidez da água bruta e do efluente do FDAP.**

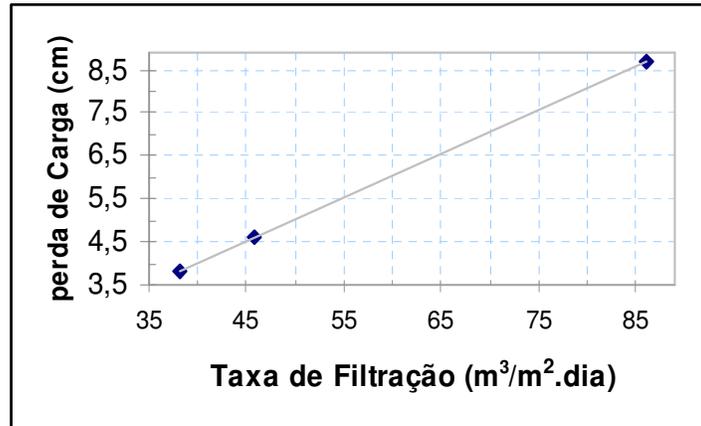
**TABELA 17– Características dos ensaios E3 e E11.**

Ensaio Efetivo	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ )	Dosagem (mg SA /L)	Concentração Solução Estoque (mg/L)
<b>E3</b>	16 a 20	156,14	25,76	15.000
<b>E11</b>	15 a 19	86,10	23,32	15.000

Observando-se os ensaios **E10**, **E12** e **E13** foi possível verificar que o valor da perda de carga total, no meio granular, alcançado em cada ensaio, após tempo de 5h de operação do filtro **FDAP**, diminuiu conforme diminuía linearmente a taxa de filtração aplicada ( **Tabela 18** e **Figura 18**). Nas **Figuras B26**, **B33** e **B36** estão representadas graficamente as perdas de carga no meio granular nos ensaios **E10**, **E12** e **E13**.

**TABELA 18** – Perda de carga Total e Taxa de Filtração dos Ensaios **E10**, **E12** e **E13**.

Ensaio Efetivos	Perda de Carga Total (cm)	Taxa de Filtração ( $m^3/m^2.dia$ )
<b>E10</b>	8,7	86,10
<b>E12</b>	4,6	45,71
<b>E13</b>	3,8	38,12



**FIGURA 18** - Perda de carga Total e Taxa de Filtração dos Ensaios **E10**, **E12** e **E13**.

Esse fato foi observado também quando comparados os ensaios **E9** e **E10**. Diante da semelhança das características desses dois ensaios, mostradas na **Tabela 19**, observa-se que para ser alcançada a perda de carga total no meio granular de 7,9 cm, foi necessário tempo de operação de 8,33 h no ensaio **E9** e apenas 4,33 h. no ensaio **E10**. Observa-se que o aumento da taxa de filtração foi responsável pela diminuição do tempo de operação necessário para que fosse atingida uma mesma perda de carga total no meio granular.

**TABELA 19 – Características dos Ensaios E9 e E10.**

Ensaios Efetivos	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Dosagem (mg SA /L)	Concentração (mg/L)	Perda de carga (cm)	Tempo de Funcionamento (h)
*E9	19 a 20	74,84	22,95	15.000	7,9	8,33
E10	15 a 17	86,10	23,32	15.000	7,9	4,33

\* O valor da perda de carga é anterior a execução da **DFI**.

Outra análise pode ser feita a partir dos resultados dos ensaios **E1**, **E3**, **E10**, **E12** e **E13**, realizados sem a execução de **DFI**. Avaliando-se o tempo de funcionamento necessário para que a turbidez do efluente atingisse valores próximos de 5uT, desconsiderando os períodos de maturação do filtro, foi possível verificar que quanto menor era a taxa de filtração aplicada, maior era o tempo de funcionamento com turbidez inferior ao valor desejado (5 uT) (**Tabela 20**).

**TABELA 20 – Ensaios sem DFI**

Ensaios Efetivos	Tempo de Funcionamento (h)	Taxa de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . dia)
*E1	-	195,25
E3	1 a 1,5	156,14
E8	7,63	74,84
E10	4,67	86,10
**E12	7	45,71
***E13	13 a 22	38,12

\*turbidez do efluente foi superior a 5 uT desde o início do ensaio (**Tabela B2**).

\*\*carreira de filtração poderia ter sido maior que 7 h, já que a turbidez do efluente nesse tempo era de 4,05 uT (**Tabela B29**)

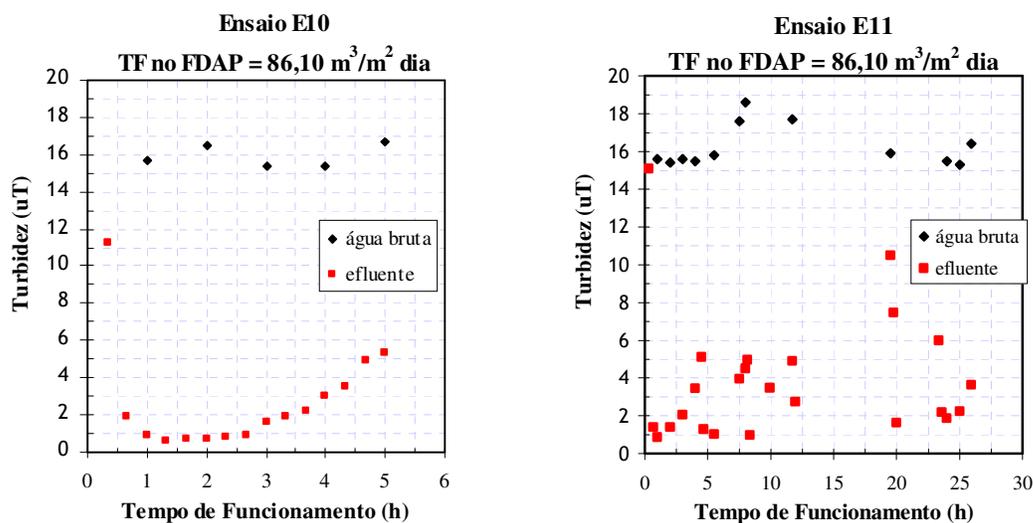
\*\*\*coletas realizadas após 13 e 22 h de operação, sendo a turbidez do efluente de 2,40 e 8,25 uT respectivamente (**Tabela B31**).

#### b) Ensaios com Descarga de Fundo Intermediária – DFI

Foram realizadas **DFI** nos ensaios: **E2**, **E4**, **E5**, **E6**, **E7**, **E9** e **E11**. Avaliando-se todos esses ensaios foi possível constatar diminuição nos valores de perda de carga no meio granular e de turbidez do efluente após a execução das **DFI**. Comparando, em particular, os ensaios **E10** e **E11**, possuidores de características semelhantes (turbidez da água bruta, taxa de filtração, dosagem e concentração da solução estoque), conforme pode ser observado no **Tabela 21**, foram obtidos resultados que indicam que a execução de **DFI** durante o período de operação, aumentou a duração da carreira de filtração, aparentemente devido à recuperação da capacidade de retenção de impurezas no meio granular. Dessa forma, a realização de **DFI** possibilita o controle da turbidez do efluente mantendo-a em valores abaixo de 5 uT (**Figuras B25 e B28**).

**TABELA 21** – Características dos Ensaio **E10** e **E11**.

Ensaio Efeitos	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Dosagem (mg SA /L)	Concentração (mg/L)	Perda de carga (cm)	Duração da Carreira (h)	Nº de DFI
E10	15 a 17	86,10	23,32	15.000	8,3	4,67	-
E11	15 a 19	86,10	23,32	15.000	7,5	25,93	5



**FIGURA B25 e B28** – Ensaio **E10** e **E11** – Turbidez da água bruta e efluente do **FDAP**.

Avaliando esses mesmos ensaios **E2**, **E4**, **E6**, **E7**, **E9** e **E11** (Tabelas 22 a 27) observa-se que a perda de carga total depois da execução da **DFI** (**pd**) foi sempre superior à perda de carga total inicial (**pi**), a qual corresponde à perda de carga total registrada quando o meio granular está limpo. Esse fato sugere que as **DFI** não são capazes de eliminar todas as impurezas retidas durante o período de funcionamento até a execução de cada **DFI**, deixando resíduos de impurezas responsáveis pela perda de carga no meio granular ( $\Delta = pd - pi$ ). De acordo com **CEZAR (2000)** “o procedimento de limpeza por meio de descargas de fundo, convencionalmente utilizado para unidades de pré-filtração em pedregulho (com adição prévia de coagulante), resultou em uma contínua acumulação de material nos interstícios do meio poroso e sucessivas elevações da perda de carga”. Apesar da remoção parcial de impurezas em cada **DFI**, foi observada uma redução significativa da perda de carga total, uma vez que essa redução foi de 39 a 76 % da perda de carga total registrada antes da execução das **DFI**.

**TABELA 22 – Características do E2**

Nº de DFI do E2	Perda de carga (cm)			
	Antes da DFI (pa)	Depois da DFI (pd)	Inicial (pi)	$\Delta$ (pd – pi)
1º	14,5	8,8	5,9	2,9
2º	26,9	9,7	5,9	3,8
3º	31,1	10,1	5,9	4,2

**TABELA 23 – Características do E4**

Nº de DFI do E4	Perda de carga (cm)			
	Antes da DFI (pa)	Depois da DFI (pd)	Inicial (pi)	$\Delta$ (pd – pi)
*1º	8,5	5,0	3,9	1,1
2º	12,0	3,8	3,9	- 0,1
3º	12,2	4,1	3,9	0,2

\* intervalo entre a medição nos piezômetros foi de 1 hora.

**TABELA 24 – Características do E6**

Nº de DFI do E6	Perda de Carga (cm)			
	Antes da DFI (pa)	Depois da DFI (pd)	Inicial (pi)	$\Delta$ (pd – pi)
1º	16,4	5,5	4,8	0,7
2º	16,4	6,7	4,8	1,9

**TABELA 25 – Características do E7**

Nº de DFI do E7	Perda de Carga (cm)			
	Antes da DFI (pa)	Depois da DFI (pd)	Inicial (pi)	$\Delta$ (pd – pi)
1º	25,4	6,7	4,2	2,5

**TABELA 26 – Características do E9**

Nº de DFI do E9	Perda de Carga (cm)			
	Antes da DFI (pa)	Depois da DFI (pd)	Inicial (pi)	$\Delta$ (pd – pi)
*1º	5,4	-	-	-
2º	7,9	2,6	2,0	0,6
3º	7,1	2,5	2,0	0,5
4º	7,0	2,5	2,0	0,5
5º	7,8	2,6	2,0	0,6

\* turbidez medida aos 0,33 h de operação.

**TABELA 27 – Características do E11**

Nº de DFI do E11	Perda de Carga (cm)			
	Antes da DFI (pa)	Depois da DFI (pd)	Inicial (pi)	$\Delta$ (pd – pi)
1º	8,2	3,2	2,7	0,5
2º	8,1	2,8	2,7	0,1
3º	8,5	3,0	2,7	0,3
4º	13,3	3,2	2,7	0,5
5º	8,5	3,7	2,7	1,0
6º	8,3	3,6	2,7	0,9

O ensaio **E5** não foi incluído nessa análise porque foi considerada como perda de carga inicial no meio granular aquela ocorrida até 0,5 h após o início da operação do filtro **FDAP**; e nesse ensaio a primeira medição foi realizada após 1 h de funcionamento.

O ensaio **E7** não apresentou bons resultados, por isso a coleta de amostra para análises físico-químicas foi encerrada quando atingisse 2,63 h de operação, prosseguindo o funcionamento do filtro **FDAP** até 5,93 h de operação, com a realização de uma descarga de fundo para simples avaliação da variação de turbidez do efluente após a sua realização.

Foram observados que os valores dos picos de turbidez após as **DFI** apresentaram menores valores nos ensaios com baixa taxa de filtração, provavelmente devido a menor formação de flocos no interior do leito. Em geral foi constatado que: quanto maior foi a taxa de filtração aplicada, mais elevados foram os picos de turbidez, independentemente do valor de turbidez da água bruta.

Avaliando-se os ensaios **E9** e **E11** pode-se verificar que a taxa de filtração aplicada no ensaio **E9** foi menor do que a aplicada no ensaio **E11** ( $75 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e  $86 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  respectivamente) e que as **DFIs** foram realizadas com intervalo médio de 6 horas e 4 horas nos ensaios **E11** e **E9** respectivamente. Apesar do ensaio **E9** parecer mais indicado que o ensaio **E11**, devido a menor quantidade de **DFIs** realizadas, foi constatado que a produção total de água do ensaio **E9** após 24 horas de funcionamento foi de  $17,31 \text{ m}^3$  e do ensaio **E11** foi  $19,64 \text{ m}^3$ , sendo assim o ensaio **E11** é o mais indicado entre os dois.

### c) Perda de Carga no Meio Granular

Analisando-se a perda de carga por subcamada do meio granular do filtro **FDAP** em todos os ensaios da Fase 2, como pode ser visto nas **Tabelas 28** e **29**, observa-se que, para todos os ensaios, independentemente da realização ou não de **DFI**, a perda de carga no meio granular foi maior nas duas subcamadas: **p4 – p5** (tamanho dos grãos 4,8 a 9,5 mm) e **p5 – p6** (tamanho dos grãos 2,4 a 4,8 mm), que juntas foram responsáveis por 88,89 a 99,99 % da perda de carga total no meio granular.

Para os ensaios realizados sem a execução de **DFI**, percebe-se que quando a taxa de filtração foi superior a  $86 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , a subcamada **p5 – p6** (tamanho dos grãos 2,4 a 4,8 mm) registrou maior perda de carga que a subcamada **p4 – p5** (tamanho dos grãos 4,8 a 9,5 mm). Ocorreu o inverso quando a taxa de filtração aplicada foi menor ou igual a  $86 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ . Esses dados sugerem que o mecanismo de arraste pode ter sido intensificado pelo aumento da taxa de filtração, carreando as impurezas da subcamada inferior para a superior.

Para os ensaios realizados com a execução de **DFI**, não foi possível a identificação de quaisquer tendências na distribuição da perda de carga nas subcamadas em função da alteração da taxa de filtração, mas os dados sugerem que as **DFI** foram capazes de limpar a camada suporte, **p1 – p2** (tamanho dos grãos 38 a 50 mm), onde foi registrada perda de carga nula.

**TABELA 28:** Percentual da Perda de Carga Final por subcamada registrada nos ensaios sem **DFI**.

Ensaio Efetivos	Taxa de Filtração ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ )	p1-p2 (%)	p2-p3 (%)	p3-p4 (%)	p4-p5 (%)	p5-p6 (%)
E1	195,25	0,00	0,00	5,61	34,34	59,81
E3	156,14	1,60	0,32	3,83	38,02	55,91
E8	74,84	0,00	6,70	0,00	56,18	37,08
E10	86,10	4,60	0,00	5,75	62,07	28,74
E12	45,71	3,03	3,03	3,03	57,58	31,82
E13	38,12	5,47	0,00	4,69	64,06	25,00

**TABELA 29:** Percentual da Perda de Carga Final por subcamada registrada nos ensaios com **DFI**.

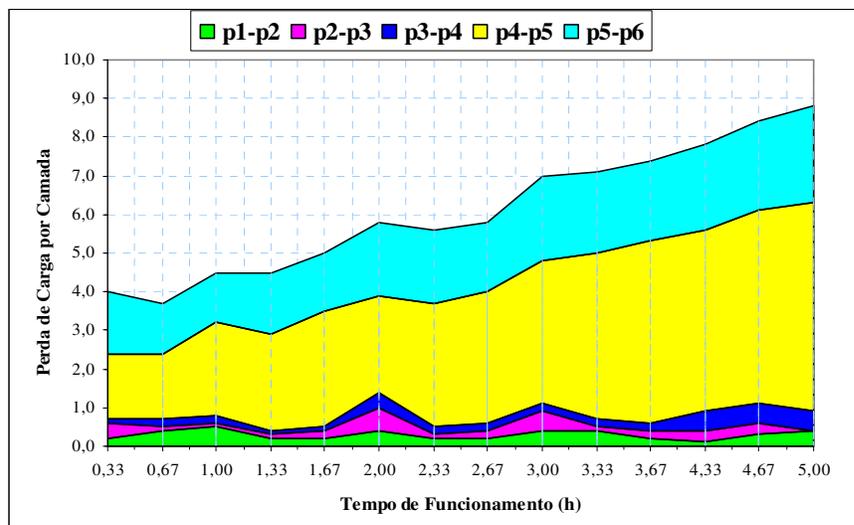
Ensaio Efetivos	Taxa de Filtração ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ )	p1-p2 (%)	p2-p3 (%)	p3-p4 (%)	p4-p5 (%)	p5-p6 (%)
E2	195,25	0,00	0,00	3,04	39,49	57,47
E4	156,14	0,00	0,00	0,00	54,79	45,20
E5	156,14	0,00	0,00	8,27	37,41	53,79
E6	110,51	0,00	1,50	0,00	62,69	34,33
E7	110,51	0,00	2,24	2,24	45,52	49,25
E9	74,84	0,00	7,41	3,70	48,15	40,74
E11	86,10	0,00	0,00	11,11	44,44	47,22

A camada suporte **p1 – p2** (tamanho dos grãos 31,0 a 50,0 mm) mesmo não tendo registrado acumulação significativa de impurezas, desempenhou importante papel. Provavelmente propiciou o aumento do tamanho dos flocos e posterior aprisionamento dos mesmos nas camadas subsequentes do meio granular.

**KURODA (2002)** em pesquisa utilizando a tecnologia da dupla filtração (**FAP + FDA**), constatou que a distribuição da perda de carga nas camadas do meio granular do filtro **FAP** foi similar nos ensaios realizados durante a sua pesquisa, independentemente das taxas de filtração empregadas e da execução ou não de **DFI**. As camadas 4 e 3 do filtro **FAP** (tamanho dos grãos 25,4 a 19,0mm e 15,9 a 9,6mm) foram responsáveis por apenas 2,6 a 7,8% da perda de carga total, a camada 2 (tamanho dos grãos 6,4 a 3,2 mm) por 27,9 a 38,1 % e a camada 1 (tamanho dos grãos 2,4 a 1,41 mm) por cerca de 58,9 a 76,8% da perda de carga total.

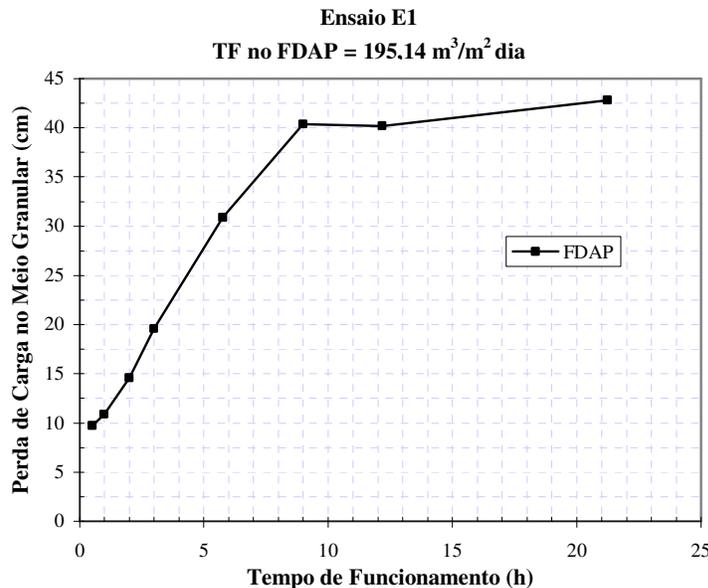
Analisando-se os ensaios realizados no filtro **FAP (KURODA, 2002)** foi possível verificar que: os ensaios **I, VI e IX**, realizados com taxa de filtração de 60, 180 e 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, respectivamente, nos quais não foram executados **DFI**, a distribuição da perda de carga no meio filtrante foi maior na camada 4 que na camada 3. Nos ensaios **X, XI e XII**, realizados com taxa de filtração de 180, 240 e 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia respectivamente (com a execução de **DFI**) não foi possível verificar a mesma regularidade.

Avaliando-se os resultados de todos os ensaios efetivos realizados no **FDAP** concluí-se que a perda de carga no meio granular foi concentrada nas subcamadas **p4 – p5** (tamanho dos grãos 4,8 a 9,5 mm) e **p5- p6** (tamanho dos grãos 2,4 a 4,8 mm) que correspondem as subcamadas superiores do meio granular onde os grãos possuíam menores tamanhos. Essas duas subcamadas, juntas, acumularam mais de 85% da perda de carga registrada no final da carreira de filtração independentemente da realização ou não de **DFI**, conforme a **Fig. B27**, referente ao ensaio **E10**.



**FIGURA B27 – Ensaio E10 – Perda de Carga nas subcamadas do meio Granular.**

Analisando-se a perda de carga no meio granular da unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**) foi possível concluir que durante o tempo de funcionamento, a perda de carga apresentou crescimento retardado, e que o maior valor registrado foi de 42,8 cm (a 20°C) após 21,3 h de operação sem descargas de fundo intermediárias, sob taxa de filtração de 196 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, conforme pode ser observado na **Fig. B2** , referente ao ensaio **E1**.



**FIGURA B2 – Ensaio E1 – Perda de Carga no meio Granular do Filtro **FDAP** (a 20°C).**

#### **d) Remoção de Turbidez e Cor Aparente**

No **TABELA 30** são apresentados os resultados dos ensaios **E1** a **E13** desconsiderando os períodos de maturação do filtro os períodos correspondentes aos picos de turbidez decorre do desprendimento de flocos que ocorre após a realização da **DFI**, pois nesses dois períodos os valores de cor aparente e turbidez foram mais elevados. Foi verificado que a turbidez e a cor aparente da água bruta variaram de 15,30 a 28,60 uT e de 80 a 180 uC e o efluente do **FDAP** apresentou valores de turbidez próximos de 5 uT e de cor aparente entre 10 e 35 uC.

**TABELA 30:** Remoção de Turbidez e Cor Aparente nos ensaios **E1** a **E13**.

Ensaio Efetivos	Taxa de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Carreira de filtração (h)	Nº de DFI	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)	
				Água Bruta	Efluente do FDAP	Água Bruta	Efluente do FDAP
<b>E1</b>	195,25	21,25	-	18,30 a 28,50	9,81 a 32,70**	160 a 200	80 a 200**
<b>E2</b>	195,25	25,25	3	15,20 a 17,60	3,53 a 47,50*	80 a 200	20 a 320*
<b>E3</b>	156,14	25,00	-	16,50 a 19,50	2,44 a 16,60**	80 a 100	20 a 100**
<b>E4</b>	156,14	24,25	3	13,50 a 17,80	1,81 a 16,20	70 a 160	15 a 80
<b>E5</b>	156,14	9,83	4	22,70 a 23,40	5,06 a 12,80	-	-
<b>E6</b>	110,51	9,22	2	49,20 a 50,40	6,02 a 28,40*	140 a 260	25 a 80*
<b>E7</b>	110,51	5,98	1	47,10 a 48,70	6,73 a 32,50	220 a 250	20 a 160
<b>E8</b>	74,84	19,00	-	28,00 a 28,60	0,96 a 19,80**	80 a 180	10 a 100**
<b>E9</b>	74,84	32,58	6	19,30 a 20,10	1,19 a 4,86	100 a 160	15 a 30
<b>E10</b>	86,10	5,00	-	15,40 a 16,70	0,64 a 5,29	80 a 120	15 a 25
<b>E11</b>	86,10	26,45	6	15,30 a 18,60	0,87 a 10,50*	80 a 100	15 a 50*
<b>E12</b>	45,71	7,00	-	22,90 a 24,90	1,04 a 4,05	80 a 130	12 a 20
<b>E13</b>	38,12	13 a 22	-	19,60 a 20,20	0,62 a 8,25**	90 a 110	10 a 35**

\*DFI não foi executada no momento adequado

\*\*carreira de filtração deveria ter sido encerrada antes que a turbidez do efluente atingisse 5 uT

Verifica-se que os resultados apresentados nos ensaios **E1** a **E5**, onde a turbidez da água bruta variou de 13 a 29 uT, os valores de turbidez do efluente atingiram valores superiores a 5 uT antes de 2 horas de funcionamento. E para os ensaios **E6** e **E7**, onde a turbidez da água bruta variou de 47 a 51 uT a turbidez do efluente atingiu valores maiores de 5 uT antes mesmo de 1 hora de funcionamento do filtro **FDAP**. O baixo desempenho do filtro **FDAP** nesses ensaios (**E1** a **E7**) foi causado pela elevada taxa de filtração com a qual o filtro **FDAP** foi operado (195,25 a 110,51 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia). Conclui-se então que, para os ensaios da Fase 2, quando a turbidez da água bruta variou de 15 a 29 uT, o filtro **FDAP** deve ser operado com taxa de filtração menores ou iguais a 86 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia, com a execução de **DFI**, para que a unidade possa ser utilizada como pré-tratamento no sistema de dupla filtração.

Com a adequação da taxa de filtração foi possível reduzir significativamente a turbidez do efluente, mantendo-a em torno de 5 uT, no entanto a redução nos valores de cor aparente não foram satisfatórios, já que a cor aparente do efluente variou dentro do intervalo de 10 a 35 uC.

Durante a investigação os valores de pH de coagulação registrados durante os ensaios efetivos estiveram compreendidos, na maior parte do tempo de operação, entre 6,0 e 6,9. Esse fato sugere que a faixa de pH de coagulação dos ensaios esteve além do indicado (4,8 a 5,1) e que o mecanismo que atuou na durante a filtração não foi eficiente o suficiente para a remoção da cor.

De acordo com **EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985)**, a remoção de cor associada a presença de ácidos húmicos parece ocorrer devido a dois principais mecanismos. Esses mecanismos apresentam algumas semelhanças com aqueles responsáveis pela remoção de turbidez e dependem das condições de pH. Na faixa de 6 a 8, onde ocorrem condições propícias à rápida formação do precipitado de hidróxido de alumínio ( $\text{Al(OH)}_{3(s)}$ ), a coagulação do ácido húmico decorre de sua adsorção a esse precipitado. Na faixa de pH de 4 a 5,5, pode-se admitir que o ácido húmico é precipitado, na forma de humato de alumínio, por um mecanismo de neutralização de carga causado por espécies hidrolizadas de Alumínio (solúveis ou em fase sólida incipiente).

As moléculas responsáveis pela cor tornam-se mais estáveis com o aumento do pH, em decorrência da dissociação de grupos funcionais, aumentando a magnitude das cargas negativas. **WIECHETECK (2003)**, estudando a remoção de substâncias húmicas pela dupla filtração, constatou que o pH de coagulação mais apropriado situava-se na faixa de 4,8 a 5,1.

#### **e) Lavagem do Meio Granular**

Durante os ensaios **E1** e **E2** foram quantificadas as velocidades de escoamento durante a lavagem que ficaram entre 1736 e 1864  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , para o ensaio **E1** e entre 1671 e 1691  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , no ensaio **E2**. Os valores encontrados estão na faixa recomendada por **WEGELIN (1986)** que é de 1440 a 2160  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ . Nesses dois ensaios também foram realizadas sucessivas descargas de fundo para verificação da sua eficiência na remoção de impurezas na lavagem. A eficiência foi avaliada por meio da medição da turbidez do efluente em cada descarga. Foi determinado que no ensaio **E1** a turbidez foi reduzida de 241 uT na 2ª **DF**, para 62,3 uT na 5ª **DF**, conforme a **Fig. B39**. No ensaio **E2** a redução foi de 575 uT na 1ª **DF** para 63,7 uT na 5ª **DF** (**Fig. B41**). Sendo assim, conclui-se que cinco descargas de fundo sucessivas foram eficientes para a lavagem do meio granular. No ensaio **E3** a remoção de partículas acumuladas no topo do meio granular foi realizada por sifonagem (conforme descrição do item 4.4 do capítulo 4), no entanto a dificuldade de operação, o longo período para sua realização e a baixa eficiência na remoção das impurezas tornaram a metodologia insatisfatória.

