



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

*“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”*

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

# **AMPLIAÇÃO DE ESCALA DE UM FLOCO DECANTADOR DE MANTA DE LODO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO**

**TARSO LUÍS CAVAZZANA**

*Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil - ênfase em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.*

Orientador: **Prof. Dr. Tsunao Matsumoto**

ILHA SOLTEIRA-SP

**Junho/2006**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado a oportunidade de tecer um trabalho com o qual sempre me identifiquei.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Tsunao Matsumoto, por ter guiado meus passos de pesquisador.

Agradeço a toda minha família e em especial aos meus pais, Vanderlei e Neide, pelo apoio irrestrito em todos os momentos que conduziram ao presente escrito, numa relação de carinho, atenção e perseverança.

À minha Amália, por toda paciência e compreensão.

Agradeço ao Prof. Dr. Edson Pereira Tangerino iniciador dos trabalhos com Floculador de Manta de Lodo na unidade da UNESP/FEIS pela atenção e contribuição com a pesquisa e pela disposição irrestrita para comentários de resultados e indicação para melhoras de desempenho no MFDML.

Agradeço aos amigos Alessandra, André Luís, Hamilton Kiryu, Luciano Peres, José Alves, Jonatas Lacerda, Pablo e Rodrigo Menossi, pelo apoio e companheirismo durante todas as etapas do trabalho elaborado.

Agradeço também ao ex-aluno de mestrado, Cláudio Martins Guilherme, quem me explicou pela primeira vez o funcionamento do MFDML.

Agradeço aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil, em especial ao Silvio e ao Cavassano, pela ajuda nos momentos de manutenção e montagem do MFDML e SFML.

Agradeço ao aluno André Jacometo e Rodrigo Lima pelas contribuições dadas ao trabalho em seus estudos de estágio curricular e iniciação científica, respectivamente.

Agradeço à FAPESP pela concessão das bolsas de iniciação científica e mestrado, bem como pelo Auxílio à Pesquisa que permitiu a construção do MFDML (proc. 14395-5/98); à Prefeitura de Ilha Solteira-SP e ao Departamento de Hidráulica e Irrigação da FEIS pela concessão de cabos elétricos e tubulações para testes do SFML; e à Serralheria Cavazzana Ltda. por conceder preços de custo na construção do SFML (protótipo).

Por fim, agradeço ao Departamento de Engenharia Civil e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNESP/FEIS por ceder gentilmente as instalações, equipamentos e técnicos do Laboratório de Saneamento, fatores essenciais à realização desse trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTA DE ABREVIACÕES</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE QUADRO E FIGURAS</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>12</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>13</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>14</b>
<b>I - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>II - OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
III.1 - TRATAMENTO DE ÁGUA .....	18
III.2 - ANÁLISE DIMENSIONAL .....	53
<b>IV - METODOLOGIA</b> .....	<b>57</b>
IV.1 - INTRODUÇÃO .....	57
IV.2 - DESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS NO MFDML .....	57
IV.3 - DETERMINAÇÃO DA FORMAÇÃO DA MANTA DE LODO NO MFDML .....	62
IV.4 - DESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA UM SFML DE 1x1m .....	71
IV.5 - ESTUDO DE ADIMENSIONALIZAÇÃO PARA AUMENTO DE ESCALA .....	74
IV.6 - ESTUDO DA AUTOMAÇÃO DA DOSAGEM DE COAGULANTE .....	76
IV.7 - ESTUDO DA REMOÇÃO DE PARTÍCULAS EM PLACAS PLANAS PARALELAS .....	77
<b>V - PROCEDIMENTOS</b> .....	<b>78</b>
V.1 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS EM <i>JAR-TEST</i> .....	78
V.2 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS NO MFDML .....	81
V.3 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS NO SFML .....	83
V.4 - DESCRIÇÃO DA OBTENÇÃO DA DENSIDADE DA MANTA .....	85
V.5 - ESTUDO DE ADIMENSIONAIS .....	86
V.6 - ESQUEMATIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA AUTOMAÇÃO DO SFML .....	86
<b>VI - RESULTADOS</b> .....	<b>86</b>
VI.1 - RESULTADOS DOS ENSAIOS EM <i>JAR-TEST</i> PARA O MFDML .....	86
VI.2 - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO MFDML .....	93
VI.3 - RESULTADOS DOS ENSAIOS EM <i>JAR-TEST</i> PARA O SFML .....	93
VI.4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO SFML .....	96
VI.5 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DE AUMENTO DE ESCALA A PARTIR DE ADIMENSIONAIS .....	96
VI.6 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DAS PLACAS PARALELAS .....	97
<b>VII - COMENTÁRIOS</b> .