O “amadurecimento” do filtro resulta da interação entre a etapa de lavagem e o início da filtração. Por meio dos ensaios **E9** e **E13** verifica-se que o período de “amadurecimento” aumenta com a diminuição da taxa de filtração. Nesses ensaios, a diminuição dos valores de turbidez do efluente ocorreram durante um período de 4 horas no ensaio **E9**, onde a taxa de filtração era de 74,84 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, e de 7 horas no ensaio **E13**, onde a taxa de filtração era de 38,12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. Essa verificação ratifica a colocação feita por **IVES (1975)** sobre a influência positiva do auxílio das partículas anteriormente capturadas sobre a retenção das novas partículas. Assim tem-se a intensificação do mecanismo de aderência no processo de filtração.

Analisando os ensaios especiais **EE1** e **EE2** procurou-se observar o “amadurecimento” do filtro, pode-se verificar que a carreira de filtração foi encerrada devido ao valor da turbidez do efluente ter atingido 5 uT, nesse caso houve a ocorrência do transpasse. O encerramento da carreira de filtração também poderia ter ocorrido devido à indisponibilidade de perda de carga no meio granular. Verificando as **Fig. B46 a B50**, onde a turbidez e a perda de carga do efluente são apresentados, foi possível identificar as três etapas desenvolvidas durante o processo de filtração que segundo **DI BERNARDO (1993)**<sup>(\*)</sup> são definidos por etapa: inicial, intermediária e do transpasse.

#### **e) Ensaio de Coagulação e Filtração (ECF)**

Através do ensaio **ECF 4**, realizado na Fase 1 foi possível encontrar um valor próximo da dosagem indicada para os ensaios efetivos da Fase 2.

Os ensaios (**ECF**) realizados na Fase 2 foram: **ECF 5**, cuja dosagem resultante foi aplicada nos ensaios **E2** a **E5**; **ECF 6**, cujo resultado foi aplicado nos ensaios **E6** e **E7**; **ECF 7**, cujo resultado foi aplicado no ensaio **E8**; **ECF 8**, cuja resultante foi aplicada nos ensaios **E9** a **E11** e **ECF 9**, cujo o resultado de dosagem foi aplicado nos ensaios **E12** e **E13**.

<sup>(\*)</sup> **DI BERNARDO, L. (1993)**. Métodos e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro. **ABES**, v.2, p. 30.

Os resultados dos ensaios **E5** a **E9** mostraram não haver relação linear entre valores de turbidez da água bruta e o valor da dosagem de coagulante aplicada. Conforme a **Tabela 31** é possível verificar que para valores de turbidez da água bruta variando de 15 a 29 uT, a dosagem utilizada no ensaio efetivo varia, entre 21,83 a 23,32 mg SA/L.

	<b>Turbidez da Água Bruta (uT)</b>	<b>Dosagem indicada no FLA (mg SA/L)</b>
<b>E8</b>	28 e 29	21,83
<b>E10</b>	15 a 17	23,32
<b>E11</b>	15 a 19	23,32
<b>E9</b>	19 e 20	22,95

Analisando-se os ensaios de coagulação **ECF 6** e **ECF 7** (**Fig. B12** e **B17**), que foram realizados para determinação das dosagens a serem empregadas nos ensaios **E6**, **E7** e **E8**, observa-se os valores de dosagem acusam excesso, que provavelmente pode ter provocado a ocorrência da reversão de carga sofrida pelo efluente. A reversão de carga é a reestabilização da solução coloidal.

O uso do **FLA** na determinação da dosagem mostrou-se prático e eficiente, permitindo rápidos ajustes na dosagem do coagulante sempre que ocorriam variações nos valores de turbidez da água bruta, demonstrando sua eficiência e praticidade.

## Capítulo 6

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

### 1 – CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios de filtração realizados permitem as seguintes conclusões, válidas apenas para as condições em que os ensaios foram realizados:

1 – os ensaios de coagulação e filtração (**ECF**) realizados com o Filtro de Laboratório de Areia (**FLA**) mostraram-se apropriados para a determinação das dosagens do coagulante, permitindo indicação precisa da dosagem apropriada;

2 – as descargas de fundo intermediárias (**DFI**) mostraram-se eficazes na redução da perda de carga decorrente do acúmulo de impurezas no meio granular e na redução da turbidez do efluente da unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**);

3 – a unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**), operando com taxas de filtração de 196, 156 e 111 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, não foi capaz de produzir continuamente efluente com turbidez inferior a 5 uT, mesmo com a execução de descargas de fundo intermediárias (**DFI**) a cada 2,3 horas de funcionamento;

4 – a unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**), operando com taxas de filtração de 86 e 75 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, sem a execução de descargas de fundo intermediárias (**DFI**), só foi capaz de produzir continuamente efluente com turbidez inferior a 5 uT, durante 5 horas e 7,5 horas, respectivamente;

5 – a unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**), operando com taxas de filtração de 86 e 75 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, foi capaz de produzir continuamente efluente com turbidez inferior a 5 uT, durante período de 26 e 33 horas, desde que executadas descargas de fundo intermediária (**DFI**), com frequências entre 3,5 e 6 horas de funcionamento. Sendo que a taxa de filtração de 86 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia foi considerada a mais indicada devido a maior produção efetiva de água filtrada;

- 6 - nos ensaios em que foram aplicadas taxas de filtração de 196, 156 e 111 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, a unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**) atuou predominantemente como unidade de floculação em meio granular;
- 7 - a perda de carga no meio granular da unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**) apresentou crescimento retardado ao longo do tempo de funcionamento. O maior valor de perda de carga no meio granular (42,8 cm, a 20°C) foi atingido após 21,3 h de operação sem descargas de fundo intermediárias, sob taxa de filtração de 196 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia;
- 8 - a realização de descargas de fundo intermediária (**DFI**) durante a carreira de filtração proporcionou remoção parcial de impurezas acumuladas no meio granular. Foi observada uma redução significativa da perda de carga total, uma vez que essa redução foi de 39 a 76 % da perda de carga total registrada antes da execução das **DFI**;
- 9 - a perda de carga no meio granular foi concentrada nas subcamadas **p4 – p5** (tamanho dos grãos 4,8 a 9,5 mm) e **p5- p6** (tamanho dos grãos 2,4 a 4,8 mm) que correspondem às subcamadas superiores do meio granular. Essas subcamadas, juntas, acumularam mais de 85% da perda de carga registrada no final da carreira de filtração independentemente da realização ou não de **DFI**;
- 10 - a camada suporte **p1 – p2** (tamanho dos grãos 31,0 a 50,0 mm) mesmo não tendo registrado acumulação significativa de impurezas, desempenhou importante papel. Propiciando o aumento do tamanho dos flocos e posterior aprisionamento dos mesmos nas camadas subseqüentes do meio granular;
- 11 - foi verificado que a turbidez e a cor aparente da água bruta variaram de 15,30 a 28,60 uT e de 80 a 180 uC. E que o efluente apresentou valores de turbidez próximos de 5 uT e de cor aparente entre 10 e 35 uC quando o filtro **FDAP** foi operado com taxa de filtração menores ou iguais a 86 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia com a execução de **DFI**;
- 12 - a realização de cinco descargas de fundo sucessivas, para valores de velocidade de escoamento durante a lavagem entre 1671 e 1864 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, foram eficientes na lavagem do meio granular;
- 13 - foi verificado que para valores mais elevados de taxa de filtração ocorreram os maiores picos de turbidez, independentemente do valor de turbidez da água bruta.

## 2 – RECOMENDAÇÕES

Apesar da grande quantidade de informações obtidas na investigação experimental, algumas questões não foram satisfatoriamente esclarecidas ou resolvidas. Com o intuito de elucidá-las, novas investigações experimentais devem ser realizadas para que o quer as seguintes recomendações podem ser úteis:

1 – realizar investigações experimentais utilizando diferente disposição e tamanho dos grãos no meio granular do filtro **FDAP**, de forma que a perda de carga seja mais bem distribuída entre as subcamadas, uma vez que os ensaios realizados demonstraram que a distribuição das impurezas ao longo do meio granular não ocorreu de forma homogenia.

2 – desenvolver investigações experimentais para avaliar o desempenho de unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**), no tratamento de águas que apresentem valores elevados de turbidez, cor verdadeira, ferro e manganês totais;

3 – realizar Ensaios de Filtração e Coagulação (**ECF**) para aperfeiçoar ou substituir o Filtro de Laboratório de Areia (**FLA**) por outro tipo de operação mais simples, uma vez que foi observada grande dificuldade de utilização do Filtro de Laboratório de Areia (**FLA**), devido à necessidade de lavagem manual de seu meio filtrante (areia fina), após cada ensaio;

4 – aperfeiçoar os procedimentos adotados na execução das descargas de fundo intermediárias (**DFI**) durante as carreiras de filtração na unidade de filtração direta ascendente em pedregulho (filtro **FDAP**), de modo a evitar o intenso desprendimento de flocos da extremidade superior de seu meio granular, provocando picos de turbidez no efluente, imediatamente após a execução dessas descargas.

# **APÊNDICE A**

---

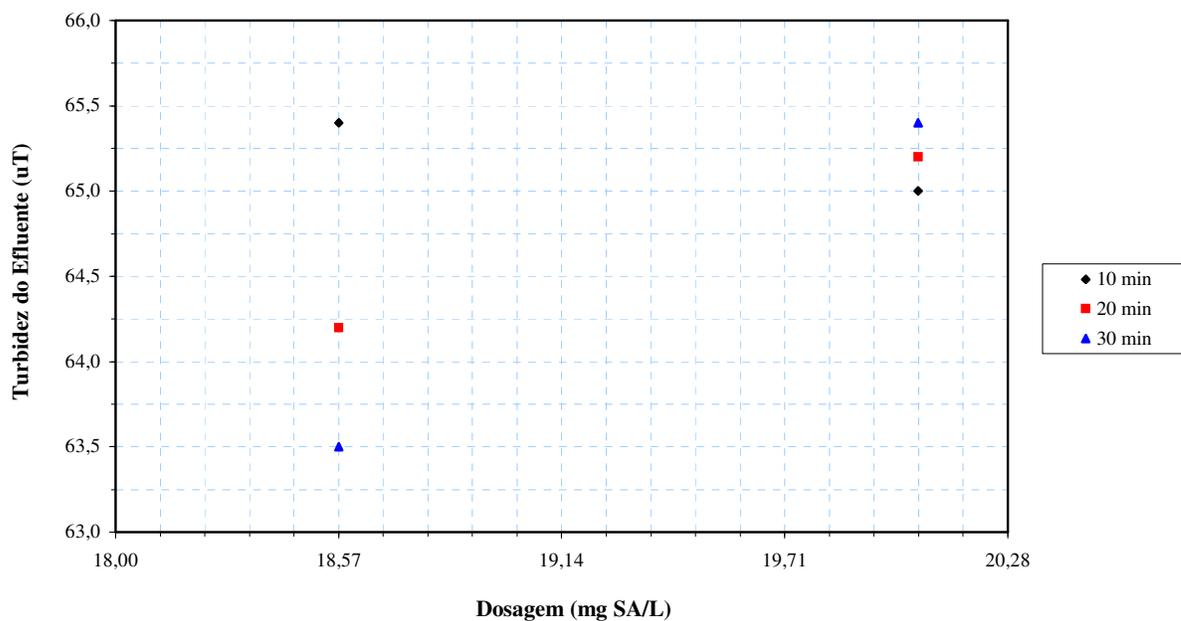
## **FASE 1 – ATIVIDADES PRELIMINARES**

**TABELA A1 - ECF 1 - Ensaio do FLA**

ECF 1	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA/ L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
	71,60	69,98	4.000	10,08	0,91	79,80		
	71,60	51,96 a 72,05	4.000	20,05	1,80	88,40	84,30	84,60
	71,60	42,96 a 58,20	8.000	20,15	1,81	90,00	88,40	87,50

**TABELA A2 - ECF 2 - Ensaio do FLA**

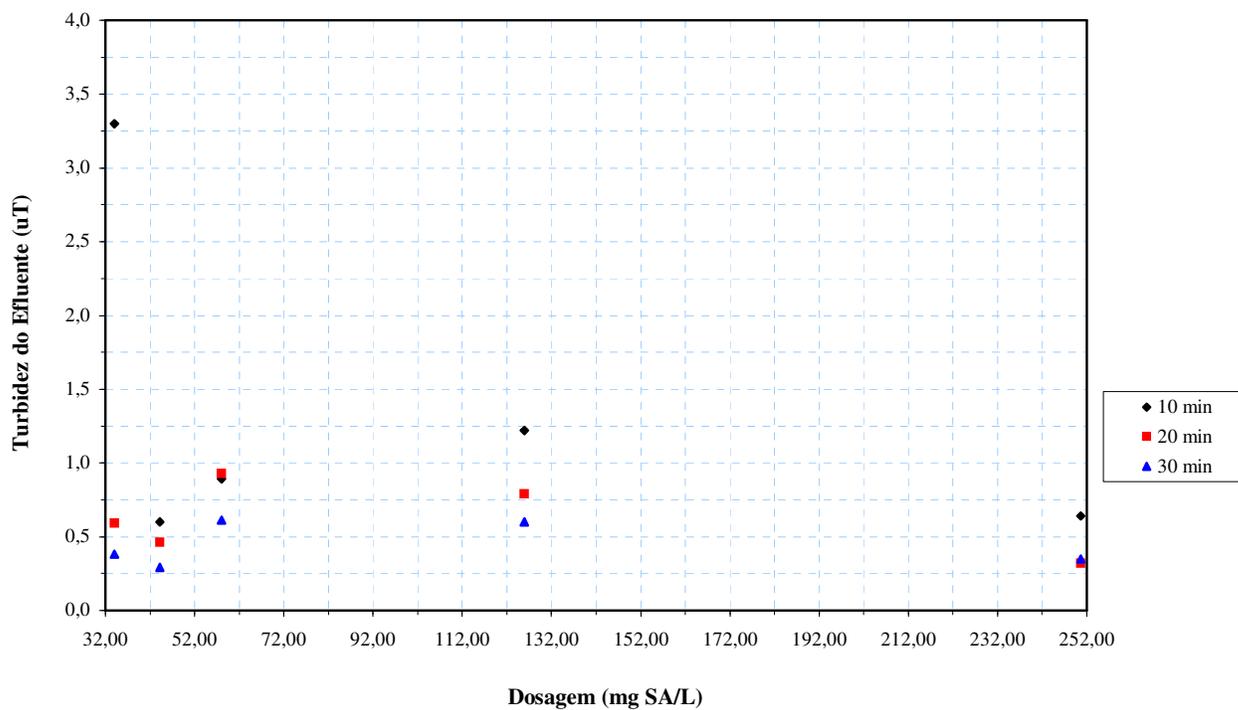
ECF 2	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA/ L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
	58,90	52,65 a 63,05	4.000	20,05	1,80	65,00	65,20	65,40
	58,90	49,88 a 65,82	4.000	18,57	1,67	65,40	64,20	63,50



**FIGURA A1 - ECF 2 - Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do FLA.**

**TABELA A3 - ECF 3 - Ensaio do FLA**

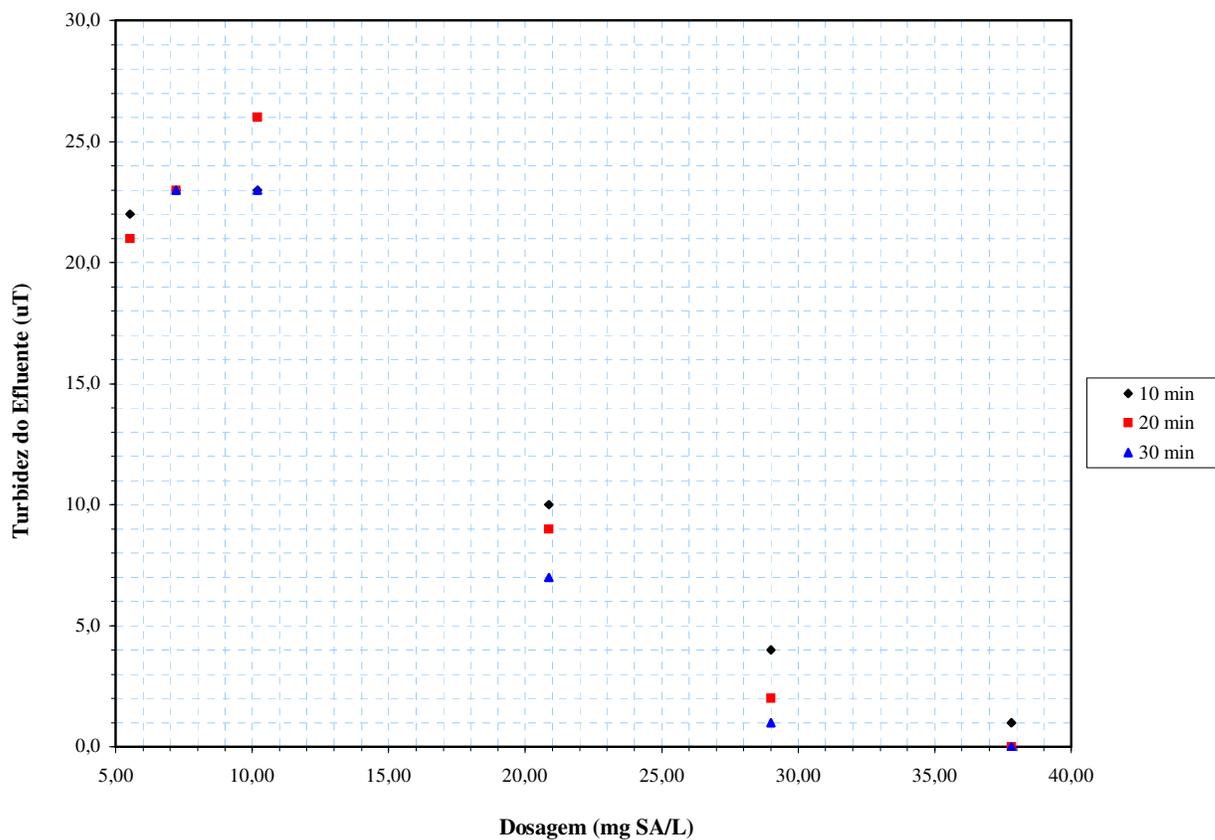
	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA / L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
ECF 3	26,20	40,70 a 50,20	50.000	34,00	3,06	3,30	0,59	0,38
	26,20	44,50 a 54,30	50.000	44,16	3,97	0,60	0,46	0,29
	26,20	51,40 a 60,30	50.000	58,01	5,22	0,89	0,93	0,61
	26,20	53,40 a 61,80	50.000	125,96	11,34	1,22	0,79	0,60
	26,20	42,70 a 67,30	50.000	250,61	22,55	0,64	0,32	0,35



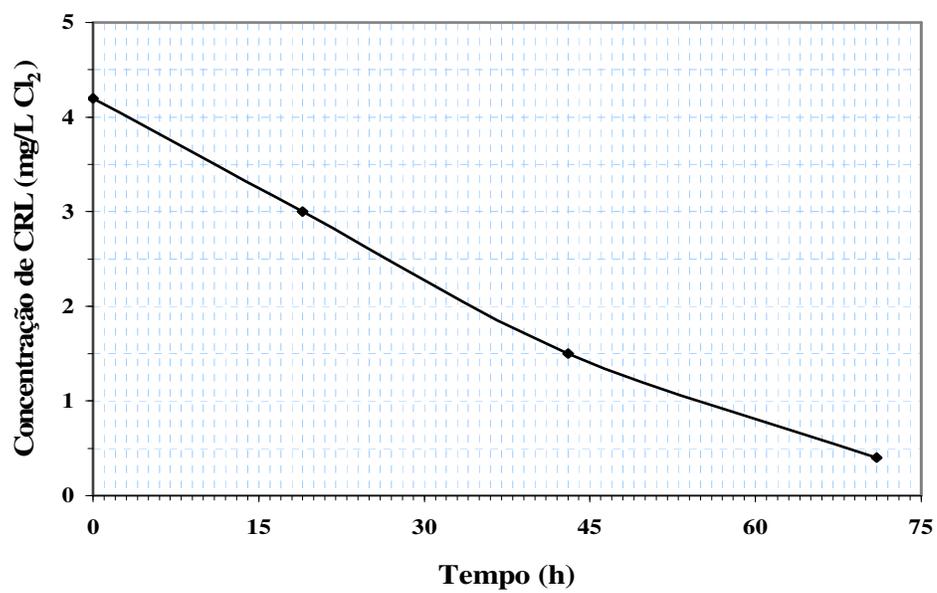
**FIGURA A2 - ECF 3 - Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do FLA.**

**TABELA A4 - ECF 4 - Ensaio do FLA**

	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA / L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
ECF 4	23,60	42,51 a 53,07	15.000	5,53	0,50	22,00	21,00	
	23,60	49,55 a 50,56	15.000	7,21	0,65	23,00	23,00	23,00
	23,60	49,23 a 61,33	15.000	10,20	0,92	23,00	26,00	23,00
	23,60	40,89 a 46,77	15.000	20,87	1,88	10,00	9,00	7,00
	28,50	57,12 a 77,94	15.000	29,00	2,61	4,00	2,00	1,00
	28,50	46,19 a 55,84	15.000	37,81	3,40	1,00	0,00	0,00



**FIGURA A3 – ECF 4 - Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do FLA**



**FIGURA A4** – Variação da Concentração de CLR ao longo do Período de Estocagem

**TABELA A5** – Comparação entre as Leituras de Turbidez nos Turbidímetros Hach 2100P e Hach 2100N, utilizando 29 amostras.

<b>Amostra</b>	<b>Turbidez (uT) Modelo Hach 2100N</b>	<b>Turbidez (uT) Modelo Hach 2100P</b>
01	736,00	>1.000,00
02	497,00	761,00
03	455,00	692,00
04	431,00	646,00
05	353,00	518,00
06	304,00	431,00
07	262,00	369,00
08	246,00	332,00
09	224,00	306,00
10	207,00	268,00
11	172,00	217,00
12	124,00	162,00
13	104,00	126,00
14	76,90	96,00
15	56,70	74,20
16	52,50	66,40
17	43,50	55,50
18	32,90	40,20
19	25,30	31,00
20	16,40	23,80
21	11,40	12,10
22	6,50	8,65
23	5,10	5,81
24	3,71	4,22
25	3,10	3,62
26	2,15	2,82
27	1,52	1,98
28	1,31	1,46
29	0,83	0,98

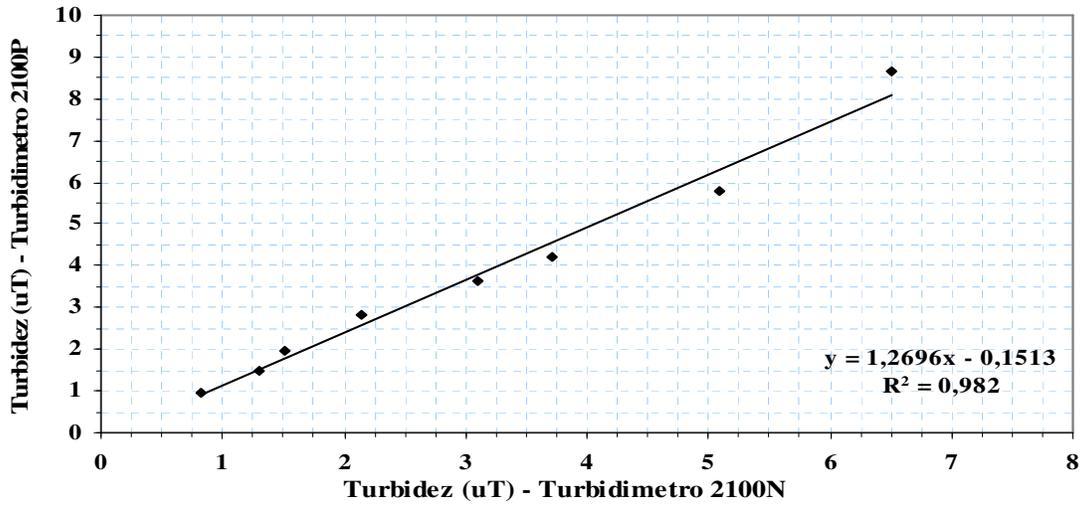


FIGURA A5 - Comparação entre Turbidímetro 2100P e 2100N - Intervalo de 0 a 10.

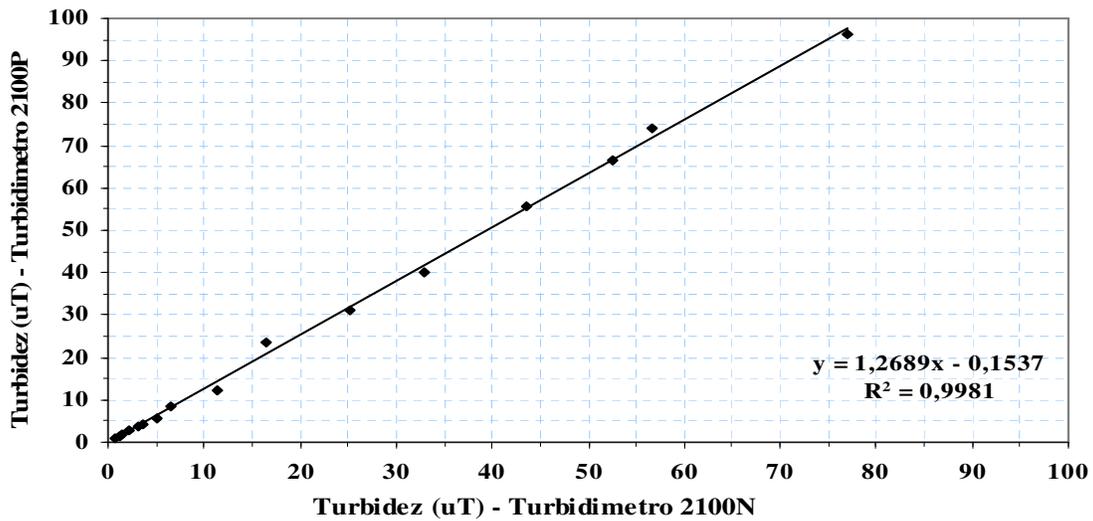


FIGURA A6 - Comparação entre Turbidímetro 2100P e 2100N - Intervalo de 0 a 100.

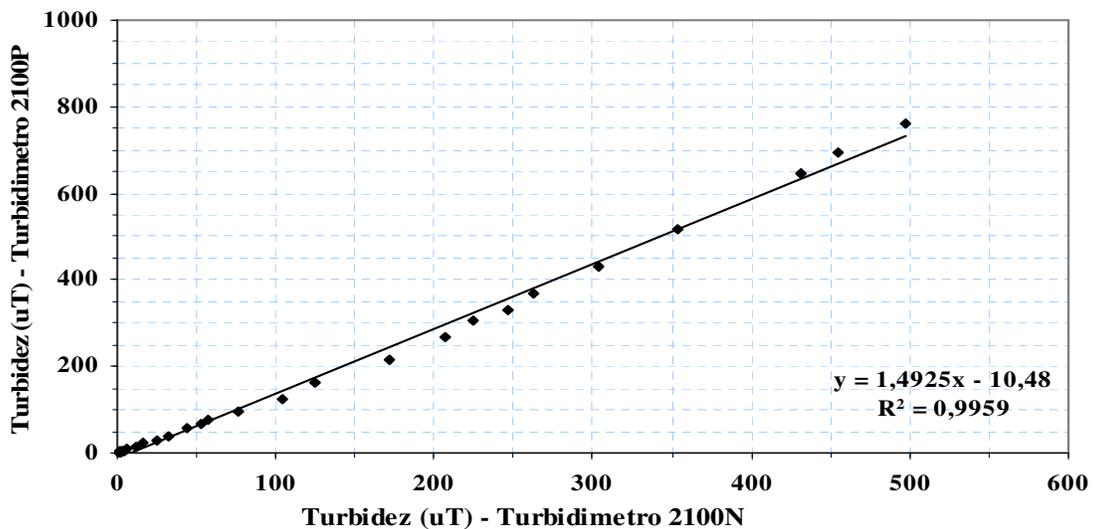


FIGURA A7 - Comparação entre Turbidímetro 2100P e 2100N - Intervalo de 0 a 1000.

**APÊNDICE B**  
**FASE 2 - ENSAIOS EFETIVOS**

---

**TABELA B1 - Ensaio E1 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T(C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,50	7,1	7,0	6,1	5,2	2,9	-0,9	29,5	0,1	1,1	0,9	2,3	3,8	7,8	0,1	1,4	1,1	2,9	4,7	9,7
1,00	8,0	7,4	7,1	6,6	4,1	-0,7	30,0	1,4	0,3	0,5	2,5	4,8	8,7	1,7	0,4	0,6	3,1	6,0	10,9
2,00	11,0	11,0	10,0	10,0	6,2	-0,7	30,0	0,0	1,0	0,0	3,8	6,9	11,7	0,0	1,2	0,0	4,8	8,6	14,6
3,00	15,0	14,0	14,0	13,0	9,2	-0,7	30,0	1,0	0,0	1,0	3,8	9,9	15,7	1,2	0,0	1,2	4,8	12,4	19,6
5,75	24,0	24,0	23,0	22,0	15,0	-0,7	30,0	0,0	1,0	1,0	7,0	15,7	24,7	0,0	1,2	1,2	8,8	19,6	30,9
9,00	32,0	32,0	30,0	29,0	19,0	-0,7	29,4	0,0	2,0	1,0	10,0	19,7	32,7	0,0	2,5	1,2	12,4	24,3	40,4
12,17	32,0	32,0	32,0	31,0	20,0	-0,7	29,1	0,0	0,0	1,0	11,0	20,7	32,7	0,0	0,0	1,2	13,5	25,4	40,2
21,25	34,0	34,0	34,0	32,0	20,0	-0,9	29,0	0,0	0,0	2,0	12,0	20,9	34,9	0,0	0,0	2,4	14,7	25,6	42,8

Taxa de Filtração 195,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 30,33 e 33,25 mg SA/ L – Concentração da Solução Estoque 15.000 mg / L

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B2 - Ensaio E1 - Turbidez e Cor Aparente**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,50	19,80	28,30	9,81	160	200	80
1,00	18,90	27,40	13,10	160	200	100
2,00	18,60	27,40	16,20	160	200	120
3,00	18,90	26,20	18,10	160	200	160
5,75	19,30	27,60	16,60	160	200	140
9,00	28,50	38,60	32,70	200	220	200
12,17	26,20	36,80	32,10	200	220	160
21,25	18,30	26,60	24,80	160	200	200

**TABELA B3 - ECF 5 \*\* - Ensaio do FLA**

ECF 5	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA / L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
	15,20	48,59 a 25,46	14966	31,89	2,82	0,64	0,40	0,30
	19,10	48,28 a 66,81	14966	29,94	2,69	0,47	0,62	0,41
	15,90	49,88 a 89,08	14966	27,65	2,49	0,72	0,66	0,66
	16,80	44,54 a 58,00	14966	25,34	2,28	1,14	1,12	0,41

\*Tf = Tempo de Filtração no FLA correspondente as coletas

\*\* ECF utilizado nos Ensaio E2 a E5.

**TABELA B4 - Ensaio E2 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP – DFI**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm)- 20°C					
	P1	p2	p3	p4	p5	P6		p1-p2	P2-p3	P3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,50	3,8	3,6	3,2	3,0	-1,0	-1,0	29,2	0,2	0,4	0,2	4	0	4,8	0,2	0,5	0,2	4,9	0,0	5,9
0,75	4,5	4,2	4,0	3,5	-1,0	-0,9	29,3	0,3	0,2	0,5	4,5	-0,1	5,4	0,4	0,3	0,6	5,5	-0,1	6,7
3,25	8,7	8,5	7,8	6,8	1,4	-1,0	29,5	0,2	0,7	1,0	5,4	2,4	9,7	0,3	0,9	1,2	6,7	3,0	12,0
4,00	11,0	11,0	11,0	9,8	4,4	-0,8	29,0	0,0	0,0	1,2	5,4	5,2	11,8	0,0	0,0	1,5	6,6	6,4	14,5
4,08	6,2	6,2	6,2	4,9	3,0	-1,0	29,0	0,0	0,0	1,3	1,9	4,0	7,2	0,0	0,0	1,6	2,3	4,9	8,8
4,33	7,0	6,8	6,7	6,0	3,0	-1,0	29,0	1,8	0,1	0,7	3,0	4,0	8,0	2,2	0,1	0,9	3,7	4,9	9,8
6,25	9,8	9,7	9,6	9,5	5,0	-0,8	29,0	0,1	0,1	0,1	4,5	5,8	10,6	0,1	0,1	0,1	5,5	7,1	13,0
9,25	21,0	20,0	20,0	20,0	11,0	-0,9	28,8	1,0	0,0	0,0	9,0	11,9	21,9	1,2	0,0	0,0	11,0	14,6	26,9
9,42	7,2	6,4	6,3	5,7	3,4	-0,9	28,0	1,2	0,1	0,6	23,0	4,3	8,1	1,4	0,1	0,7	2,8	5,2	9,7
14,00	25,0	25,0	24,0	23,0	12,0	-0,9	28,0	0,0	1,0	1,0	11,0	12,9	25,9	0,0	1,2	1,2	13,2	15,5	31,1
14,25	7,4	7,4	7,5	7,4	4,4	-1,0	28,0	0,0	0,1	0,1	3,0	5,4	8,4	0,0	0,1	0,1	3,6	6,5	10,1
25,25	32,0	32,0	32,0	31,0	18,0	-0,9	28,6	0,0	0,0	1,0	13,0	18,9	32,9	0,0	0,0	1,2	15,6	22,7	39,5

Taxa de Filtração 195,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 27,65 e 25,34 mg SA / L - Concentração da Solução Estoque 14.966 mg/ L

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B5 - Ensaio E2 - Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade – DFI**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDA	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,50	16,20	32,90	3,53	150	200	20	6,7	6,3	6,3	18,13	7,05	8,06
0,75	16,20	22,90	6,21	120	160	35	6,8	6,4	6,3	18,13	7,05	7,05
3,25	17,60	22,50	13,10	140	140	70	7,0	6,6	6,5	18,13	9,06	9,06
4,00	15,20	22,40	14,50	100	100	50	6,6	6,4	6,2	19,13	8,06	9,06
4,33	15,20	30,80	7,54	100	140	50	6,6	6,4	6,4	17,12	9,06	9,06
6,25	16,20	22,70	11,80	100	100	90	6,7	6,4	6,4	17,12	8,06	7,05
9,25			18,50			70			6,4			
9,42	16,60	28,40	47,50	90	180	320	6,8	6,2	6,2	20,15	16,11	
14,00	16,10	27,40	46,70	200	160	200	6,6	6,2	6,0	20,15	10,07	
14,25			17,10			100			6,0			
25,25	15,60	22,80	18,60	80	80	50	6,7	6,3	6,2	20,15	14,10	

**TABELA B6 - Ensaio E3 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm)-20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,50	2,7	2,5	2,5	1,7	0,9	-0,7	29,6	0,2	0,0	0,8	0,8	1,6	3,4	0,2	0,0	1,0	1,0	2,0	4,2
1,00	3,3	3,1	3,1	2,4	1,0	-0,9	29,5	0,2	0,0	0,7	1,4	1,9	4,2	0,3	0,0	0,9	1,7	2,3	5,2
1,50	4,0	3,8	3,5	2,9	1,0	-0,9	29,8	0,2	0,3	0,6	1,9	1,9	4,9	0,2	0,4	0,8	2,4	2,4	6,1
4,00	7,2	6,7	6,7	6,5	2,5	-0,7	30,0	0,5	0,0	0,2	4,0	3,2	7,9	0,6	0,0	0,2	5,0	4,0	9,9
4,93	8,4	8,2	8,2	7,7	3,0	-0,8	29,0	0,2	0,0	0,5	4,7	3,8	9,2	0,2	0,0	0,6	5,8	4,7	11,3
8,27	12,8	12,8	12,7	11,3	5,7	-0,9	29,1	1,0	0,1	0,4	5,6	6,6	14,0	1,2	0,1	0,5	6,9	8,1	17,2
12,10	16,0	15,2	15,2	15,0	7,2	-0,9	29,0	0,8	0,0	0,2	7,8	8,1	17,0	1,0	0,0	0,2	9,6	9,9	20,8
21,27	21,5	21,0	21,0	20,0	11,2	-0,7	29,0	0,5	0,0	1,0	8,8	12,0	22,0	0,6	0,0	1,2	10,8	14,7	27,0
24,00	23,1	22,6	22,5	22,0	12,2	-1,0	30,0	0,5	0,1	1,0	9,3	13,0	24,0	0,6	0,1	1,2	11,6	16,3	30,0
25,00	23,5	23,1	23,0	22,0	12,5	-1,0	30,0	0,4	0,1	1,0	9,5	14,0	25,0	0,5	0,1	1,2	11,9	17,5	31,3

Taxa de Filtração 156,14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 25,76 mg SA/ L - Concentração da Solução Estoque 15.000 mg / L

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B7 - Ensaio E3 - Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,50	16,90	24,00	2,44	80	100	20	6,9	6,4	6,5	20,15	14,10	20,15
1,00	16,90	24,00	3,04	100	100	20	7,1	6,5	6,6	26,15	16,11	16,11
1,50	17,00	23,90	5,53	80	80	25	6,9	6,0	6,3	20,15	14,10	14,10
4,00	17,80	23,80	9,65	100	100	60	6,9	6,5	6,5	22,17	14,10	14,10
4,93	18,90	25,00	11,30	80	140	60	6,9	6,5	6,3	20,15	14,10	14,10
8,27	19,50	25,20	13,90	100	120	70	7,4	6,8	6,5	20,15	18,13	12,05
12,10	19,40	26,20	16,60	100	120	100	7,0	6,6	6,4	20,15	18,13	14,10
21,27	16,50	22,10	16,30	100	120	80	6,8	6,5	6,5	26,15	20,15	18,13

**TABELA B8 - Ensaio E4 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP – DFI**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm)-20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	P5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,50	2,2	2,0	2,0	1,5	0,5	-1,0	28,2	0,2	0,0	0,5	1,0	1,5	3,2	0,2	0,0	0,6	1,2	1,8	3,9
1,00	2,8	2,6	2,6	2,0	0,8	-1,0	28,8	0,2	0,0	0,6	1,2	1,8	3,8	0,2	0,0	0,7	1,5	2,2	4,6
1,50	3,5	3,3	3,2	2,8	1,0	-0,7	28,9	0,2	0,1	0,4	1,8	1,7	4,2	0,2	0,1	0,5	2,2	2,1	5,1
2,00	4,1	4,0	3,8	3,2	1,3	-0,7	29,0	0,1	0,2	0,6	1,9	2,0	4,8	0,1	0,2	0,7	2,3	2,4	5,9
4,00	6,0	5,7	5,4	4,9	2,0	-0,9	29,0	0,3	0,3	0,5	2,9	2,9	6,9	0,4	0,4	0,6	3,5	3,5	8,5
5,00	3,1	2,7	2,7	2,5	1,0	-1,0	29,0	0,4	0,0	0,2	1,5	2,0	4,1	0,5	0,0	0,2	1,8	2,4	5,0
5,67	5,2	5,1	4,7	4,1	1,6	-1,0	28,3	0,1	0,4	0,6	2,5	2,6	6,2	0,1	0,5	0,7	3,0	3,1	7,5
9,25	9,0	8,7	8,7	7,9	3,5	-1,0	28,0	0,3	0,0	0,8	4,4	4,5	10,0	0,4	0,0	1,0	5,3	5,4	12,0
9,58	2,2	2,1	2,0	2,0	0,9	-1,0	28,0	0,1	0,1	0,0	1,1	1,9	3,2	0,1	0,1	0,0	1,3	2,3	3,8
13,75	9,4	8,2	8,1	7,8	3,6	-1,0	27,1	1,2	0,1	0,3	4,2	4,6	10,4	1,4	0,1	0,3	4,9	5,4	12,2
14,08	2,5	2,5	2,4	2,2	1,0	-1,0	27,1	0,0	0,1	0,2	1,2	2,0	3,5	0,0	0,1	0,2	1,4	2,4	4,1
14,83	3,9	3,8	3,8	3,7	1,6	-1,0	27,1	0,1	0,0	0,1	2,1	2,6	4,9	0,1	0,0	0,1	2,5	3,0	5,7
24,25	23,0	23,0	23,0	23,0	10,0	-0,8	29,0	0,0	0,0	0,0	13,0	10,8	23,8	0,0	0,0	0,0	16,0	13,2	29,2

**Taxa de Filtração 156,14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 25,76 mg SA/L - Concentração da Solução Estoque 14.966 mg / L**

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B9 - Ensaio E4-Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade – DFI**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,50	13,50	20,40	1,81	120	120	15	6,8	6,3	6,3			
1,00	13,70	20,00	2,71	120	120	20	6,7	6,4	6,4			
1,50	13,70	20,40	3,77	100	100	25	6,7	6,2	6,3	16,11	9,06	8,06
2,00	13,60	19,20	5,25	80	80	50	6,8	6,5	6,4			
4,00	13,50	19,10	8,27	80	80	60	7,1	6,7	6,6			
5,00	13,40	20,70	4,90	70	80	50	6,7	6,6	6,6	16,11	9,06	9,06
5,67	13,80	19,40	5,78	160	160	45	7,0	6,7	6,5			
9,17	15,80	21,80	9,67	140	140	80	6,6	6,5	6,4			
9,25	16,30	22,10	9,77									
13,75	16,10	22,10	9,19									
14,83	15,90	22,30	9,92	120	120	70	6,8	6,5	6,4	20,15	14,10	16,11
24,25	17,80	22,90	16,20	160	160	80	6,7	6,5	6,6	22,17	16,11	12,05

**TABELA B10 - Ensaio E5 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP – DFI**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm)- 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	P1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
1,00	5,0	4,6	4,5	4,4	2,0	-1,0	28,0	0,4	0,1	0,1	2,4	3,0	6,0	0,5	0,1	0,1	2,9	3,6	7,2
1,92	6,7	6,6	6,4	6,1	3,1	-0,9	28,0	0,1	0,2	0,3	3,0	4,0	7,6	0,1	0,2	0,4	3,6	4,8	9,1
2,83	5,5	5,3	5,2	5,0	2,5	-0,7	28,2	0,2	0,1	0,2	2,5	3,2	6,2	0,2	0,1	0,2	3,0	3,9	7,5
3,90	7,6	7,5	7,4	7,0	3,7	-0,9	28,0	0,1	0,1	0,4	3,3	4,6	8,5	0,1	0,1	0,5	4,0	5,5	10,2
5,00	7,4	7,2	7,0	6,5	2,7	-0,7	28,2	0,2	0,2	0,5	3,8	3,4	8,1	0,2	0,2	0,6	4,6	4,1	9,8
5,92	11,0	10,0	10,0	10,0	4,8	-1,0	28,3	1,0	0,0	0,0	5,2	5,8	12,0	1,2	0,0	0,0	6,3	7,0	14,5
6,12	5,3	5,2	5,2	5,1	2,9	-1,0	28,3	0,1	0,0	0,1	2,2	3,9	6,3	0,1	0,0	0,1	2,7	4,7	7,6
6,62	7,2	7,2	7,2	7,0	3,5	-1,0	28,5	0,0	0,0	0,2	3,5	4,5	8,2	0,0	0,0	0,2	4,2	5,5	9,9
6,92	7,7	7,5	7,5	7,0	4,0	-0,9	28,4	0,2	0,0	0,5	3,0	4,9	8,6	0,2	0,0	0,6	3,6	5,9	10,4
7,92	11,0	11,0	11,0	10,0	5,5	-1,0	28,5	0,0	0,0	1,0	4,5	6,5	12,0	0,0	0,0	1,2	5,5	7,9	14,5
8,08	5,3	5,2	5,1	5,0	2,9	-1,0	28,5	0,1	0,1	0,1	2,1	3,9	6,3	0,1	0,1	0,1	2,5	4,7	7,6
8,58	7,7	7,6	7,5	7,0	3,6	-1,0	28,3	0,1	0,1	0,5	3,4	4,6	8,7	0,1	0,1	0,6	4,1	5,6	10,5
9,08	9,3	9,2	9,2	8,6	4,6	-1,0	28,3	0,1	0,0	0,6	4,0	5,6	10,3	0,1	0,0	0,7	4,8	6,8	12,4
9,83	11,0	11,0	11,0	10,0	5,5	-1,0	28,2	0,0	0,0	1,0	4,5	6,5	12,0	0,0	0,0	1,2	5,4	7,8	14,5

**Taxa de Filtração 156,14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 29,51 mg SA/L - Concentração da Solução Estoque 15.079 mg / L**

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B11 - Ensaio E5 - Turbidez, pH e Alcalinidade – DFI**

Tf(h)	Turbidez (uT)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
1,00	23,40		5,06						
1,92	23,00		11,10						
2,83	22,90		7,64						
3,90	22,60		12,50						
5,00	23,00		8,18						
5,92	22,80		11,50						
6,92	22,70		7,41						
7,92	23,40		11,10	6,9	6,4	6,7	18,13	8,06	8,06
9,08	23,30		8,63						
9,83	23,00		12,80						

**TABELA B12 - ECF 6 \*\* - Ensaio do FLA**

	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA / L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
ECF 6	49,50	45,03 a 50,58	15.079	41,70	3,75	0,58	0,43	1,32
	48,80	49,88 a 67,90	15.079	34,34	3,09	11,40	11,80	11,60
	49,10	49,88 a 78,98	15.079	50,15	4,51	2,01	0,88	8,60
	51,70	44,34 a 55,43	15.079	37,46	3,37	5,28	3,49	3,19

\*Tf = Tempo de Filtração no FLA correspondente as coletas

\*\* ECF utilizado nos Ensaio E6 e E7.

**TABELA B13 - Ensaio E6 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP – DFI**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	P1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,00	3,2	3,2	3,2	3,0	1,2	-1,0	26,0	0,0	0,0	0,2	1,8	2,2	4,2	0,0	0,0	0,2	2,1	2,5	4,8
0,50	4,1	3,8	3,8	3,6	1,5	-1,0	27,0	0,3	0,0	0,2	2,1	2,5	5,1	0,3	0,0	0,2	2,5	2,9	6,0
1,00	4,6	4,4	4,4	4,2	1,9	-1,0	27,0	0,2	0,0	0,2	2,3	2,9	5,6	0,3	0,0	0,2	2,7	3,4	6,6
1,50	5,8	5,5	5,4	5,1	2,2	-1,0	27,0	0,3	0,1	0,3	2,9	3,2	6,8	0,3	0,1	0,3	3,4	3,8	8,0
2,00	8,1	7,9	7,5	7,0	3,0	-1,0	27,0	0,2	0,4	0,5	4,0	4,0	9,1	0,2	0,5	0,6	4,7	4,7	10,7
2,50	8,6	8,5	8,4	7,6	3,2	-1,0	27,0	0,1	0,1	0,8	4,4	4,2	9,6	0,1	0,1	1,0	5,2	4,9	11,2
3,97	13,0	13,0	13,0	12,0	5,2	-1,0	27,0	0,0	0,0	1,0	6,8	6,2	14,0	0,0	0,0	1,2	8,0	7,3	16,4
4,15	3,7	3,4	3,4	3,3	1,6	-1,0	27,0	0,3	0,0	0,1	1,7	2,6	4,7	0,3	0,0	0,1	2,0	3,1	5,5
4,68	4,3	4,2	4,2	4,0	2,0	-1,0	27,0	0,1	0,0	0,2	2,0	3,0	5,3	0,1	0,0	0,2	2,3	3,5	6,2
5,93	5,9	5,7	5,7	5,5	2,5	-1,0	27,1	0,2	0,0	0,2	3,0	3,5	6,9	0,2	0,0	0,2	3,5	4,1	8,1
7,02	8,5	8,3	8,3	7,7	3,5	-1,0	27,0	0,2	0,0	0,6	4,2	4,5	9,5	0,2	0,0	0,7	4,9	5,3	11,1
8,98	13,0	12,0	12,0	12,0	5,1	-1,0	27,0	1,0	0,0	0,0	6,9	6,1	14,0	1,2	0,0	0,0	8,1	7,2	16,4
9,22	4,7	4,7	4,6	4,6	1,0	-1,0	27,0	0,0	0,1	0,0	3,6	2,0	5,7	0,0	0,1	0,0	4,2	2,3	6,7

Taxa de Filtração 110,51 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 41,70 mg SA/L - Concentração da Solução Estoque 15.079 mg / L

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B14 - Ensaio E6 - Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade – DFI**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			Ph			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,00	49,80											
0,50	50,40		9,51	240		80	6,6	5,5	5,6	14,10	6,04	9,06
1,00	50,20		11,90	200		50						
1,50	49,70		13,20	160		60						
2,00	49,40		15,20	180		65						
2,50	49,10		17,20	200		50	5,6	5,0	5,3	15,11	8,06	7,05
3,97	50,10		23,30	260		25						
4,15	50,00		6,02	200		45						
4,68	49,60		7,37	140		65						
5,93	49,70		11,30	200		50						
7,02	50,00		18,40									
8,98	49,40		28,40									
9,22	49,20		8,47									

**TABELA B15 - Ensaio E7 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP – DFI**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	P3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,00	2,6	2,4	2,4	2,4	1,1	-1,0	27,0	0,2	0,0	0,0	1,3	2,1	3,6	0,2	0,0	0,0	1,5	2,5	4,2
0,63	4,2	4,0	3,8	3,5	1,6	-1,0	27,0	0,2	0,2	0,3	1,9	2,7	5,2	0,2	0,2	0,3	2,2	3,2	6,1
1,13	4,8	4,7	4,7	4,5	2,0	-1,0	27,0	0,1	0,0	0,2	2,5	3,0	5,8	0,1	0,0	0,2	2,9	3,5	6,8
1,63	7,0	6,7	6,7	6,3	2,8	-1,0	27,0	0,3	0,0	0,4	3,5	3,8	8,0	0,3	0,0	0,5	4,1	4,4	9,4
2,13	9,1	8,8	8,8	8,7	3,8	-1,0	27,0	0,3	0,0	0,1	4,9	4,8	10,1	0,3	0,0	0,1	5,7	5,6	11,8
2,63	11,0	11,0	10,0	10,0	5,0	-1,0	27,0	0,0	1,0	0,0	5,0	6,0	12,0	0,0	1,2	0,0	5,9	7,0	14,1
4,70	20,7	20,6	20,5	20,4	10,4	-1,0	27,0	0,1	0,1	0,1	10	11,4	21,7	0,1	0,1	0,1	11,7	13,4	25,4
4,98	4,7	4,6	4,5	4,5	1,9	-1,0	27,0	0,1	0,1	0,0	2,6	3,9	5,7	0,1	0,1	0,0	3,1	4,6	6,7
5,98	10,4	10,4	10,1	9,8	4,6	-1,0	27,0	0,0	0,3	0,3	5,2	5,6	11,4	0,0	0,3	0,3	6,1	6,6	13,4

**Taxa de Filtração 110,51 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 41,70 mg SA/ L - Concentração da Solução Estoque 15.079 mg / L**

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B16 - Ensaio E7 - Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade - DFI**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			Ph			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,00	48,00		45,60				6,7	5,4	5,6	13,10	2,01	
0,63	47,80	62,40	6,73	220		20						
1,13	47,70	58,60	9,49	250		30						
1,63	47,30	56,90	12,70	250		50						
2,13	48,70	57,80	23,90	250		100						
2,63	47,10	57,10	32,50	250		160	7,0	6,5	6,4	19,13	7,05	

**TABELA B17 - ECF 7 \*\* - Ensaio do FLA**

	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA / L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
ECF 7	29,50	27,11 a 57,12	3.600	22,74	2,05	4,75	2,65	2,75
	29,30	11,30 a 59,86	3.600	3,49	0,31	28,10	29,10	28,20
	28,40	55,02 a 72,65	3.600	20,90	1,88	9,39	7,59	8,53
	28,40	54,62 a 60,34	3.600	10,98	0,99	29,20	30,70	30,40
	28,50	52,33 a 67,41	3.600	23,72	2,13	23,50	19,00	19,30
	28,50	50,22 a 58,00	3.600	21,82	1,96	0,38	0,57	0,38

\*Tf = Tempo de Filtração no **FLA** correspondente as coletas

\*\* **ECF** utilizado nos Ensaio **E8**.

**TABELA B18 - Ensaio E8 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T( C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	P5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,00	0,5	0,5	0,5	0,5	-0,3	-1,0	28,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,7	1,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,8	1,8
0,25	0,1	0,1	0,1	0,0	-0,5	-1,2	28,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,7	1,3	0,0	0,0	0,1	0,6	0,8	1,6
0,50	0,7	0,5	0,5	0,5	-0,5	-1,3	28,0	0,2	0,0	0,0	1,0	0,8	2,0	0,2	0,0	0,0	1,2	1,0	2,4
0,75	1,2	1,0	1,0	1,0	-0,2	-1,0	28,0	0,2	0,0	0,0	1,2	0,8	2,2	0,2	0,0	0,0	1,4	1,0	2,6
1,00	0,7	0,5	0,5	0,5	-0,5	-1,3	28,0	0,2	0,0	0,0	1,0	0,8	2,0	0,2	0,0	0,0	1,2	1,0	2,4
1,50	1,4	1,2	1,2	1,0	-0,2	-1,0	28,0	0,2	0,0	0,2	1,2	0,8	2,4	0,2	0,0	0,2	1,4	1,0	2,9
2,00	1,4	1,2	1,1	1,0	0,0	-1,0	28,0	0,2	0,1	0,1	1,0	1,0	2,4	0,2	0,1	0,1	1,2	1,2	2,9
2,50	1,8	1,7	1,6	1,5	0,0	-1,0	28,0	0,1	0,1	0,1	1,5	1,0	2,8	0,1	0,1	0,1	1,8	1,2	3,4
3,00	2,3	2,2	2,0	1,8	0,1	-1,0	28,0	0,1	0,2	0,2	1,7	1,1	3,3	0,1	0,2	0,2	2,0	1,3	4,0
4,22	3,1	3,1	2,7	2,2	1,0	-1,3	27,1	0,0	0,4	0,5	1,2	2,3	4,4	0,0	0,5	0,6	1,4	2,7	5,0
7,63	5,5	5,5	5,4	4,9	1,1	-1,2	27,2	0,0	0,1	0,5	3,8	2,3	6,7	0,0	0,1	0,6	4,5	2,7	7,9
17,50	13,0	13,0	13,0	13,0	3,5	-1,0	27,0	0,0	0,0	0,0	9,5	4,5	14,0	0,0	0,0	0,0	11,1	5,3	16,4
18,00	13,0	13,0	13,0	13,0	4,2	-1,1	27,0	0,0	0,0	0,0	8,8	5,3	14,1	0,0	0,0	0,0	10,3	6,2	16,5
18,50	14,0	13,0	13,0	13,0	4,5	-1,1	27,2	1,0	0,0	0,0	8,5	5,6	15,1	1,2	0,0	0,0	10,0	6,6	17,8
19,00	14,0	14,0	13,0	13,0	4,5	-1,1	27,2	0,0	1,0	0,0	8,5	5,6	15,1	0,0	1,2	0,0	10,0	6,6	17,8

**Taxa de Filtração 74,84 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia – Dosagem 21,83 mg SA / L – Concentração da Solução Estoque 3.600 mg / L**

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B19 - Ensaio E8-Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			Ph			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,00	28,60											
0,25	28,60		28,00									
0,50	28,60		14,10									
0,75	28,60		4,82									
1,00	28,40	38,30	2,06	100	140	20	7,0	5,9	6,4	16,11	10,07	10,07
1,50	28,40		1,26									
2,00	28,60	38,50	1,08	140	150	10	7,0	6,0	6,2	15,11	7,05	9,06
2,50	28,60		0,99									
3,00	28,50	38,00	0,98	180	220	10	6,9	6,0	6,0	16,11	6,04	6,04
4,22	28,50		0,96			10			5,7			8,06
7,63	28,10		4,38	160		30	6,5		5,8	18,13		12,09
17,50	28,00	35,80	18,60	80	180	100	6,1	4,7	6,2	16,11	10,07	10,07
18,00	28,00	35,80	19,00									
18,50	28,20	36,20	19,80									
19,00	28,50	37,70	18,90	140	200	100	6,4	6,2	5,9	21,15	12,09	9,86

**TABELA B20 - ECF 8 \*\* - Ensaio do FLA**

	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA / L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
ECF 8	19,90	38,77 a 50,56	15.000	29,26	2,63	2,25	0,48	0,41
	19,90	47,36 a 58,00	15.000	34,86	3,14	0,58	0,60	0,41
	19,90	43,50 a 65,07	15.000	19,04	1,71	3,16	4,08	3,10
	20,10	53,07 a 69,28	15.000	22,95	2,06	1,49	0,90	0,74

\*Tf = Tempo de Filtração no FLA correspondente as coletas

\*\* ECF utilizado nos Ensaio E9 a E11.

**TABELA B21 - Ensaio E9 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP – DFI**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,33	0,6	0,4	0,4	0,4	-0,6	-1,1	28,0	0,2	0,0	0,0	1,0	0,5	1,7	0,2	0,0	0,0	1,2	0,6	2,0
0,66	0,9	0,8	0,8	0,7	-0,4	-1,1	28,0	0,1	0,0	0,1	1,1	0,7	2,0	0,1	0,0	0,1	1,3	0,8	2,4
1,00	1,1	1,1	0,9	0,9	-0,3	-1,1	28,1	0,0	0,2	0,0	1,2	0,8	2,2	0,0	0,2	0,0	1,4	1,0	2,7
1,50	1,4	1,4	1,3	1,1	-0,9	-1,1	28,2	0,0	0,1	0,2	2,0	0,2	2,5	0,0	0,1	0,2	2,4	0,2	3,0
2,00	1,5	1,6	1,4	1,2	-0,2	-1,1	28,0	-0,1	0,2	0,2	1,4	0,9	2,6	0,1	0,2	0,2	1,7	1,1	3,1
3,00	1,7	1,7	1,7	1,5	0,0	-1,0	28,6	0,0	0,0	0,2	1,5	1,0	2,7	0,0	0,0	0,2	1,8	1,2	3,3
4,00	3,0	2,8	2,7	2,5	0,2	-1,0	28,9	0,2	0,1	0,2	2,3	1,2	4,0	0,2	0,1	0,2	2,8	1,5	4,9
5,00	3,4	3,3	3,2	2,8	0,3	-1,0	28,9	0,1	0,1	0,4	2,5	1,3	4,4	0,1	0,1	0,5	3,1	1,6	5,4
6,00	3,4	3,3	3,2	3,0	0,4	-1,0	29,0	0,1	0,1	0,2	2,6	1,4	4,4	0,1	0,1	0,2	3,2	1,7	5,4
6,5	3,7	3,6	3,6	3,4	0,5	-1,0	29,0	0,1	0,0	0,2	2,9	1,5	4,7	0,1	0,0	0,2	3,5	1,8	5,8
6,75	4,2	4,1	4,1	3,7	0,5	-1,0	29,0	0,1	0,0	0,4	3,2	1,5	5,2	0,1	0,0	0,5	3,9	1,8	6,4
7,00	4,4	4,3	4,2	3,7	0,5	-1,0	28,9	0,1	0,1	0,5	3,2	1,5	5,4	0,1	0,1	0,6	3,9	1,8	6,6
7,83	4,9	4,8	4,6	4,4	0,6	-1,1	28,9	0,1	0,2	0,2	3,8	1,7	6,0	0,1	0,2	0,2	4,6	2,1	7,3
8,33	5,4	5,3	5,0	4,9	0,6	-1,1	28,9	0,1	0,3	0,1	4,3	1,7	6,5	0,1	0,4	0,1	5,3	2,1	7,9
8,58	1,0	1,0	0,9	0,9	-0,3	-1,1	28,9	0,0	0,1	0,0	1,2	0,8	2,1	0,0	0,1	0,0	1,5	1,0	2,6
9,08	1,2	1,2	1,2	1,2	-0,1	-1,1	28,9	0,0	0,0	0,0	1,3	1,0	2,3	0,0	0,0	0,0	1,6	1,2	2,8
13,00	3,9	3,8	3,6	3,5	0,5	-1,1	28,9	0,1	0,2	0,1	3,0	1,6	5,0	0,1	0,2	0,1	3,7	2,0	6,1
14,33	4,9	4,8	4,8	4,8	0,9	-1,1	27,5	0,1	0,0	0,0	3,9	2,0	6,0	0,1	0,0	0,0	4,6	2,4	7,1
14,58	1,0	1,0	1,0	0,9	0,0	-1,1	27,5	0,0	0,0	0,1	0,9	1,1	2,1	0,0	0,0	0,1	1,1	1,3	2,5
15,00	1,2	1,2	1,0	1,0	0,1	-1,1	27,5	0,0	0,2	0,0	0,9	1,2	2,3	0,0	0,2	0,0	1,1	1,4	2,7
20,25	4,9	4,9	4,9	4,7	1,2	-1,1	27,0	0,0	0,0	0,2	3,5	2,3	6	0,0	0,0	0,2	4,1	2,7	7,0
20,58	0,9	0,9	0,9	0,8	-0,1	-1,2	27,1	0,0	0,0	0,1	0,9	1,1	2,1	0,0	0,0	0,1	1,1	1,3	2,5
21,08	1,2	1,2	1,2	1,2	0,0	-1,1	27,1	0,0	0,0	0,0	1,2	1,1	2,3	0,0	0,0	0,0	1,4	1,3	2,7
22,41	2,2	2,1	2,1	2,0	0,4	-1,1	27,2	0,1	0,0	0,1	1,6	1,5	3,3	0,1	0,0	0,1	1,9	1,8	3,9
25,58	4,0	3,7	3,7	3,5	1,1	-1,1	27,8	0,3	0,0	0,2	2,4	2,2	5,1	0,4	0,0	0,2	2,9	2,6	6,1
26,25	5,5	5,4	5,4	4,8	1,3	-1,1	27,2	0,1	0,0	0,6	3,5	2,4	6,6	0,1	0,0	0,7	4,1	2,8	7,8
26,58	1,1	1,1	1,1	1,0	0,0	-1,1	28,0	0,0	0,0	0,1	1,0	1,1	2,2	0,0	0,0	0,1	1,2	1,3	2,6
29,25	3,8	3,7	3,6	3,5	0,6	-1,1	28,0	0,1	0,1	0,1	2,9	1,7	4,9	0,1	0,1	0,1	3,5	2,0	5,9
30,33	3,8	3,7	3,5	3,5	1,0	-1,1	28,0	0,1	0,2	0,0	2,5	2,1	4,9	0,1	0,2	0,0	3,0	2,5	5,9
30,83	4,2	4,0	4,0	3,9	1,2	-1,1	27,9	0,2	0,0	0,1	2,7	2,3	5,3	0,2	0,0	0,1	3,2	2,7	6,3
31,33	4,4	4,4	4,3	4,3	1,3	-1,1	27,9	0,0	0,1	0,0	3,0	2,4	5,5	0,0	0,1	0,0	3,6	2,9	6,6
31,83	5,2	5,2	5	4,7	1,5	-1,1	27,7	0,0	0,2	0,3	3,2	2,6	6,3	0,0	0,2	0,4	3,8	3,1	7,5
32,25	5,4	5,4	5,4	5,0	1,6	-1,1	27,5	0,0	0,0	0,4	3,4	2,7	6,5	0,0	0,0	0,5	4,0	3,2	7,7
32,58	1,2	1,2	1,0	0,9	-0,2	-1,1	27,5	0,0	0,2	0,1	1,1	0,9	2,3	0,0	0,2	0,1	1,3	1,1	2,7

Taxa de Filtração 74,84 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 22,95 mg SA/L - Concentração da Solução Estoque 15.000 mg /L

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B22 - Ensaio E9 -Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade – DFI**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,00	19,60											
0,33			15,7									
0,67			6,71									
1,00	19,50	26,50	1,96	140	200	17,5	7,2	6,8	6,8	20,15	6,04	13,10
1,50			1,49									
2,00	20,10	26,40	1,31	140	160	17,5	6,8	6,5	6,3	17,12	9,06	12,09
3,00	19,70	26,50	1,32	160	140	17,5	6,7	6,5	6,5	17,12	10,07	8,06
4,00	19,30	25,50	1,28	120	140	15,0	6,7	6,5	6,5	18,13	10,07	10,07
6,00	19,50	25,70	1,99	140	140	17,5	6,7	6,5	6,4	17,12	10,07	12,09
6,50			2,50									
6,75			2,72									
7,00	19,70	26,20	2,54	140	160	17,5	6,7	6,5	6,5	17,12	9,06	11,08
7,83			3,27									
8,33	20,00		3,44	100	140	20,0	7,0	6,4	6,3	19,13	10,07	10,07
8,58			2,34									
13,00			1,73									
13,17	19,50		1,73	100	160	20,0	6,7	6,4	6,4	17,12	8,06	9,06
14,33	19,70	26,30	5,32	100	80	25,0	6,7	6,3	6,3	17,12	10,07	10,07
14,58			2,24									
15,00			1,95									
20,25	19,60		4,86	100	160	17,5	6,7	6,3	6,1	20,15	10,07	4,02
20,58			2,53									
21,08			1,43									
22,41			1,19									
25,58			3,30									
26,25	19,80	26,30	3,60	140	140	30,0	7,2	6,6	6,5	15,11	10,07	7,05
26,58			1,74									
29,25	20,10		1,38	140		20,0	6,8		6,4	16,11		10,07
30,33			2,26									
30,83			2,63									
31,33			3,00									
31,83	19,30	25,70	3,47	140	140	25,0	6,8	6,5	6,6	17,12	8,06	11,08
32,25			4,37									
32,58			2,15									

**TABELA B23 - Ensaio E10 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	P5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,33	2,0	1,8	1,5	1,4	0,0	-1,3	28,0	0,2	0,3	0,1	1,4	1,3	3,3	0,2	0,4	0,1	1,7	1,6	4,0
0,67	1,6	1,3	1,4	1,2	-0,2	-1,3	28,0	0,3	-0,1	0,2	1,4	1,1	2,9	0,4	0,1	0,2	1,7	1,3	3,5
1,00	2,5	2,1	2,0	1,8	-0,2	-1,3	28,1	0,4	0,1	0,2	2,0	1,1	3,8	0,5	0,1	0,2	2,4	1,3	4,6
1,33	2,5	2,3	2,2	2,1	0,0	-1,3	28,0	0,2	0,1	0,1	2,1	1,3	3,8	0,2	0,1	0,1	2,5	1,6	4,6
1,67	3,0	2,8	2,6	2,5	0,0	-1,3	27,8	0,2	0,2	0,1	2,5	1,3	4,3	0,2	0,2	0,1	3,0	1,5	5,1
2,00	3,5	3,2	2,7	2,4	0,3	-1,3	28,0	0,3	0,5	0,3	2,1	1,6	4,8	0,4	0,6	0,4	2,5	1,9	5,8
2,33	3,5	3,3	3,2	3,0	0,3	-1,3	28,2	0,2	0,1	0,2	2,7	1,6	4,8	0,2	0,1	0,2	3,2	1,9	5,8
2,67	3,7	3,5	3,3	3,1	0,3	-1,2	28,9	0,2	0,2	0,2	2,8	1,5	4,9	0,2	0,2	0,2	3,4	1,8	6,0
3,00	4,5	4,2	3,8	3,6	0,6	-1,2	29,0	0,3	0,4	0,2	3,0	1,8	5,7	0,4	0,5	0,2	3,7	2,2	7,0
3,33	4,8	4,5	4,4	4,2	0,7	-1,0	29,0	0,3	0,1	0,2	3,5	1,7	5,8	0,4	0,1	0,2	4,3	2,1	7,1
3,67	5,1	4,9	4,7	4,5	0,7	-1,0	29,0	0,2	0,2	0,2	3,8	1,7	6,1	0,2	0,2	0,2	4,7	2,1	7,5
4,33	5,4	5,2	5,0	4,6	0,8	-1,0	29,1	0,1	0,2	0,4	3,8	1,8	6,4	0,1	0,3	0,5	4,7	2,2	7,9
4,67	5,8	5,6	5,4	5,0	0,9	-1,0	29,1	0,2	0,2	0,4	4,1	1,9	6,8	0,3	0,3	0,5	5,0	2,3	8,3
5,00	6,1	5,8	5,8	5,4	1,0	-1,0	29,1	0,3	0,0	0,4	4,4	2,0	7,1	0,4	0,0	0,5	5,4	2,5	8,7

**Taxa de Filtração 86,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 23,32 mg SA/L - Concentração da Solução Estoque 15.000 mg /L**

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B24 - Ensaio E10-Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água bruta	Água coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,33	16,50		11,30									
0,67	15,70		1,90									
1,00	15,70	22,30	0,94	120	140	15	7,3	6,8	6,6	16,67	7,85	9,81
1,33	15,90		0,64									
1,67	15,40		0,69									
2,00	16,50	21,90	0,73	100	110	15	7,0	6,5	6,4	19,62	5,88	8,83
2,33	15,30		0,83									
2,67	15,30		0,93									
3,00	15,40	22,50	1,58	80	100	17	6,8	6,4	6,4	17,65	9,81	8,83
3,33	15,50		1,93									
3,67	15,50		2,17									
4,00	15,40	21,70	3,03	100	100	25	6,7	6,5	6,3	16,67	9,81	8,83
4,33	15,90		3,47									
4,67	16,50		4,97									
5,00	16,70	23,40	5,29	100	100	25	6,5	6,4	6,3	17,65	9,81	8,83

**TABELA B25 - Ensaio E11 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP – DFI**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	P5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	P3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,33	1,1	1,0	0,8	0,8	0,0	-1,1	28,4	0,1	0,2	0,0	0,8	1,1	2,2	0,1	0,2	0,0	1,0	1,3	2,7
0,67	1,6	1,4	1,4	1,2	0,2	-1,1	28,2	0,2	0,0	0,2	1,0	1,3	2,7	0,2	0,0	0,2	1,2	1,6	3,2
1,00	2,0	1,8	1,8	1,6	0,4	-1,0	28,2	0,2	0,0	0,2	1,2	1,4	3,0	0,2	0,0	0,2	1,4	1,7	3,6
2,00	2,8	2,6	2,6	2,6	0,6	-1,0	28,6	0,2	0,0	0,0	2,0	1,6	3,8	0,2	0,0	0,0	2,4	1,9	4,6
3,00	3,8	3,6	3,6	3,4	1,0	-1,0	28,8	0,2	0,0	0,2	2,4	2	4,8	0,2	0,0	0,2	2,9	2,4	5,9
4,00	4,6	4,4	4,4	4,2	1,3	-1,1	28,9	0,2	0,0	0,2	2,9	2,4	5,7	0,2	0,0	0,2	3,5	2,9	7,0
4,50	5,6	5,4	5,4	4,9	1,3	-1,1	29,0	0,2	0,0	0,5	3,6	2,4	6,7	0,2	0,0	0,6	4,4	2,9	8,2
4,67	1,5	1,4	1,2	1,2	0,4	-1,1	29,0	0,1	0,2	0,0	0,8	1,5	2,6	0,1	0,2	0,0	1,0	1,8	3,2
5,50	2,0	1,9	1,9	1,8	0,8	-0,9	29,0	0,1	0,0	0,1	1,0	1,7	2,9	0,1	0,0	0,1	1,2	2,1	3,6
7,50	4,7	4,6	4,6	4,4	1,5	-1,0	28,2	0,1	0,0	0,2	2,9	2,5	5,7	0,1	0,0	0,2	3,5	3,0	6,9
8,00	5,2	4,9	4,9	4,7	2,2	-0,9	29,0	0,3	0,0	0,2	2,5	3,1	6,1	0,4	0,0	0,2	3,1	3,8	7,5
8,17	5,7	5,5	5,4	4,8	2,2	-0,9	29,0	0,2	0,1	0,6	2,6	3,1	6,6	0,2	0,1	0,7	3,2	3,8	8,1
8,37	1,6	1,5	1,4	1,4	0,3	-0,7	29,0	0,1	0,1	0,0	1,1	1,0	2,3	0,1	0,1	0,0	1,3	1,2	2,8
9,92	4,3	4,1	4,1	3,9	1,1	-1,0	28,3	0,2	0,0	0,2	2,8	2,1	5,3	0,2	0,0	0,2	3,4	2,5	6,4
11,70	6,1	6,0	5,7	5,5	1,7	-1,0	28,0	0,1	0,3	0,2	3,8	2,7	7,1	0,1	0,4	0,2	4,6	3,2	8,5
11,97	1,4	1,3	1,2	1,1	0,2	-1,1	28,0	0,1	0,1	0,1	0,9	1,3	2,5	0,1	0,1	0,1	1,1	1,6	3,0
19,50	10,0	10,0	9,6	9,0	4,4	-1,1	28,0	0,0	0,4	0,6	4,6	5,5	11,1	0,0	0,6	0,7	5,5	6,6	13,3
19,75	1,6	1,5	1,4	1,4	-0,4	-1,1	28,0	0,1	0,1	0,0	1,8	0,7	2,7	0,1	0,1	0,0	2,2	0,8	3,2
23,37	6,1	6,1	6,0	5,7	1,7	-1,0	28,0	0,0	0,1	0,3	4,0	2,7	7,1	0,0	0,1	0,4	4,8	3,2	8,5
23,57	2,0	1,9	1,9	1,6	0,7	-1,1	28,0	0,1	0,0	0,3	0,9	1,8	3,1	0,1	0,0	0,4	1,1	2,2	3,7
24,00	2,5	2,4	2,3	2,1	0,9	-1,0	28,0	0,1	0,1	0,2	1,2	1,9	3,5	0,1	0,1	0,2	1,4	2,3	4,2
25,00	4,0	3,8	3,6	3,4	1,6	-1,0	28,2	0,2	0,2	0,2	1,8	2,6	5,0	0,2	0,2	0,2	2,2	3,1	6,0
25,93	5,2	5,0	4,8	4,6	2,0	-1,0	28,5	0,2	0,2	0,2	2,6	3,0	6,2	0,2	0,2	0,2	3,1	3,6	7,5
26,25	5,8	5,7	5,6	5,4	2,4	-1,0	28,7	0,1	0,1	0,2	3,0	3,4	6,8	0,1	0,1	0,2	3,6	4,1	8,3
26,45	2,0	2,0	2,0	1,7	0,4	-1,0	28,5	0,0	0,0	0,3	1,3	1,4	3,0	0,0	0,0	0,4	1,6	1,7	3,6

**Taxa de Filtração 86,10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 23,32 mg SA/L - Concentração da Solução Estoque 15.000 mg /L**

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B26 - Ensaio E11 - Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade – DFI**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água bruta	Água coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,33	16,80		15,10									
0,67	15,70		1,40									
1,00	15,60	22,00	0,87	100	80	15	7,3	6,8	6,7	19,62	9,81	9,81
2,00	15,40	21,60	1,40	90	100	15	6,9	6,6		19,62	10,79	
3,00	15,60	21,40	2,05	100	90	20	6,9	6,6	6,5	18,63	9,81	10,79
4,00	15,50	22,10	3,45									
4,50			5,12									
4,67			1,30									
5,50	15,80	22,20	1,02	100	100	15	6,8	6,5	6,4	18,63	9,81	9,81
7,50	17,60		3,96									
8,00	18,60	25,00	4,52	100	100	25	7,2	6,7	6,5	10,79	14,71	7,85
8,17			4,97									
8,37			0,97									
9,92			3,47									
11,70	17,70		4,92	100	110	25	7,0	6,4		19,62	9,81	15,94
11,97			2,75									
19,50	15,90	22,00	10,50	100	110	50	6,7	6,4	6,3	16,67	9,81	7,85
19,75			7,46									
19,97			1,64									
23,37			5,98									
23,57			2,20									
24,00	15,50	21,20	1,87	100	100	15	6,6	6,4	6,2	18,63	9,81	9,81
25,00	15,30	21,60	2,24	100	100	18	6,9	6,2	6,0	15,69	9,81	7,85
25,93	16,40	22,00	3,65	80	80	20	6,7	6,2	6,1	17,65	6,86	8,83

**TABELA B27 - ECF 9 \*\* - Ensaio do FLA**

ECF 9	Turbidez da Água Bruta (uT)	Taxa de Filtração no FLA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	Coagulante			Turbidez (uT)		
			Cse (mg/L)	Dosagem (mg SA / L)	Dosagem (mg Al(III)/ L)	10 min	20 min	30 min
	16,30		15.000	17,50	1,57	1,44	1,62	1,66
	16,90		15.000	19,29	1,74	1,14	1,11	1,21
	16,40		15.000	21,09	1,90	0,32	0,28	0,22

\*Tf = Tempo de Filtração no FLA correspondente as coletas

\*\* ECF utilizado nos Ensaios E12 e E13.

**TABELA B28 - Ensaio E12 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP**

Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,00	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,6	-1,2	28,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6	1,2	0,0	0,0	0,2	0,5	0,7	1,4
0,50	0,3	0,3	0,2	0,0	-0,5	-1,2	28,0	0,0	0,1	0,2	0,5	0,7	1,5	0,0	0,1	0,2	0,6	0,8	1,8
1,00	0,4	0,4	0,3	0,3	-0,5	-1,2	27,9	0,0	0,1	0,0	0,8	0,7	1,6	0,0	0,1	0,0	1,0	0,8	1,9
1,50	0,8	0,8	0,8	0,5	-0,3	-1,2	27,9	0,0	0,0	0,3	0,8	0,9	2,0	0,0	0,0	0,4	1,0	1,1	2,4
2,00	1,2	1,0	0,9	0,7	-0,3	-1,2	28,0	0,2	0,1	0,2	1,0	0,9	2,4	0,2	0,1	0,2	1,2	1,1	2,9
3,00	1,8	1,7	1,7	1,5	-0,1	-1,1	28,0	0,1	0,0	0,2	1,6	1,0	2,9	0,1	0,0	0,2	1,9	1,2	3,5
4,00	2,5	2,2	2,2	2,0	0,0	-1,1	28,0	0,3	0,0	0,2	2,0	1,1	3,6	0,4	0,0	0,2	2,4	1,3	4,3
5,00	2,7	2,3	2,2	2,1	0,0	-1,1	28,5	0,4	0,1	0,1	2,1	1,1	3,8	0,5	0,1	0,1	2,6	1,3	4,6
6,00	3,6	3,2	3,2	3,1	0,5	-1,1	28,5	0,4	0,0	0,1	2,6	1,6	4,7	0,5	0,0	0,1	3,2	1,9	5,7
7,00	4,3	4,1	3,9	3,7	0,6	-1,1	28,5	0,2	0,2	0,2	3,1	1,7	5,4	0,2	0,2	0,2	3,8	2,1	6,6

**Taxa de Filtração 45,71 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 19,74 mg SA/ L - Concentração da Solução Estoque 10.000 mg /L**

(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B29 - Ensaio E12 - Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade**

Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água bruta	Água coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,00	22,90	28,90	19,80	128	128	96	12,9	7,9	8,9	6,36	6,35	6,56
0,50			6,37									
1,00	23,20	30,90	1,90	128	132	15	13,9	6,0	6,0	6,65	6,15	6,36
1,50			1,26									
2,00	24,90	30,40	1,05	108	116	12	13,9	5,0	5,0	6,69	6,20	6,30
3,00	23,60	31,90	1,04	128	128	12	13,9	5,0	5,0	6,36	5,56	6,14
4,00	23,70	31,30	1,29	130	110	15	12,9	3,0	4,0	6,07	5,94	6,13
5,00	23,90	32,80	2,00	80	130	15	11,9	3,0	4,0	6,66	5,96	6,15
6,00	23,60	31,60	3,31	110	110	20	12,9	3,0	3,0	5,99	5,95	6,01
7,00	23,90	31,90	4,05	110	110	20	11,9	3,0	3,0	6,7	5,78	5,97

**TABELA B30 - Ensaio E13 - Nível Piezométrico e Perda de Carga no Meio Granular do FDAP**

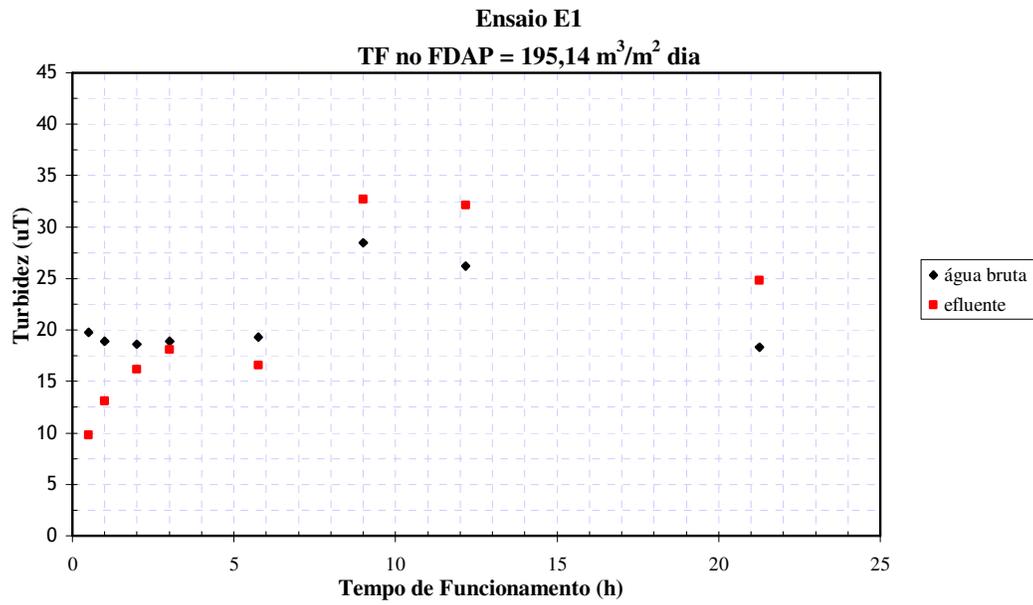
Tf(h)	Nível Piezométrico (cm)						T (C°)	Perda de Carga (cm)						Perda de Carga (cm) - 20°C					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6		p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	p5-p6	p1-p6
0,00	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,8	-1,3	28,5	0,1	0,0	0,1	0,6	0,5	1,3	0,1	0,0	0,1	0,7	0,6	1,6
0,50	0,4	0,3	0,3	0	-0,7	-1,2	28,0	0,1	0,0	0,3	0,7	0,5	1,6	0,1	0,0	0,4	0,8	0,6	1,9
1,00	0,6	0,4	0,4	0,3	-0,7	-1,2	27,9	0,2	0,0	0,1	1,0	0,5	1,8	0,2	0,0	0,1	1,2	0,6	2,1
2,00	1,0	0,8	0,8	0,7	-0,5	-1,2	28,0	0,2	0,0	0,1	1,2	0,7	2,2	0,2	0,0	0,1	1,4	0,8	2,6
3,00	1,4	1,2	1,2	1,0	-0,6	-1,1	28,0	0,2	0,0	0,2	1,6	0,5	2,5	0,2	0,0	0,2	1,9	0,6	3,0
5,00	2,0	1,8	1,8	1,6	-0,3	-1,1	29,0	0,2	0,0	0,2	1,9	0,8	3,1	0,2	0,0	0,2	2,3	1,0	3,8
6,00	2,5	2,2	2,2	2,0	-0,3	-1,1	29,0	0,3	0,0	0,2	2,3	0,8	3,6	0,4	0,0	0,2	2,8	1,0	4,4
8,00	3,0	2,9	2,9	2,6	0,0	-1,1	29,0	0,1	0,0	0,3	2,6	1,1	4,1	0,1	0,0	0,4	3,2	1,3	5,0
9,00	3,7	3,3	3,3	3,1	0,2	-1,1	29,0	0,4	0,0	0,2	2,9	1,3	4,8	0,5	0,0	0,2	3,6	1,6	5,9
22,00	9,3	8,7	8,7	8,2	1,5	-1,1	28,6	0,6	0,0	0,5	6,7	2,6	10,4	0,7	0,0	0,6	8,2	3,2	12,8

Taxa de Filtração 38,12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia - Dosagem 19,14 mg SA/L - Concentração da Solução Estoque 5.000 mg/L

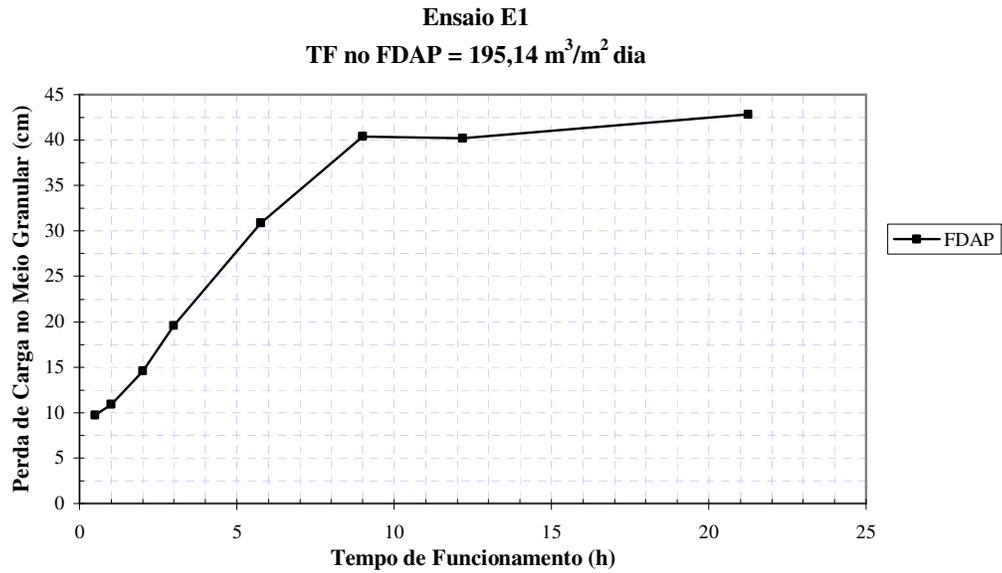
(Obs: Cse - Concentração mg Soc / L Se)

**TABELA B31 - Ensaio E13 - Turbidez, Cor Aparente, pH e Alcalinidade**

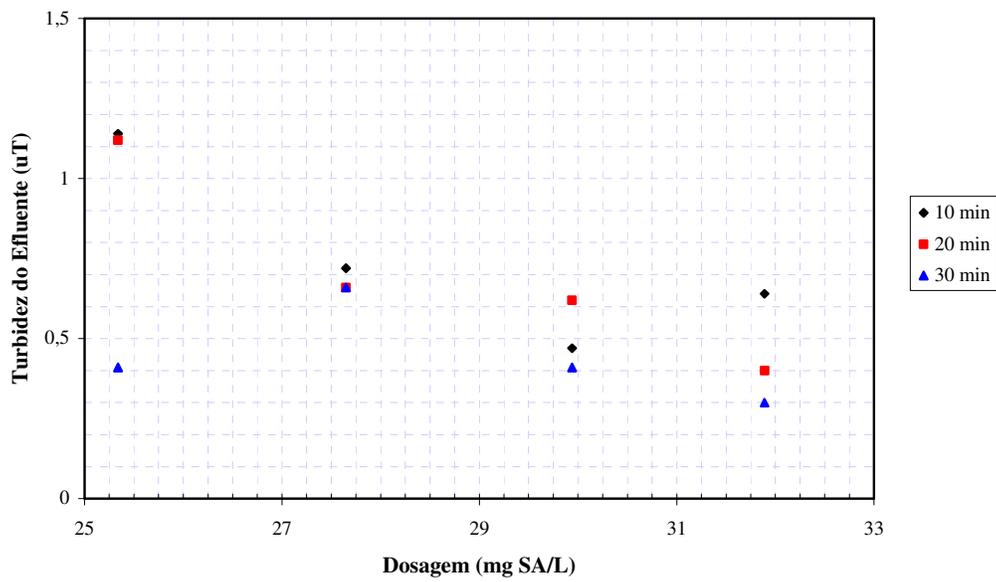
Tf(h)	Turbidez (uT)			Cor Aparente (uC)			pH			Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )		
	Água bruta	Água coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP	Água Bruta	Água Coagulada	Efluente FDAP
0,00	19,70	27,20	15,20	110	110	70	6,4	6,3	7,1	11,93	4,97	5,97
0,50			1,15			10						
1,00	20,20	26,50	1,05	90	90	10	6,9	6,5	6,6	12,93	4,97	4,97
2,00	19,90	27,00	0,93	110	110	10	6,6	6,4	6,6	8,95	3,98	3,98
3,00	19,90	27,40	0,79	110	110	10	6,8	6,4	6,7	11,93	3,98	3,98
5,00	20,20	27,20	0,71	110	110	10	7,0	6,2	6,3	11,93	3,98	3,98
6,00	19,60	28,20	0,62	90	110	10	6,1	6,4	6,6	11,93	4,97	4,97
8,00	19,80	27,10	0,70	90	110	10	6,9	6,3	6,5	12,93	2,98	3,98
13,00			2,40			18						
22,00	19,60	28,60	8,25	110	110	35	5,8	6,2	6,3	10,94	3,98	2,98



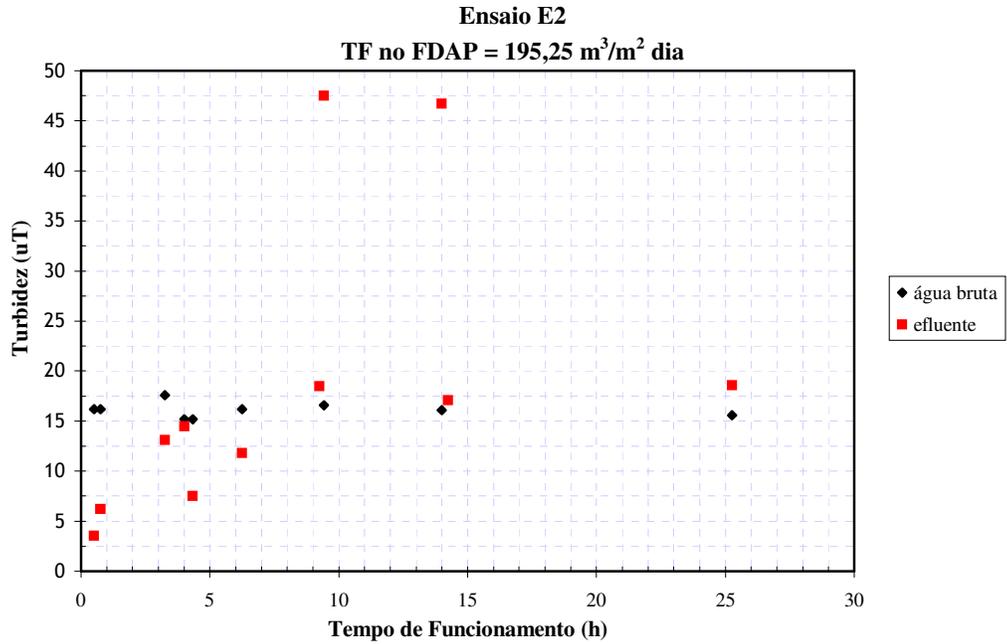
**FIGURA B1 – Ensaio E1 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



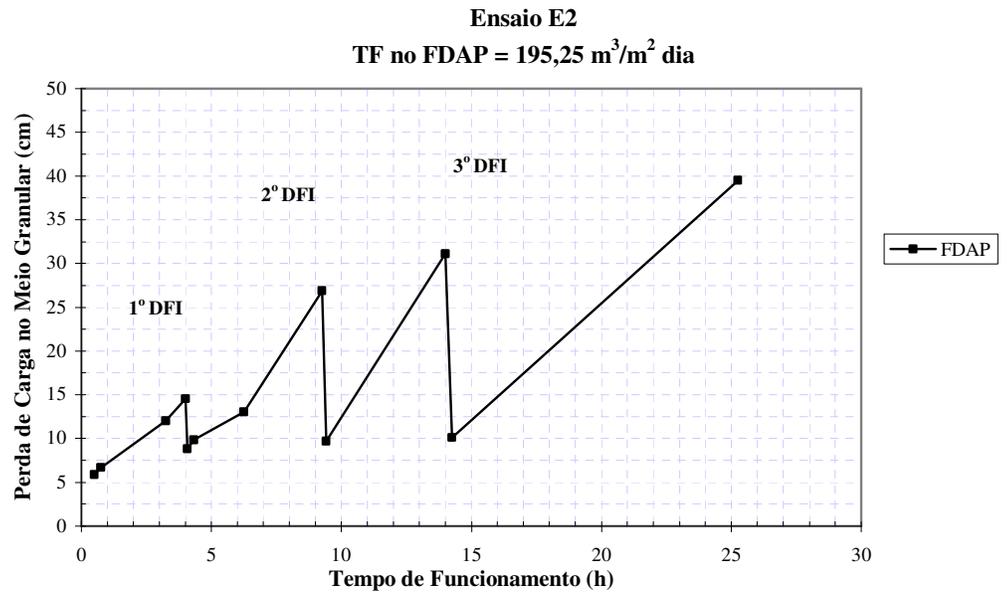
**FIGURA B2 – Ensaio E1 – Perda de Carga no meio Granular do Filtro FDAP (a 20<sup>0</sup>C).**



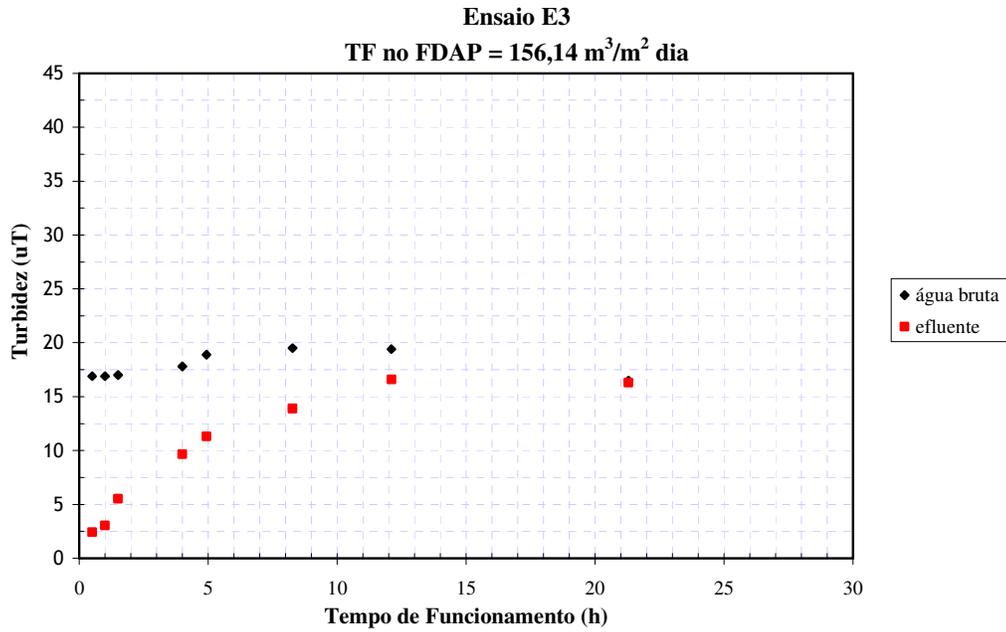
**FIGURA B3 – ECF 5 – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do FLA.**



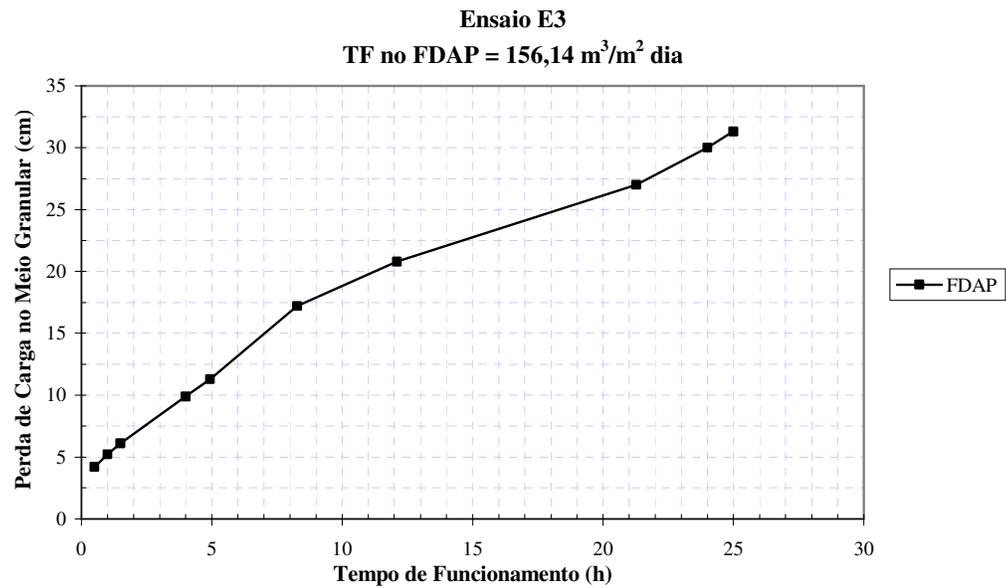
**FIGURA B4 – Ensaio E2 – Turbidez da água bruta e efluente do filtro FDAP.**



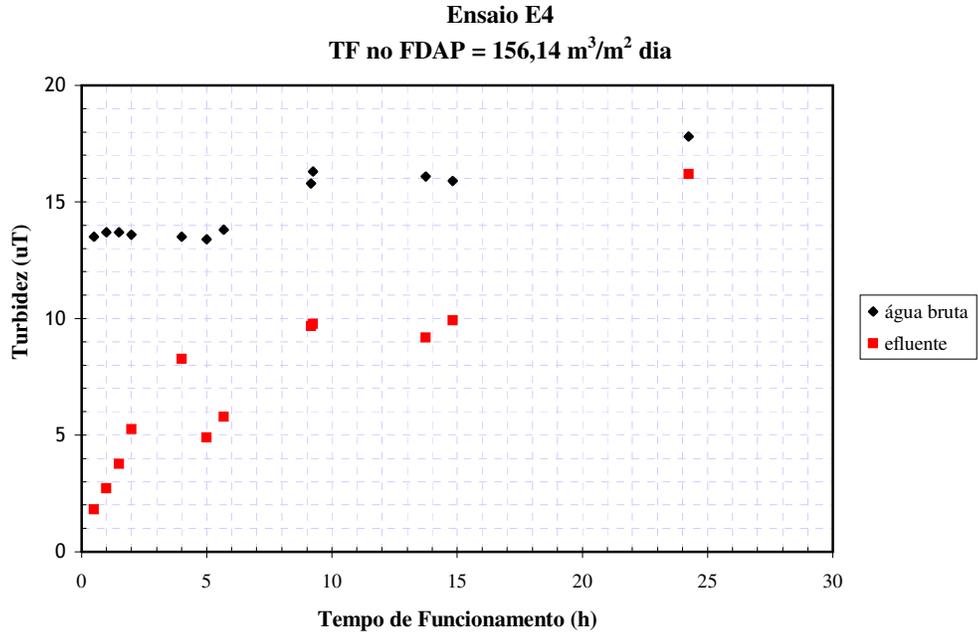
**FIGURA B5 – Ensaio E2 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>o</sup> C).**



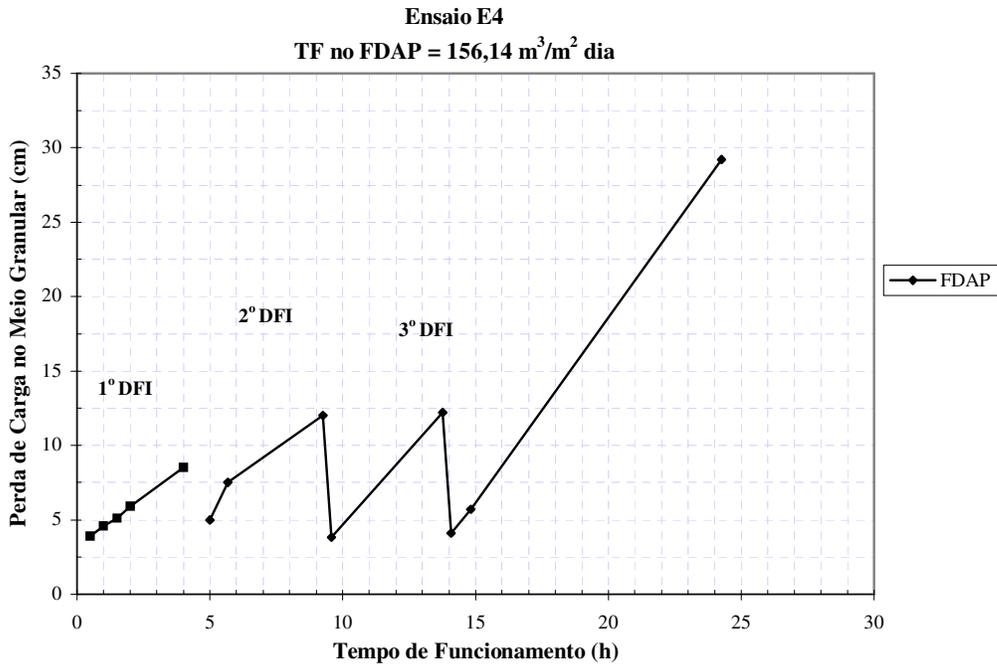
**FIGURA B6 – Ensaio E3 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



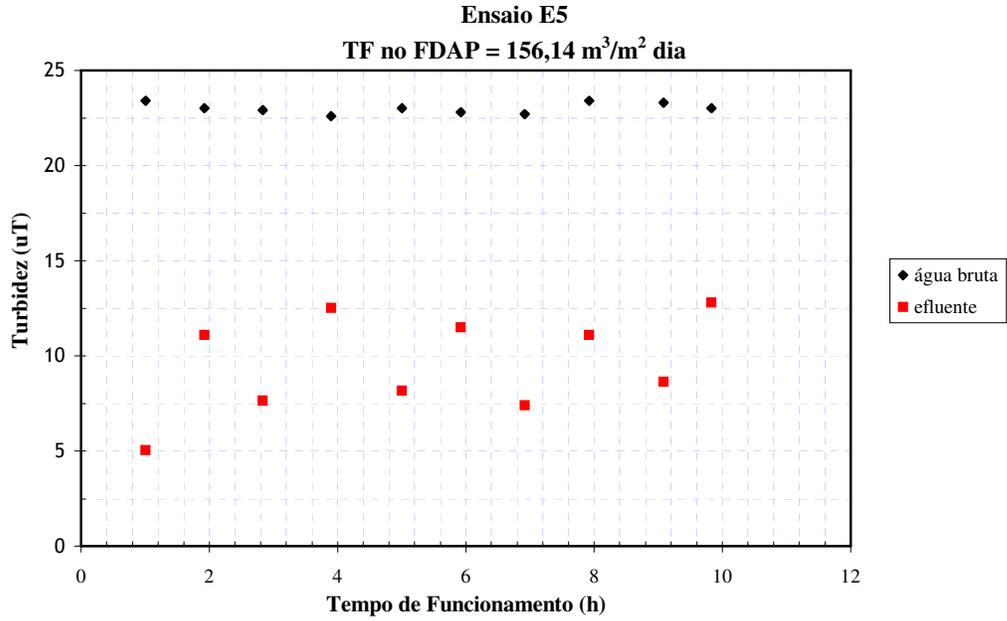
**FIGURA B7 – Ensaio E3 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>0</sup> C).**



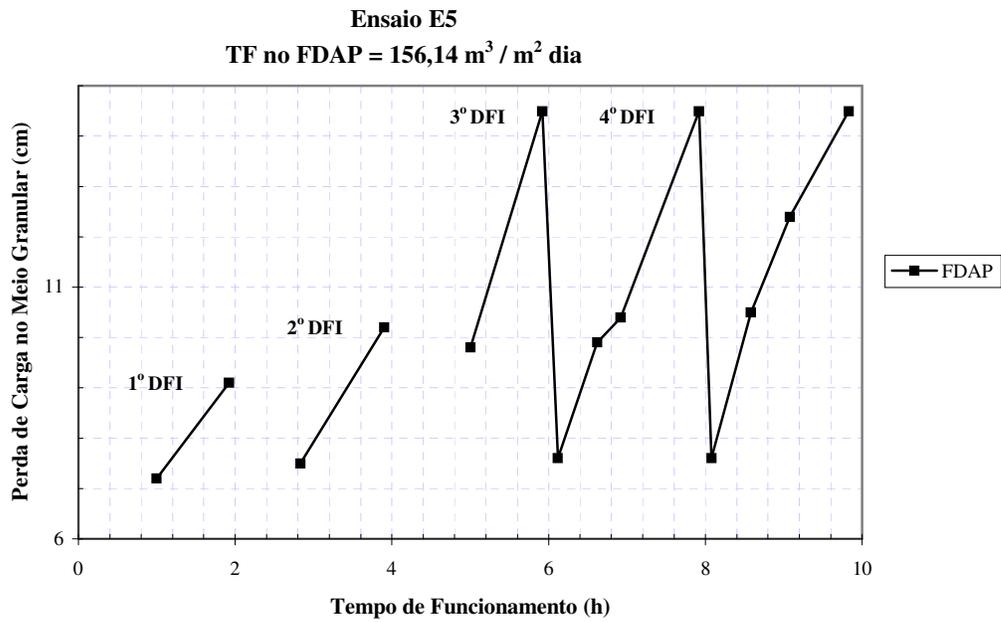
**FIGURA B8 – Ensaio E4 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



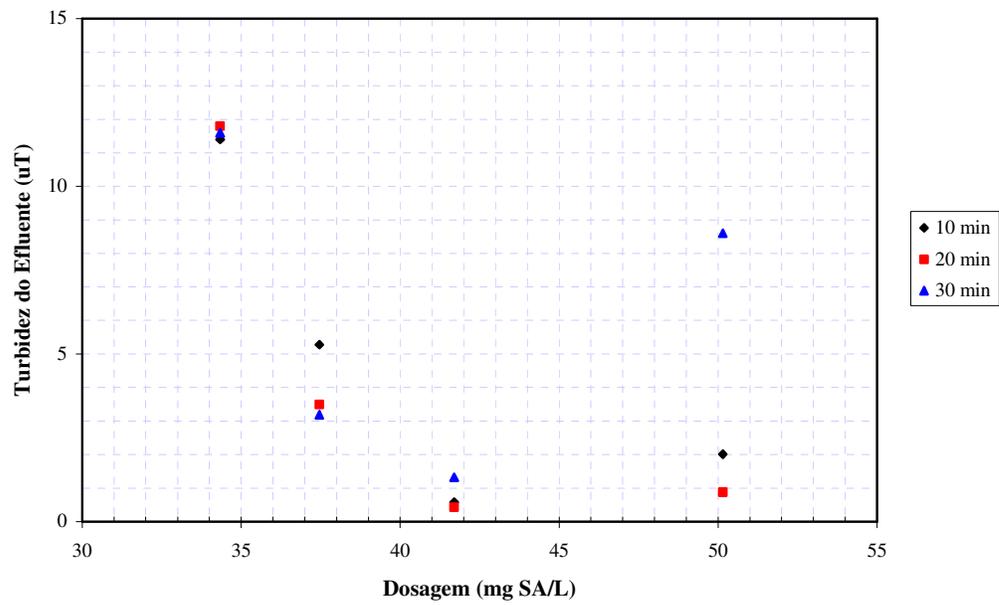
**FIGURA B9 – Ensaio E4 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>0</sup> C).**



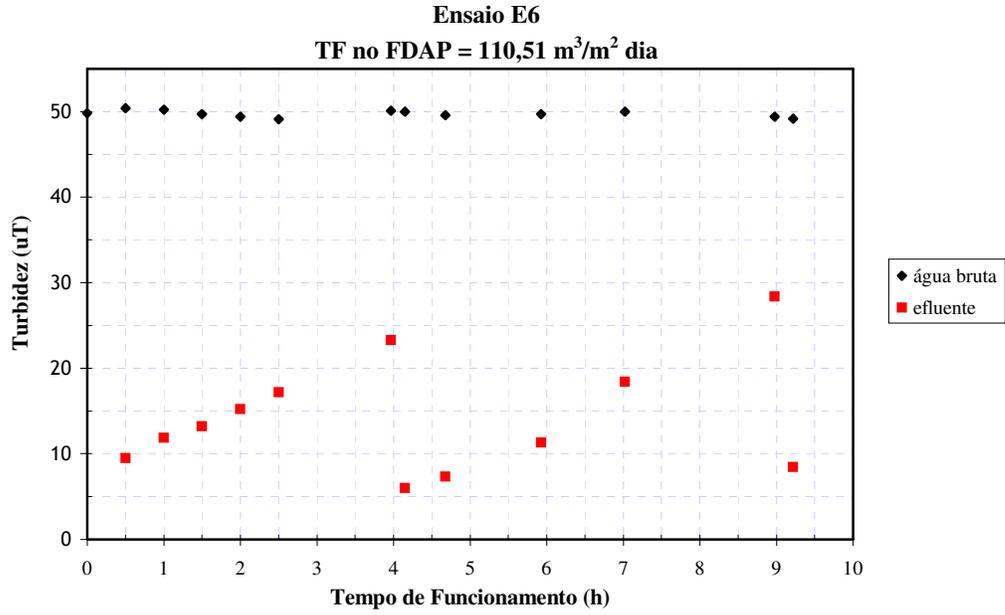
**FIGURA B10 – Ensaio E5 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



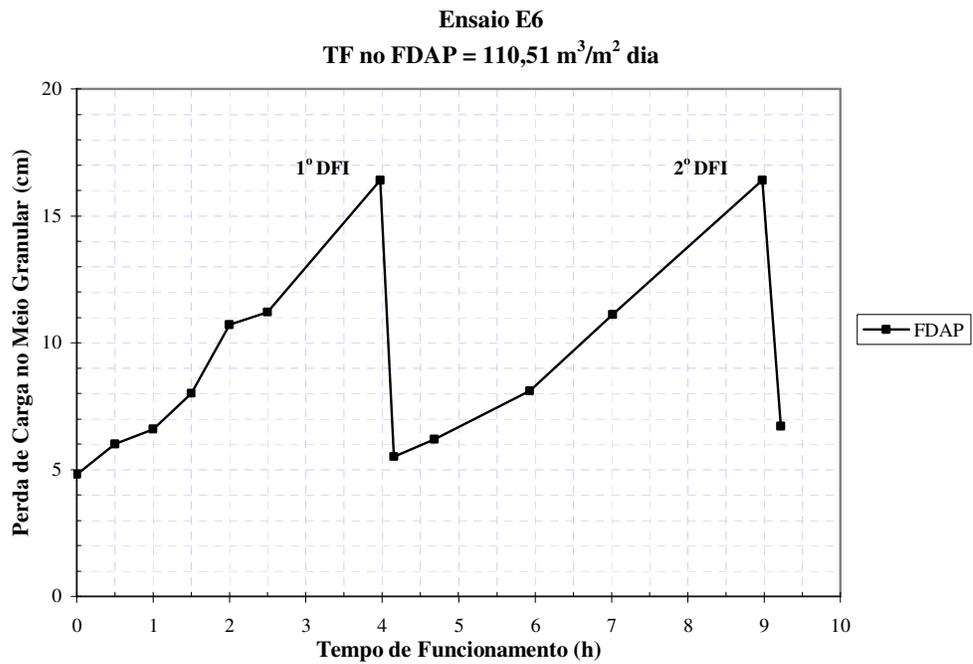
**FIGURA B11 – Ensaio E5 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>0</sup> C).**



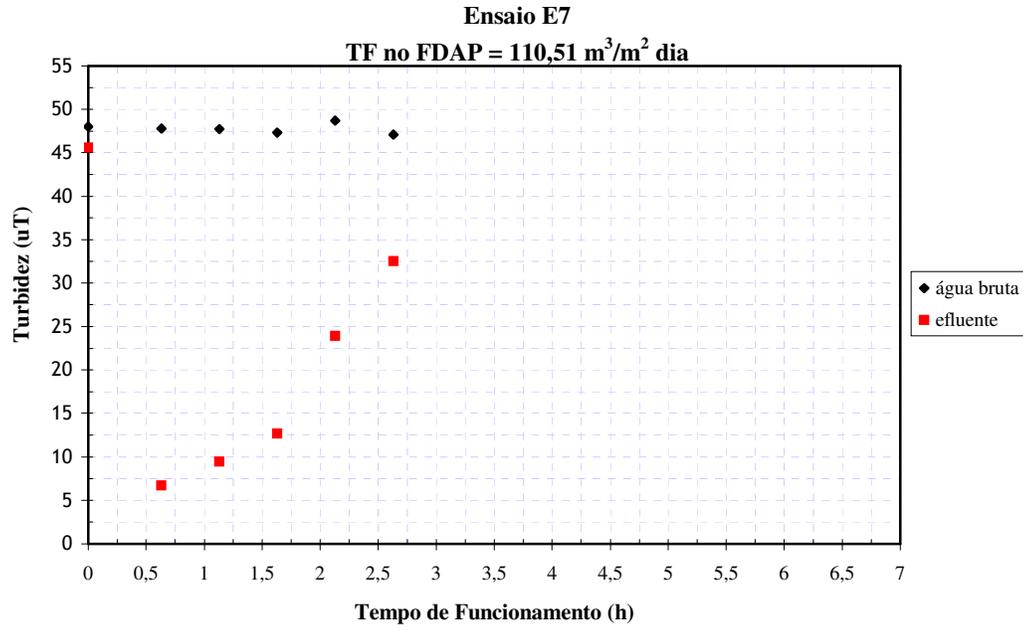
**FIGURA B12 – ECF 6 – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do FLA.**



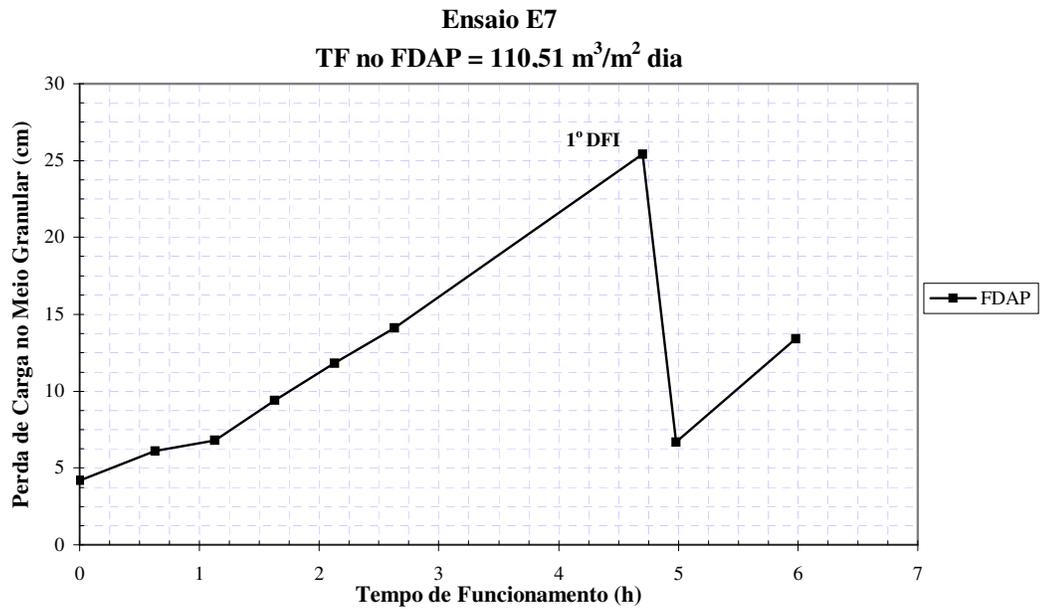
**FIGURA B13 – Ensaio E6 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



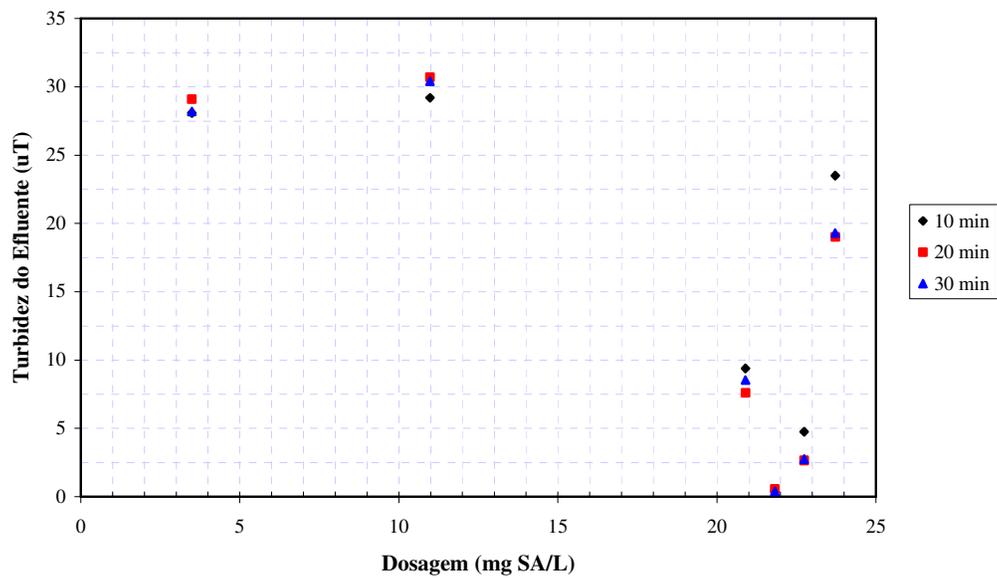
**FIGURA B14 – Ensaio E6 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>0</sup> C).**



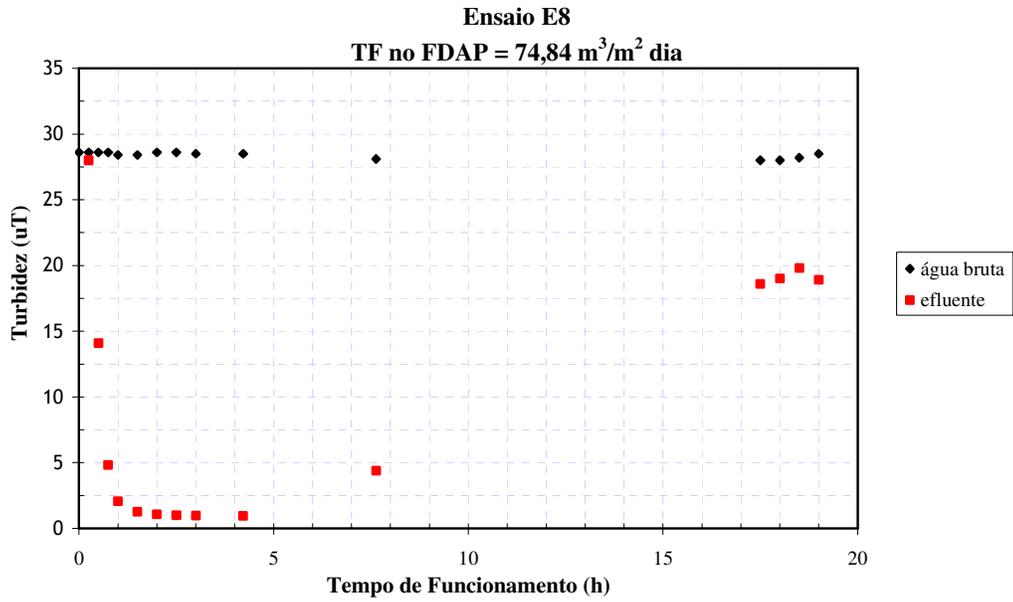
**FIGURA B15 – Ensaio E7 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



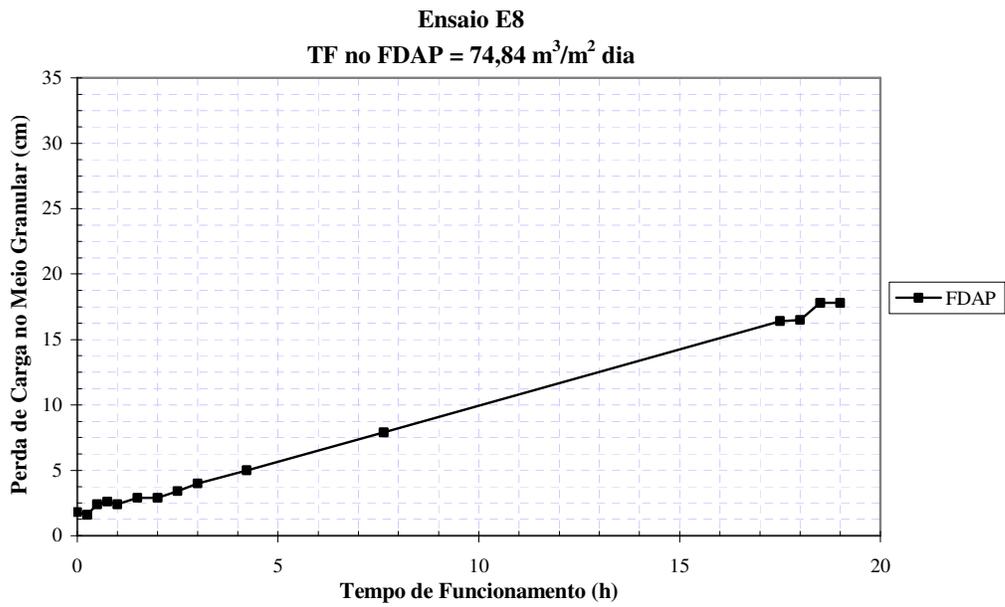
**FIGURA B16 – Ensaio E7 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>0</sup> C).**



**FIGURA B17 – ECF 7 – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do FLA.**



**FIGURA B18 – Ensaio E8 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



**FIGURA B19 – Ensaio E8 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>o</sup> C).**

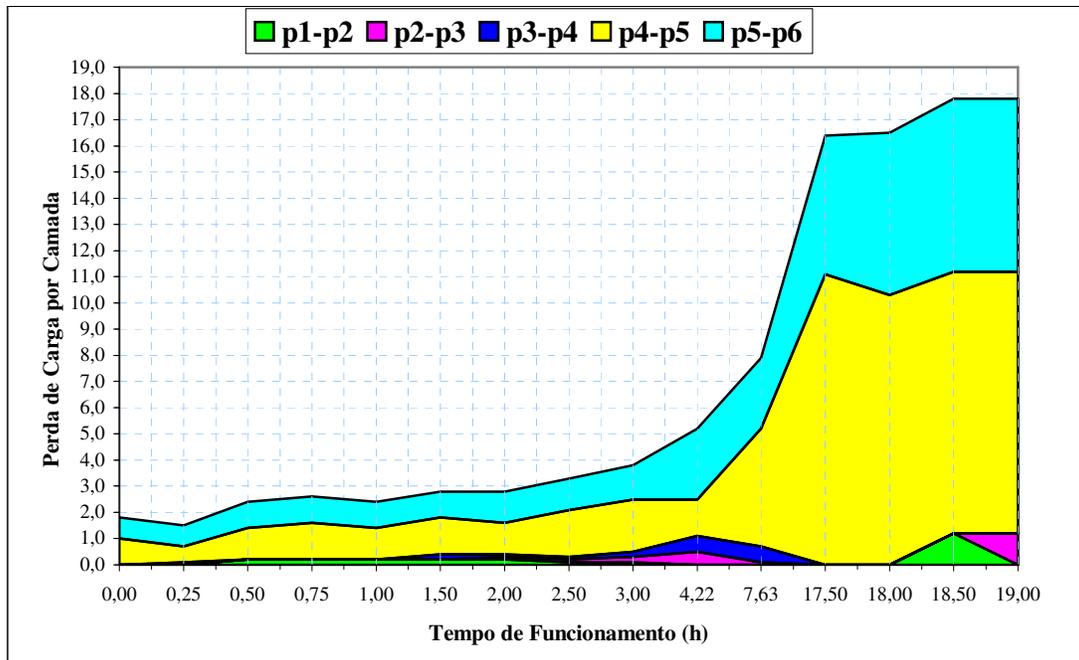


FIGURA B20 – Ensaio E8 – Perda de Carga nas subcamadas do meio Granular.

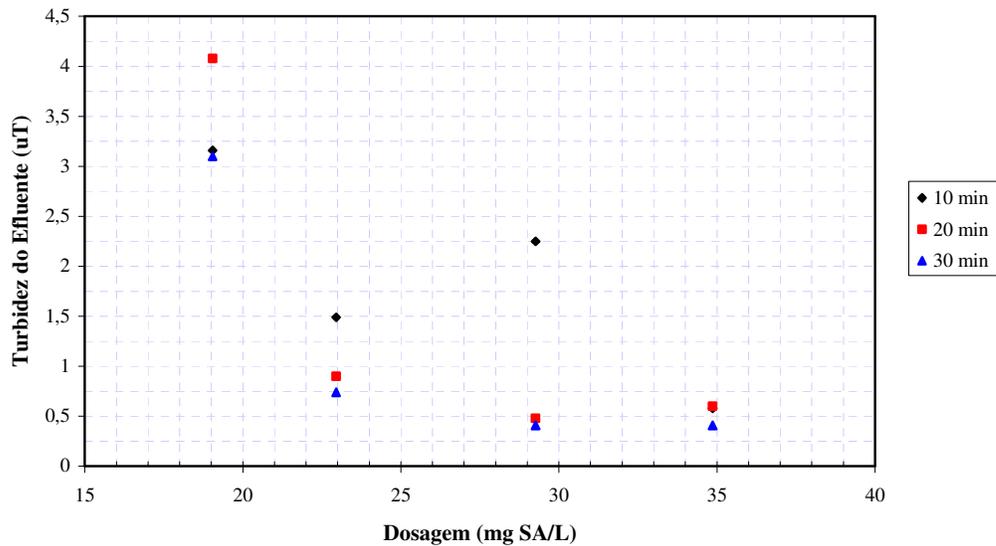
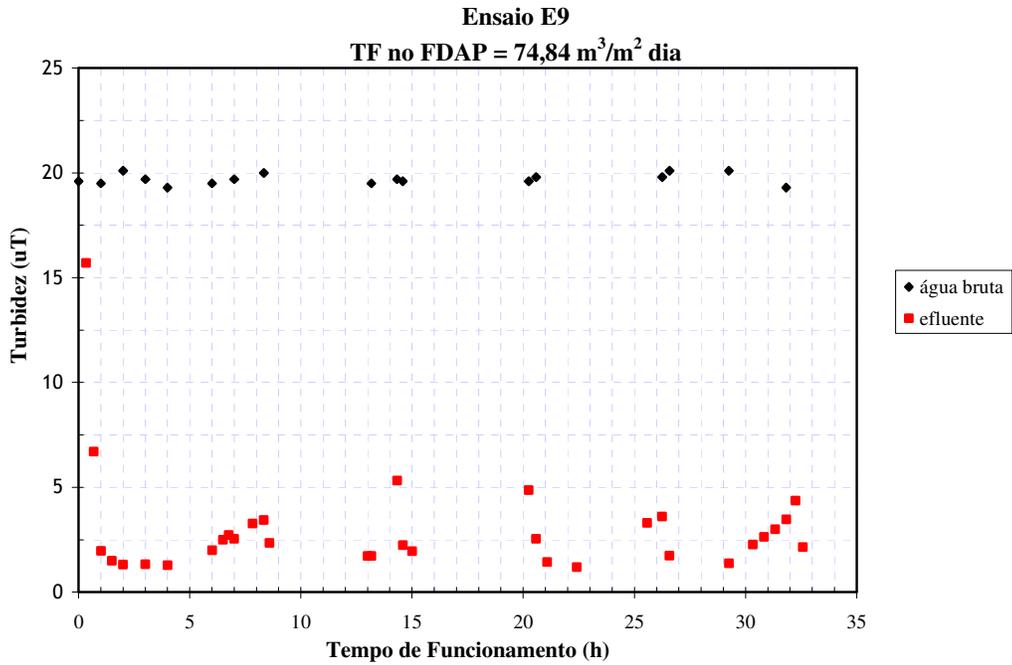
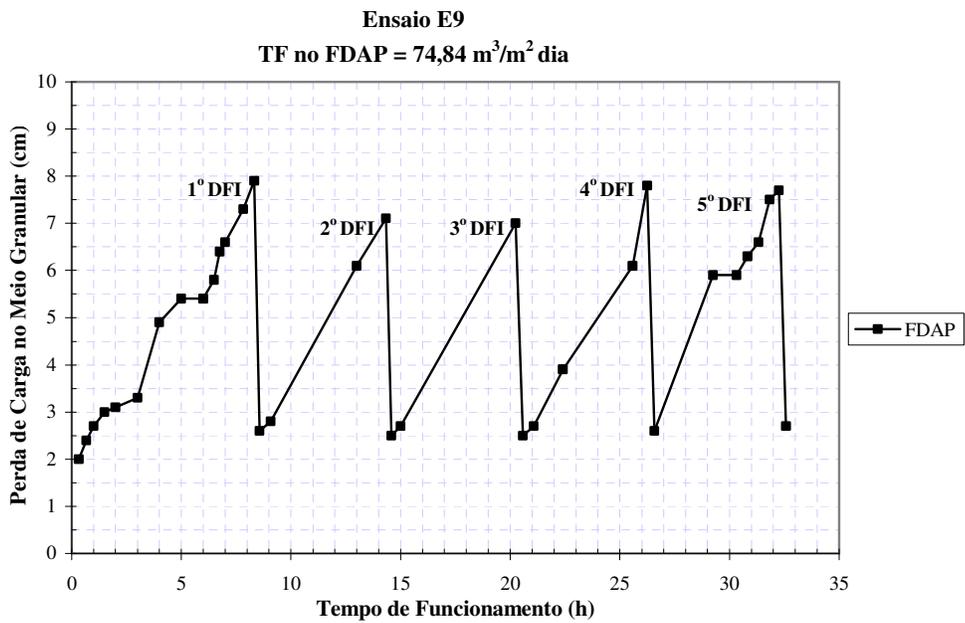


FIGURA B21 – ECF 8 – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do FLA.



**FIGURA B22 – Ensaio E9 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



**FIGURA B23 – Ensaio E9 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>o</sup> C).**

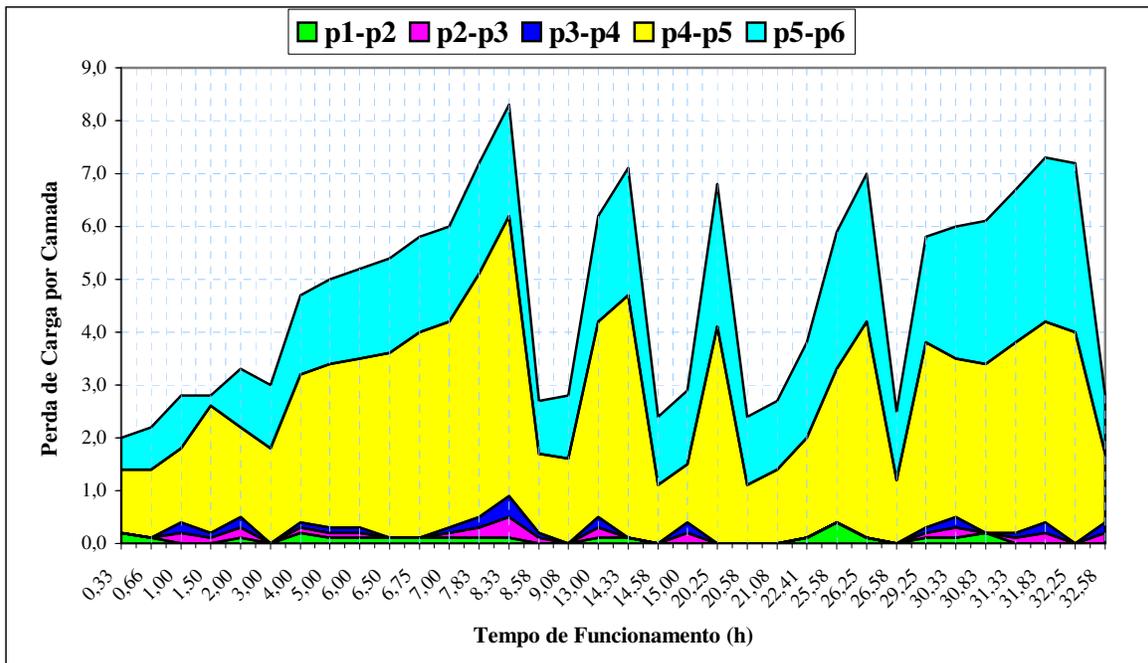


FIGURA B24 – Ensaio E9 – Perda de Carga nas subcamadas do meio Granular.

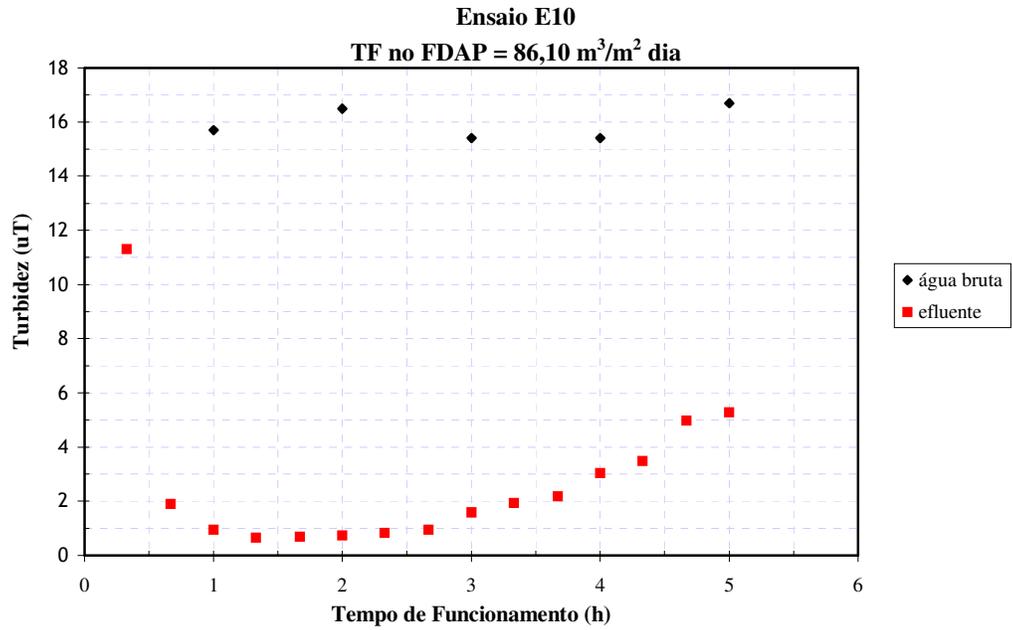


FIGURA B25 – Ensaio E10 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.

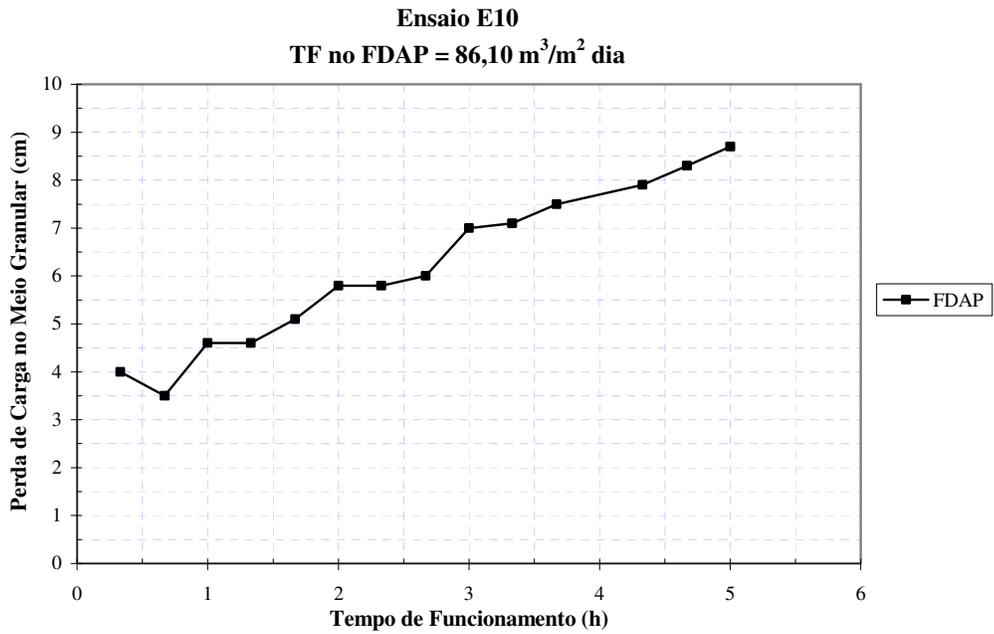


FIGURA B26 – Ensaio E10 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>0</sup> C).

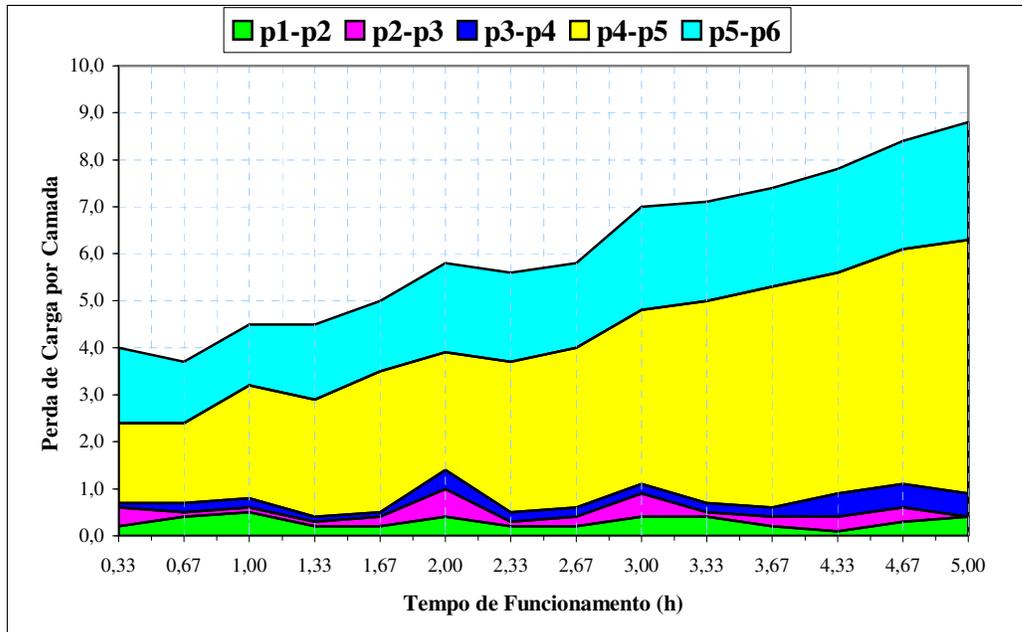
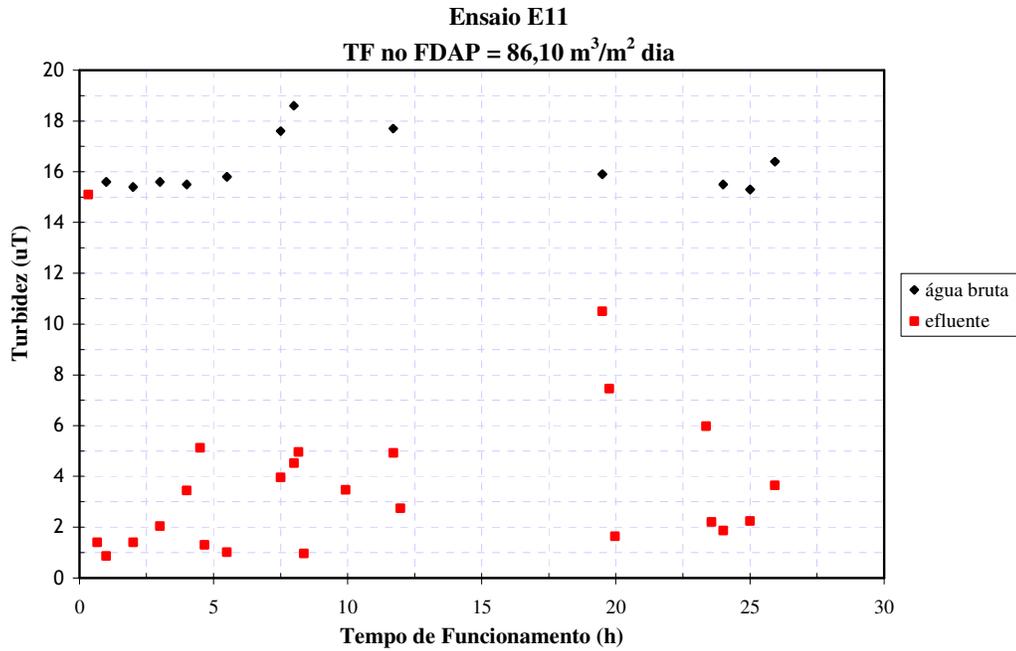
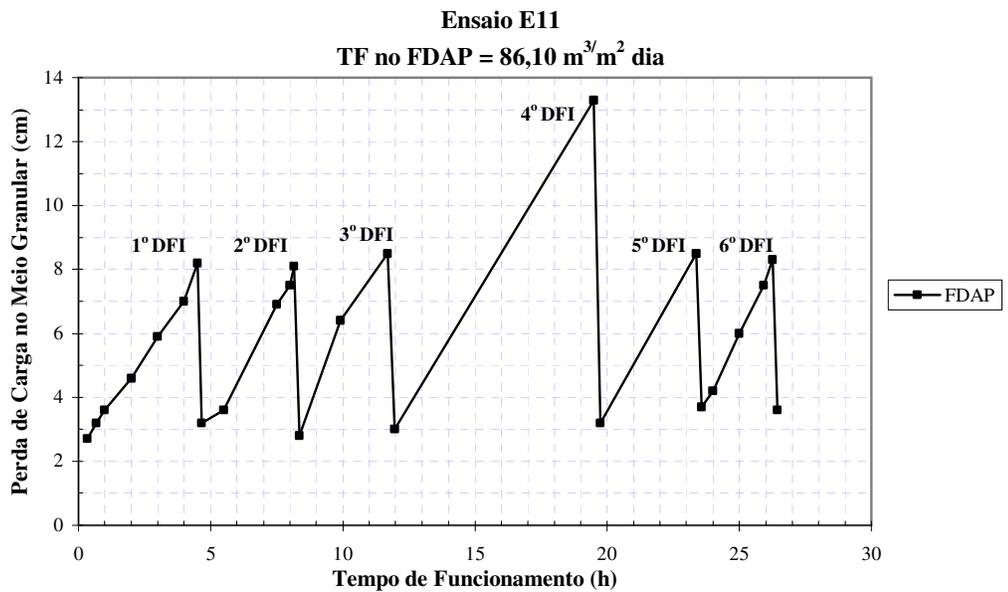


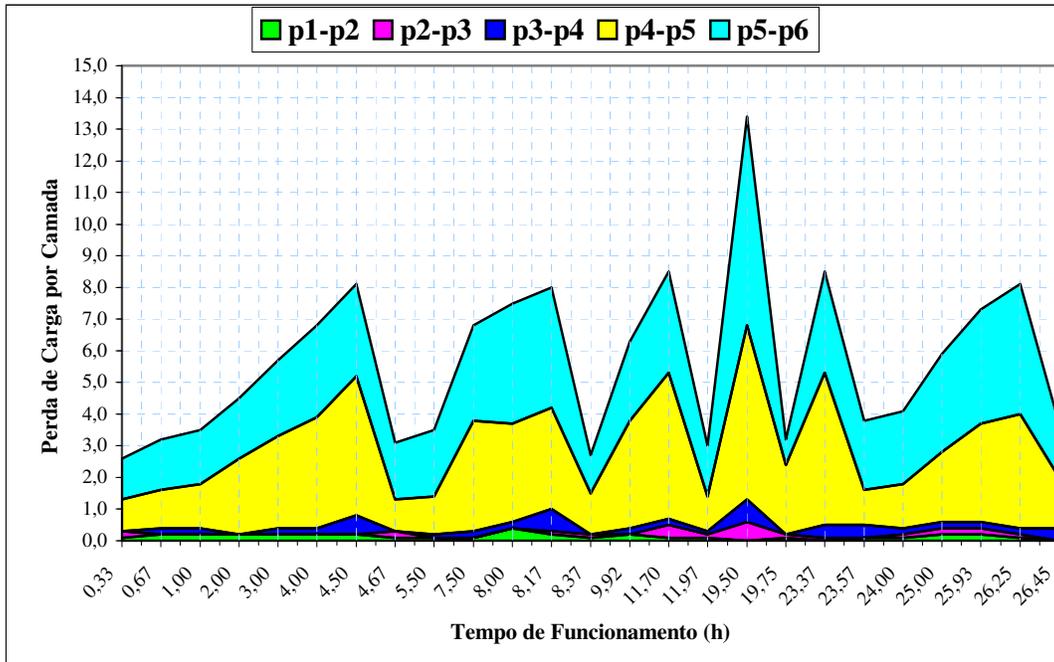
FIGURA B27 – Ensaio E10 – Perda de Carga nas subcamadas do meio Granular.



**FIGURA B28 – Ensaio E11 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



**FIGURA B29 – Ensaio E11 – Perda de Carga no meio Granular (a 20° C).**



**FIGURA B30 – Ensaio E11 – Perda de Carga nas subcamadas do meio Granular.**

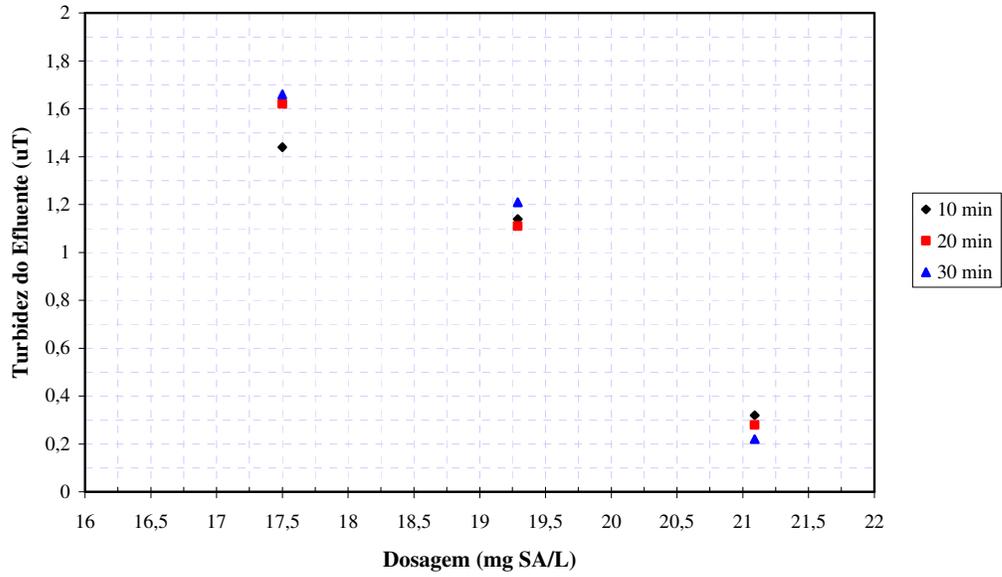


FIGURA B31 – ECF 9 – Dosagem do Coagulante e Turbidez do Efluente do FLA.

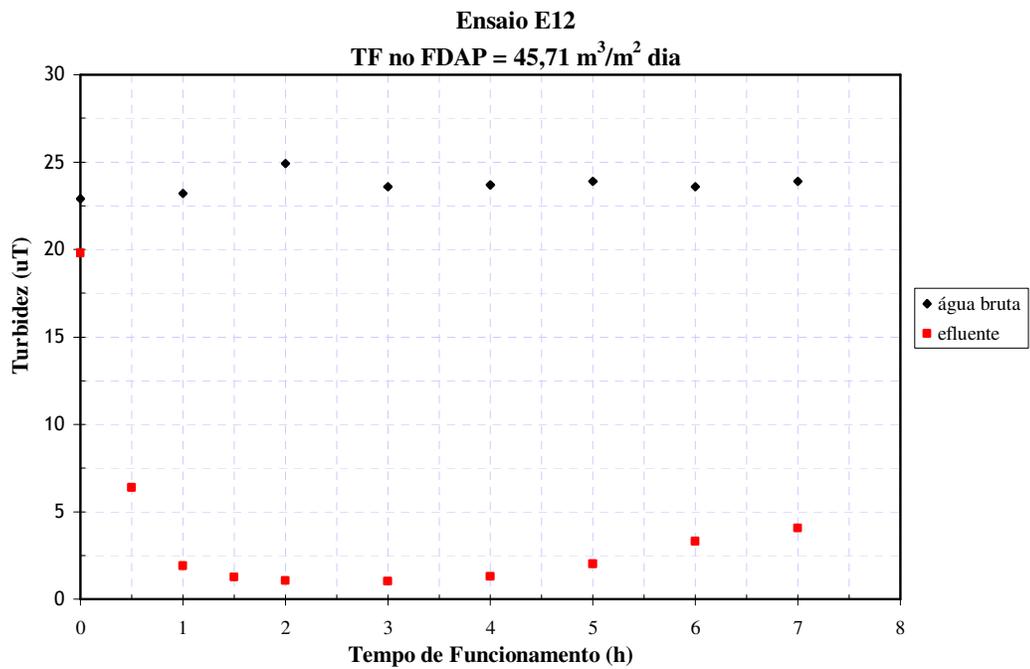
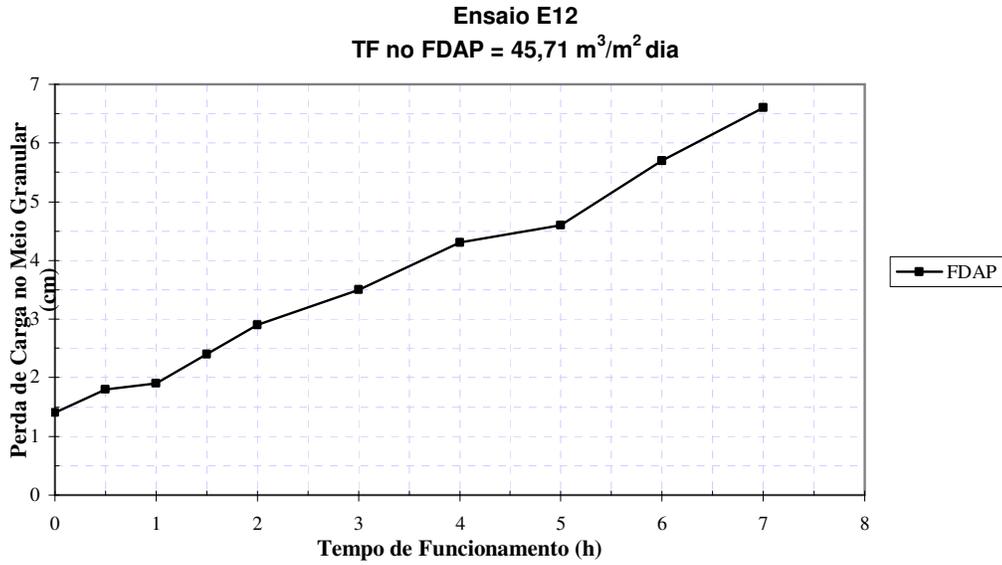
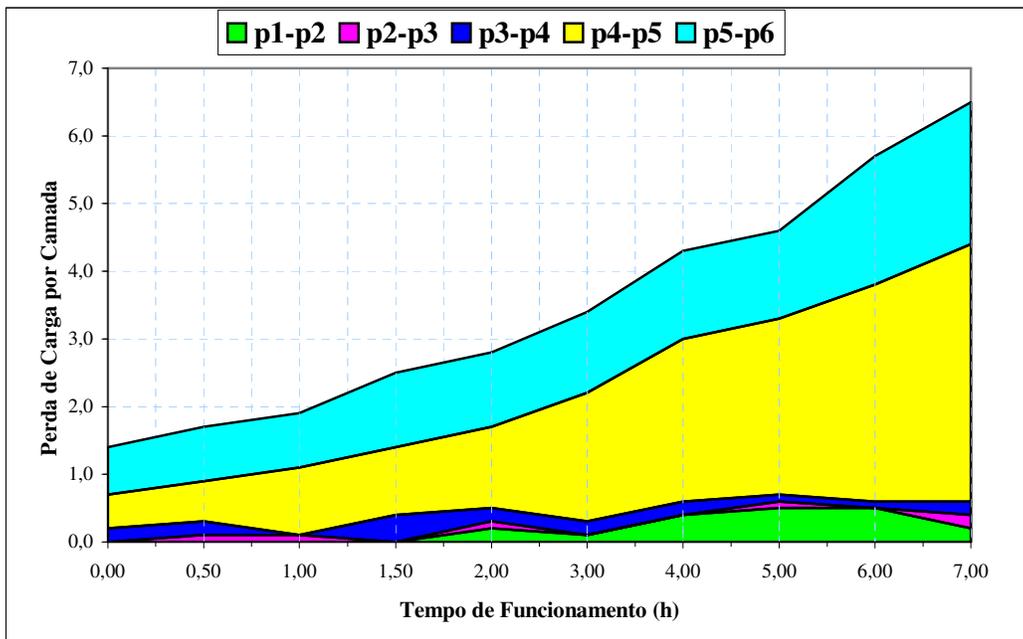


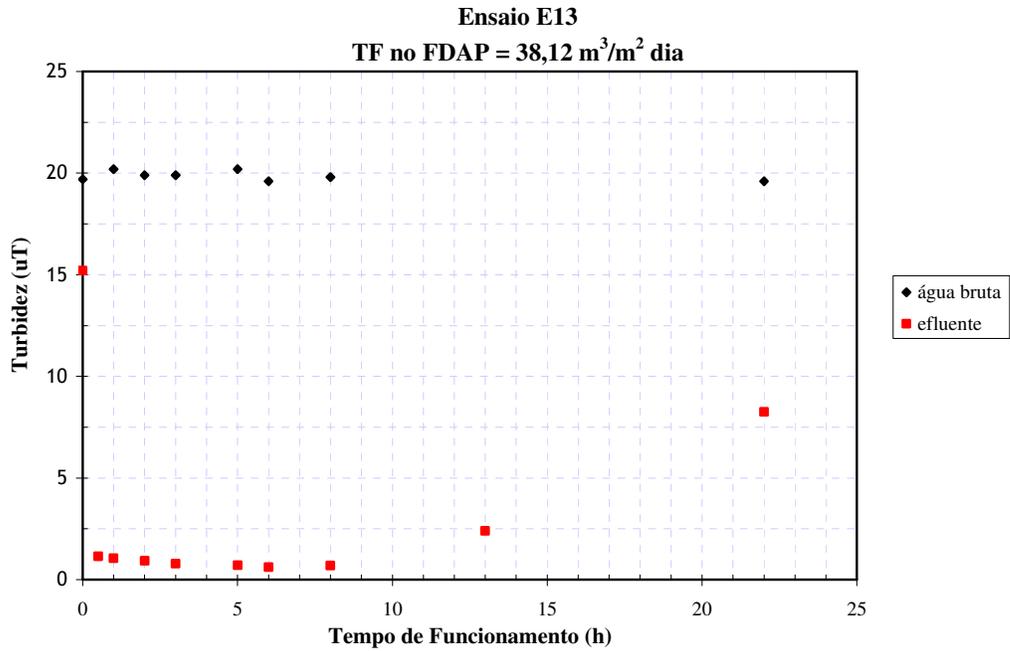
FIGURA B32 – Ensaio E12 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.



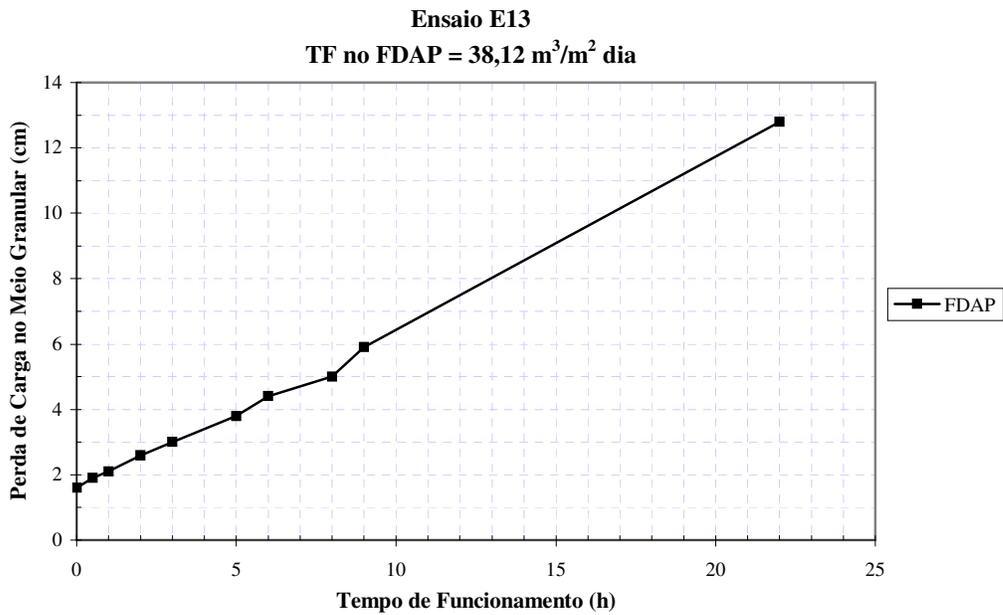
**FIGURA B33 – Ensaio E12 – Perda de Carga no Meio Granular (a 20<sup>0</sup> C).**



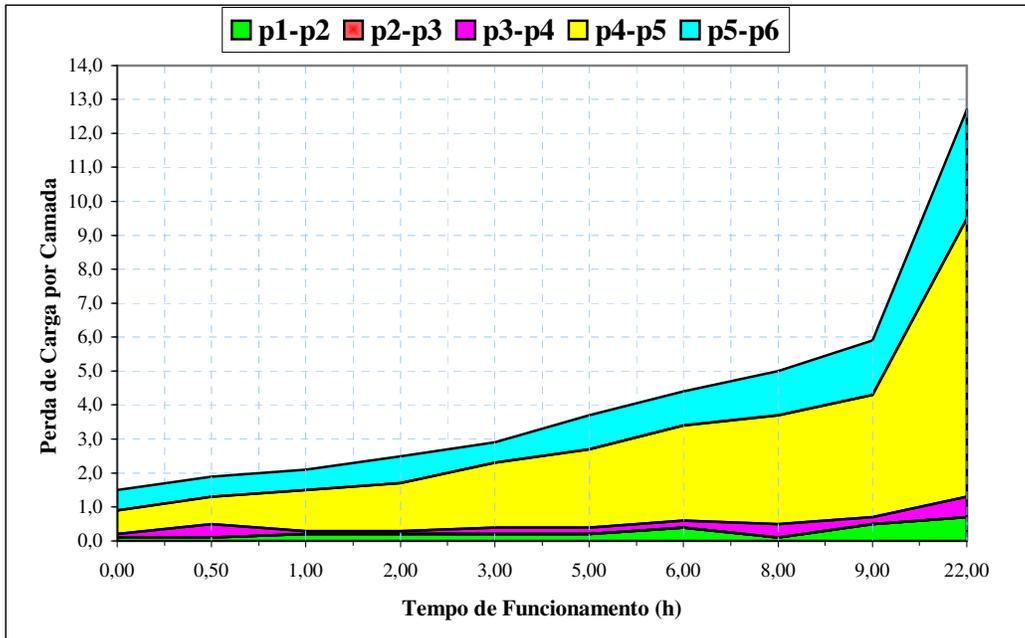
**FIGURA B34 – Ensaio E12 – Perda de Carga nas subcamadas do Meio Granular.**



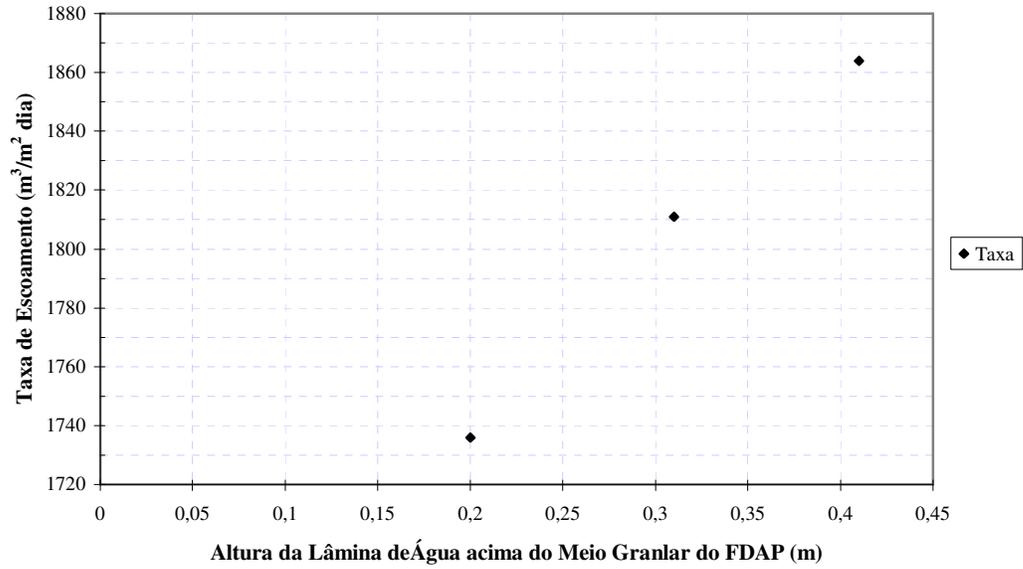
**FIGURA B35 – Ensaio E13 – Turbidez da água bruta e efluente do FDAP.**



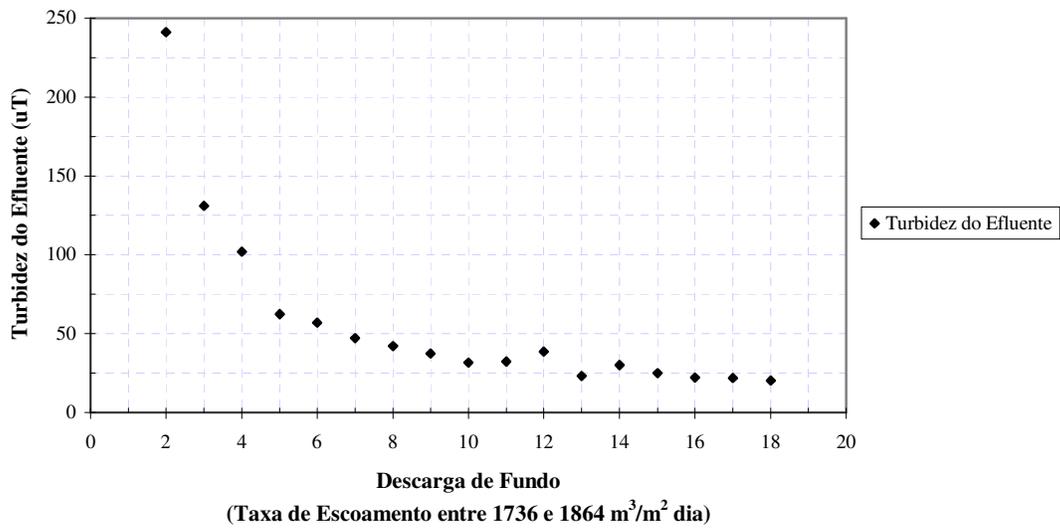
**FIGURA B36 – Ensaio E13 – Perda de Carga no meio Granular (a 20<sup>0</sup> C).**



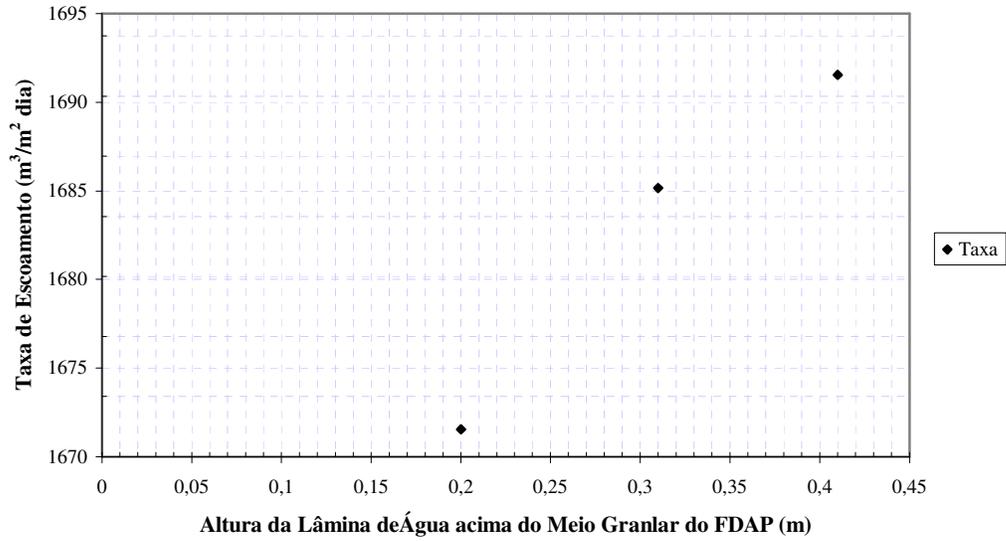
**FIGURA B37 – Ensaio E13 – Perda de Carga nas subcamadas do meio Granular.**



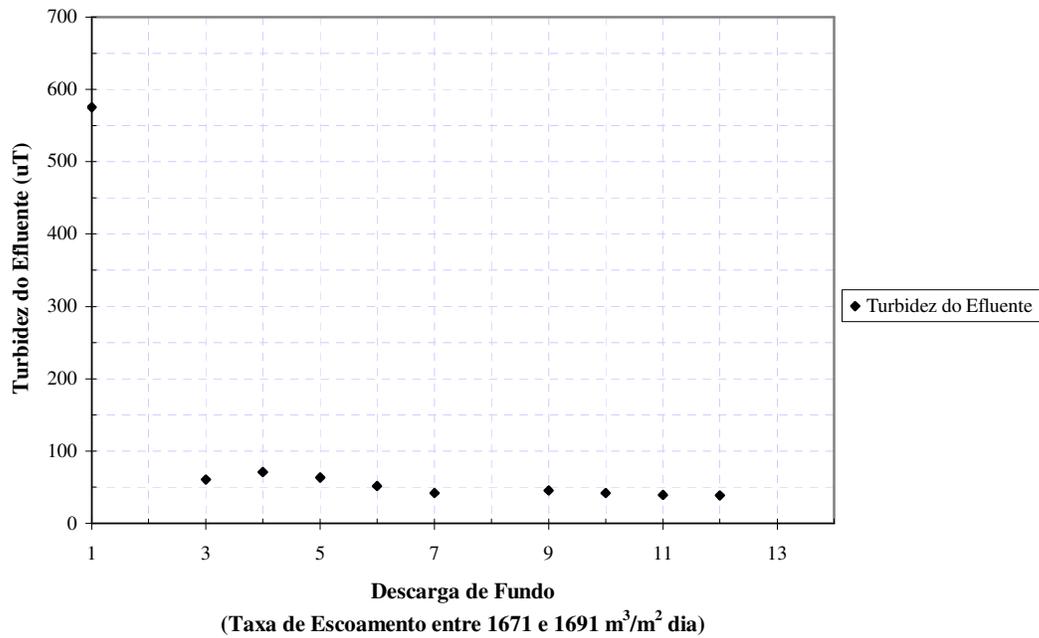
**FIGURA B38 – Ensaio E1 – Taxa de escoamento das Descargas de Fundo.**



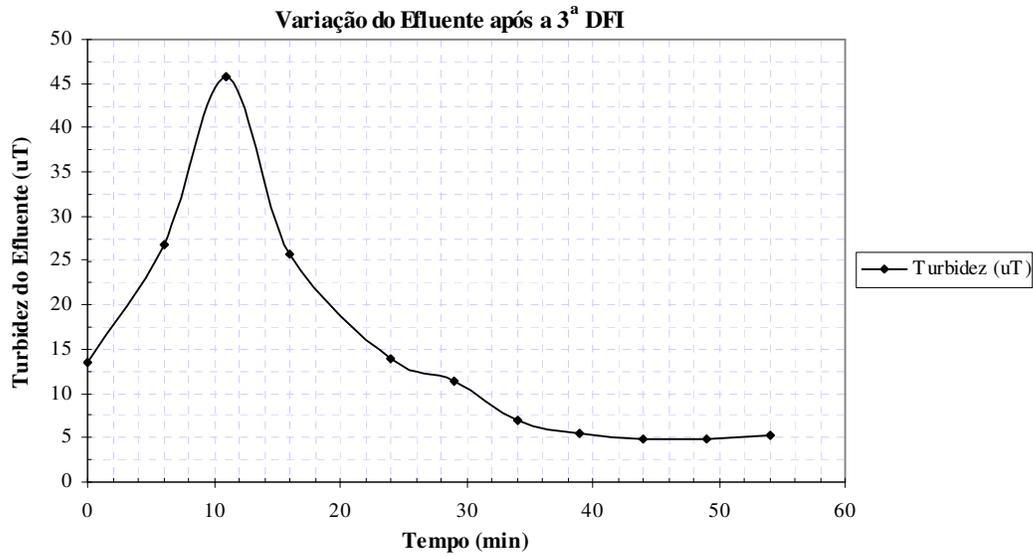
**FIGURA B39 – Ensaio E1 – Curva de Turbidez do Efluente das Descargas de Fundo.**



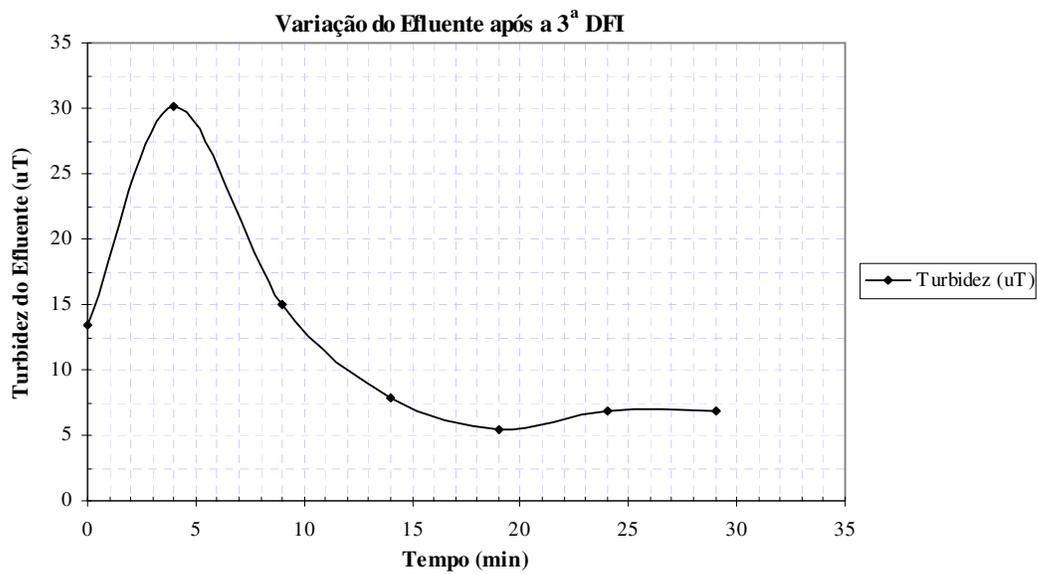
**FIGURA B40 – Ensaio E2 – Taxa de escoamento das Descargas de Fundo.**



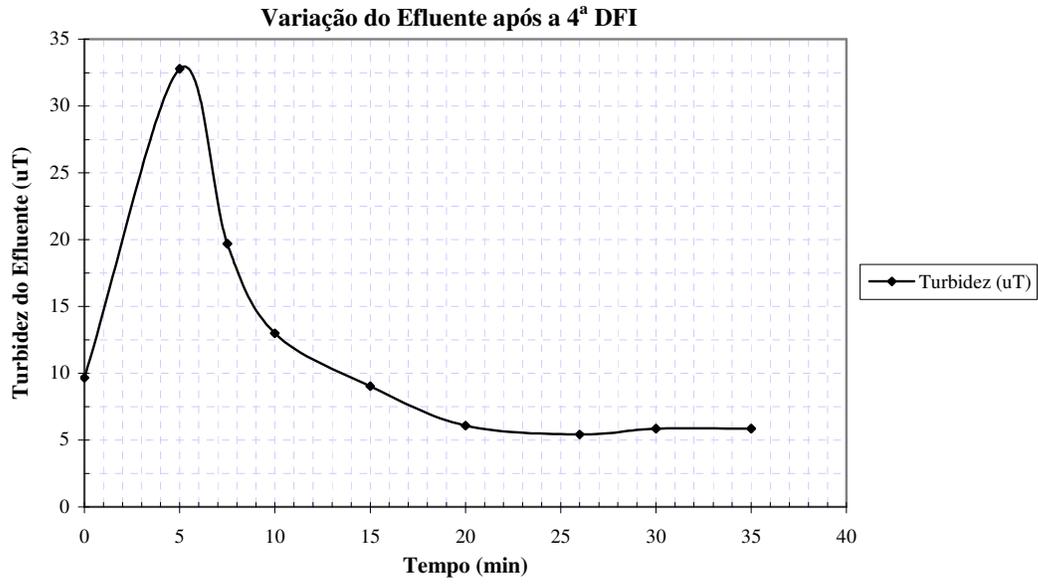
**FIGURA B41 – Ensaio E2 – Curva de Turbidez do Efluente das Descargas de Fundo.**



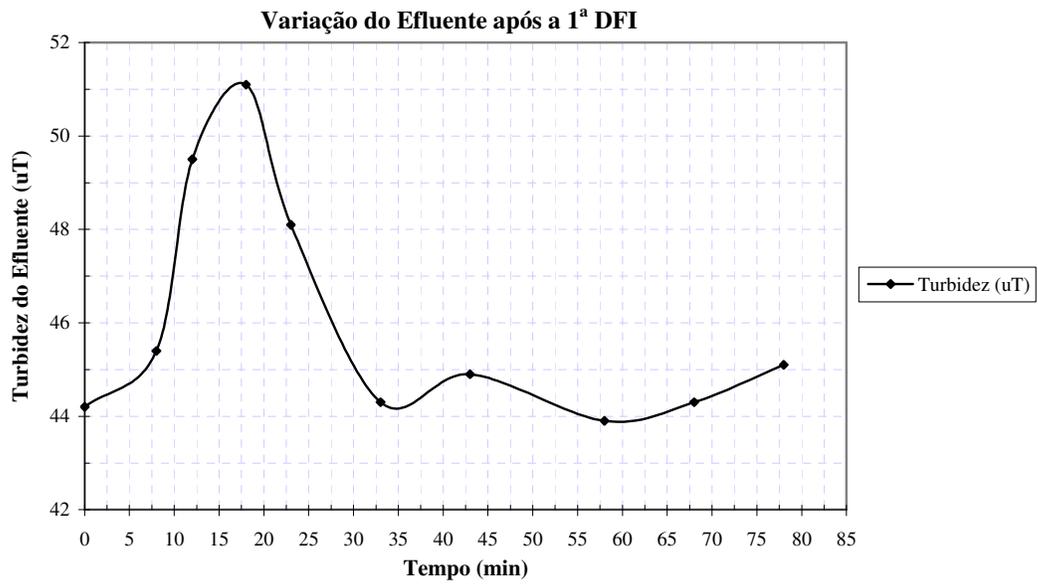
**FIGURA B42 – Ensaio E4 – Curva de Turbidez do Efluente do filtro após a 3ª DFI.**



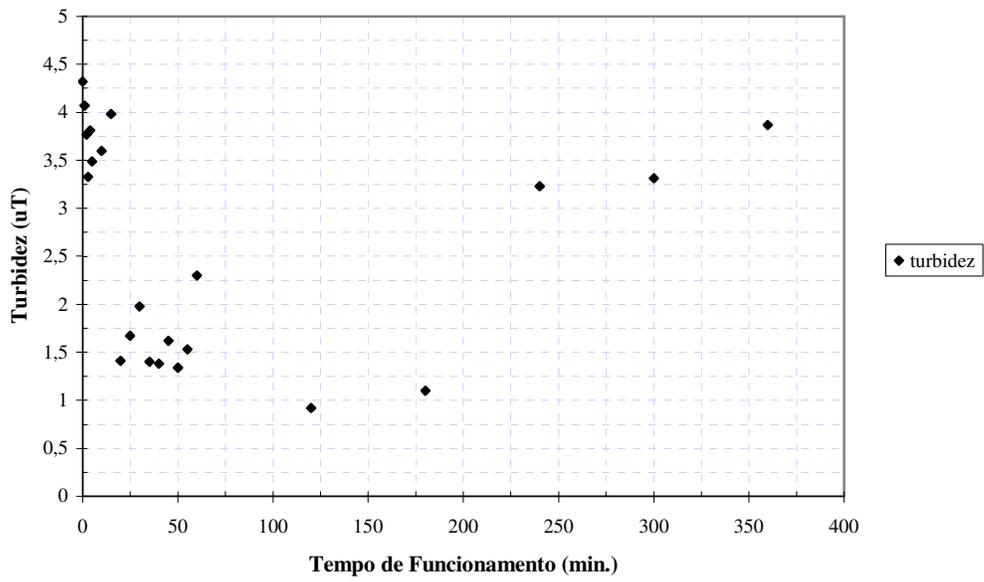
**FIGURA B43 – Ensaio E5 – Curva de Turbidez do Efluente do filtro **FDAP** após a 3ª DFI.**



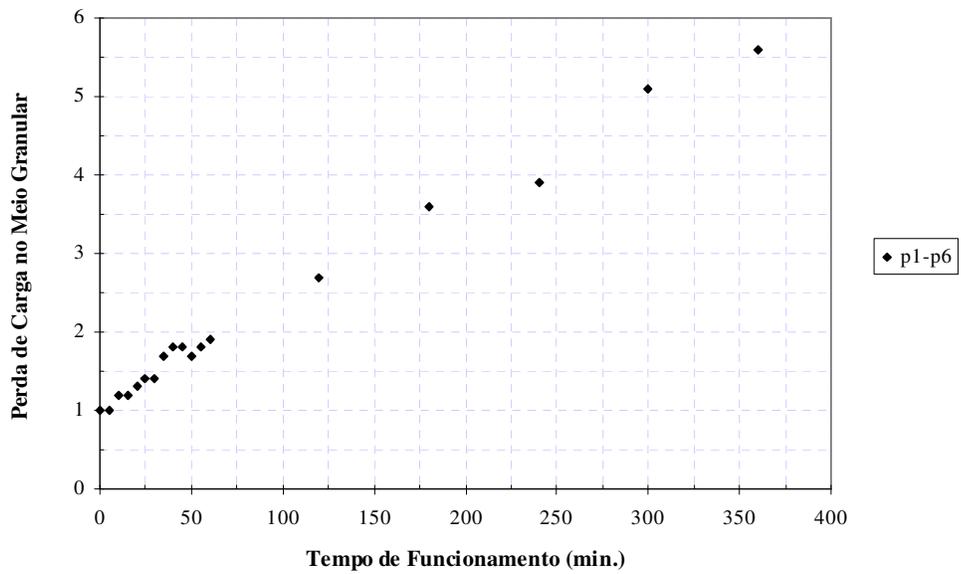
**FIGURA B44 – Ensaio E5 – Curva de Turbidez do Efluente do FDAP após a 4ª DFI.**



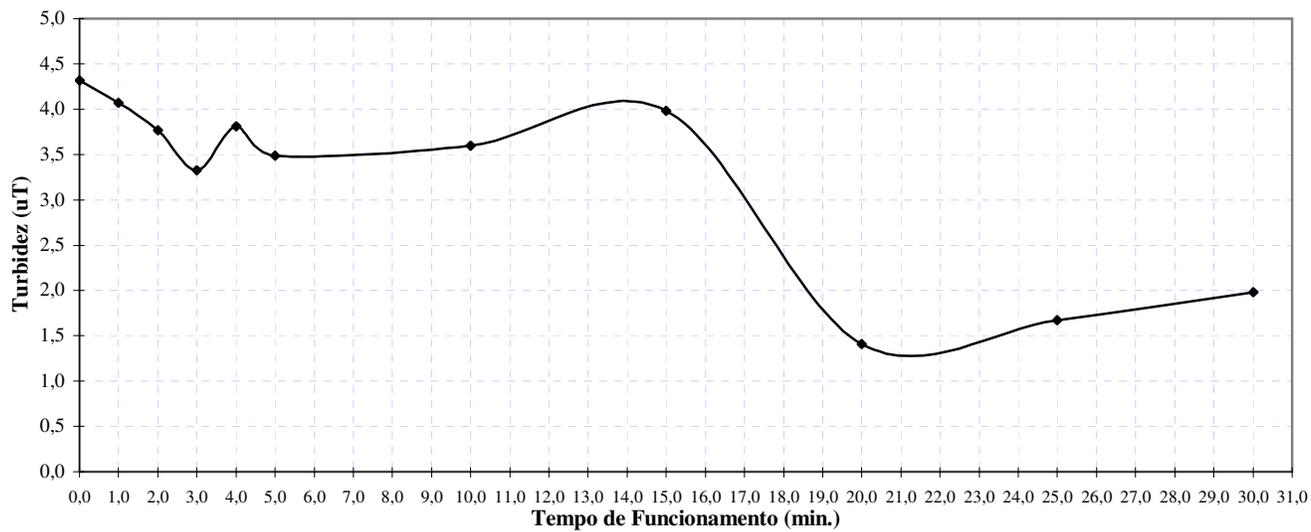
**FIGURA B45 – Ensaio E7 – Curva de Turbidez do Efluente do filtro após DF.**



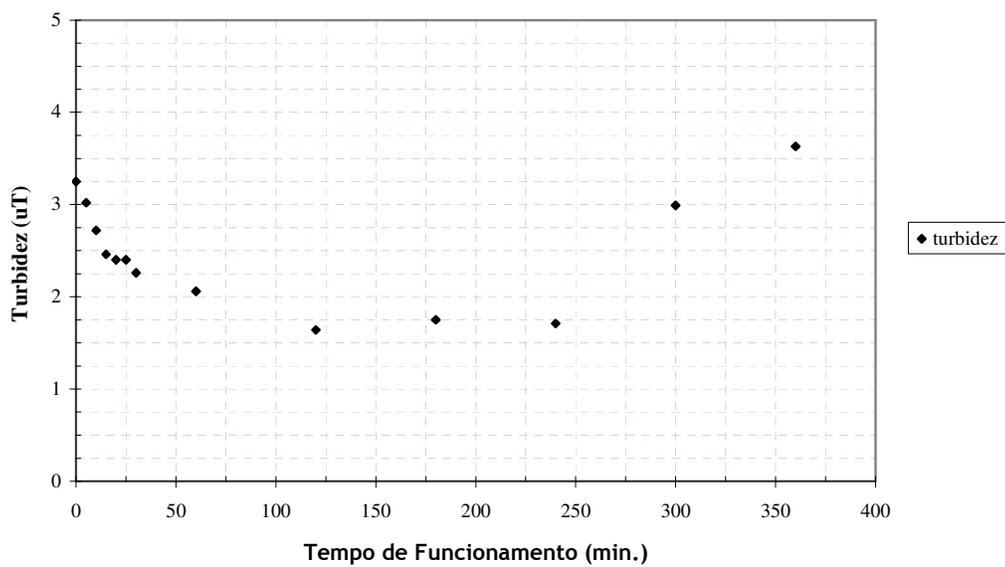
**FIGURA B46 – Ensaio Especial (EE1) – Turbidez do Efluente no filtro FDAP.**



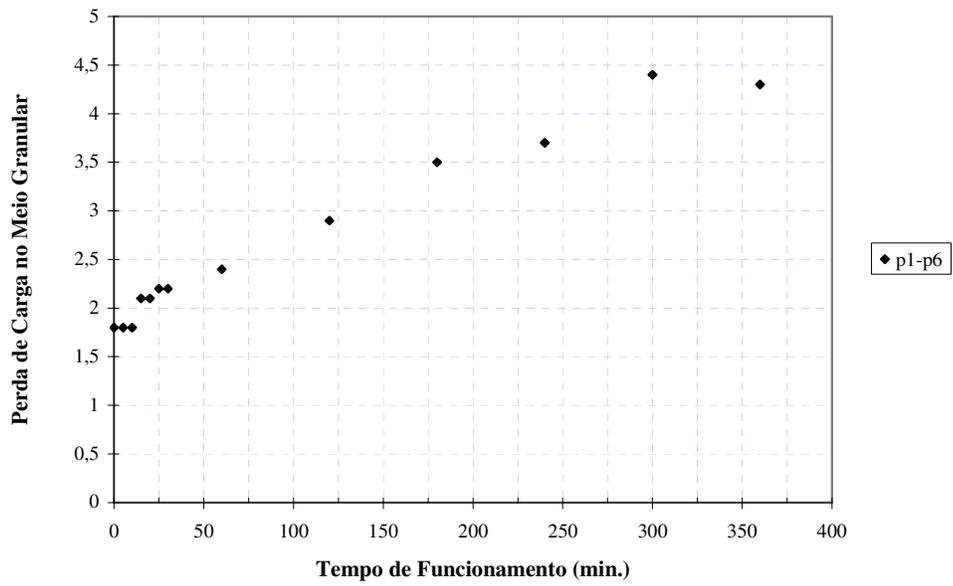
**FIGURA B47 – Ensaio Especial (EE1) – Perda de Carga no Meio Granular.**



**FIGURA B48 – Ensaio Especial (EE1) – Perda de Carga no período inicial.**



**FIGURA B49 – Ensaio Especial (EE2) – Turbidez do Efluente no filtro FDAP.**



**FIGURA B50** – Ensaio Especial (EE2) – Perda de Carga no meio Granular.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- AHSAN, T. (1995).** *Process analysis and optimization of direct horizontal-flow roughing filtration.* Delft. 193p. Tese (Doutorado) – Delft University of Technology e International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering.
- AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K. M. (1982).** Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation.
- AMIRTHARAJAH, A. (1988).** Some theoretical and conceptual views of filtration. *Journal American Water Works Association*, v. 80, n. 12, p. 36-46, dec.
- AMIRTHARAJAH, A. (1989).** The mechanisms of coagulation. Anais do seminário nacional sobre coagulação e filtração São Carlos.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984).** *NBR 7181* – Solo – Análise granulométrica.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992).** *NBR 12216* – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995).** *NBR 650* – Rochas e solos. Rio de Janeiro.
- AWWA (1980).** Committee report – The status of direct filtration. *Journal American Water Works Association*, v. 72, n. 5, p. 67-74.
- BRADY, NYLE C.(1979).** The nature and properties of soils. p, 42.
- BRANCO, S. M (1986).** Hidrologia aplicada a engenharia sanitária. São Paulo, **CETESB**, p. 264.

- CHAO, J. L.; STONE, B. G. (1979).** Initial mixing by jet injection blending. *Journal American Works Association*. p, 570.
- CRAFT, T. F. (1966).** Review of rapid sand filtration theory. *Journal American Water Works Association*, v. 58, n. 4, p. 428-39, april.
- DI BERNARDO, L. (1980).** Teoria da filtração.”*Revista DAE*. p. 49-68.
- DI BERNARDO, L. (1993a).** Métodos e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, v.1, 169, 166, 171, 172, 264.
- DI BERNARDO, L. (1993).** Métodos e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro, ABES, v. 2, p. 1,2,4,7, 16, 103, 216-274.
- DI BERNARDO, L. (2002).** Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água. ABES, p. 83, 85, 91,106.
- DI BERNARDO, L. (2003).** Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. São Paulo. PROSAB 3, p. 24, 9, 135,136.
- FAZOLO, A. (1999).** *Desempenho de sistemas de pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente* São Paulo. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, p.12.
- GALVIS, G.; VISSCHER, J.T.; FERNÁNDEZ, J. ; BERON, F. (1993).** Pre-treatment alternatives for drinking water supply systems. Selection, design, operation and maintenance. Occasional paper 22 The Hague, The Netherlands.

**GALVIS, G.; LATORRE, J.; VISSCHER, J.T. (1997).** Filtración en multiplas etapas.  
Tecnología innovativa para el tratamiento de agua (versión preliminar) Cali, Colombia

**GRAHAM, N. J. D. (1988).** Filter pore flocculation as a mechanism in rapid filtration.  
Water.Res. v. 22, n. 10, p, 1229-38.

**GUSMÃO, P. T. (2001).** *Utilização de Filtração direta ascendente como pré-tratamento à filtração rápida descendente para tratamento de água para abastecimento.* São Carlos.Tese (Doutorado) - Universidade de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. p.8, 226.

**GUSMÃO, P. T.; DI BERNARDO, L. (2003).** Desempenho da filtração direta ascendente em pedregulho em sistema de dupla filtração para abastecimento de águas para abastecimento. *Revista engenharia sanitária e ambiental. ABES*, v. 8, n. 3, p. 108-113, Jul/Set

**GÜVEN, O.; BENEFIELD, L. (1983).** The design of in-line jet injection blenders.  
*Journal American Works Association.* p, 357-363.

**HERZIG, J. P. (1970).** Flow of suspension through porous media. Application to deep filtration. Industrial and Engineering division. v. 62, n. 5, p. 8-35, may.

**HESPANHOL (1961).** Mistura, grades e reatores tubulares, floculação, o uso de polieletrólito. *Revista DAE*, n, 112, p, 84.

**IVES, K. (1975).** Capture mechanisms in filtration. In: IVES, K., ed. The Scientific basis of filtration.Leyden, NATO Advanced Study Institute Series, v. 2, p. 185,188,199.

- KURODA, E. K. (2002).** *Avaliação da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento em sistemas de dupla filtração.* São Carlos. Dissertação (mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo.
- KURODA, E. K.; DI BERNARDO, I.; DE PAULA, D. (2003).** Dupla filtração com filtro ascendente em pedregulho e em areia grossa para tratamento de água. *Revista engenharia sanitária e ambiental. ABES*, v. 8, n. 4, p. 221-238, Out/Dez
- LETTERMAN, R.; SAMA, R.; DIDOMENICO, E. (1979).** Direct filtration using polyelectrolyte coagulants. *Journal American Water Works Association*, v.71, n.6, 9. 332-42, jun.
- MEGDA, C. R.(1999).** *Filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente.* São Paulo. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, p.13.
- MORAN, D.; MORAN, M.; CUSHING, R.; LAWLER, D. (1993).** Particle behavior in deep-bed filtration: part 1 – ripening and breakthrough. . *Journal American Water Works Association*, v. 85, n. 12, p. 69-81, dec.
- MURTHA, N. A.; HELLER, L. (2003).** Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia. **ABES. Engenharia sanitária e ambiental.** v. 8, n. 4, p. 266, Dec.
- O’MELIA, C.; STUMM, W. (1967) .** Theory of water filtration. *Journal American Water Works Association*, v.59, n. 9, p. 1393-1412, nov.

- TATE, C.; TRUSSEL, R. (1980).** Recent developments in direct filtration. *Journal American Water Works Association*, v.72, n.3 p. 165-68, mar.
- VRALE, L.; JORDEN, R. M. (1971).** Rapid mixing in water. *Journal American Works Association*. p, 52.
- WEGELIN, M. (1996).** Surface water treatment by roughing filters. Solid matter separation, IV-4., Duebendorf, EAWAG / SANDEC.
- WEGELIN, M. (1996).** Surface water treatment by roughing filters. Classification of roughing filters, VIII-1., Duebendorf, EAWAG / SANDEC.
- WEBER, W. Jr. (1972).** Physicochemical process for water quality control. Wiley-Interscience, New York. p. 61.
- WIECHETECK, G. K.; BENINI, B. D.; DI BERNARDOI, L. (2004).** Remoção de substâncias húmicas utilizando dupla filtração com filtro ascendente de areia grossa ou de pedregulho. *Revista engenharia sanitária e ambiental. ABES*, v. 9, n. 2, p. 156-164, Abr/Jun
- WILSON, I; LEKKAS,T; FOX,G. (1980).** Orthokinetic flocculation in deep bed granular water filters. *Journal American Works Association*, v. 72, n. 6, p, 356-366, jun.
- YAO, K. M., HABIBIAN, M.T. & O’MELIA, C.R. (1971).** Water and Wastewater Filtration. *Environmental Science & Technology*, v. 5, n. 11, p, 1105-1.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)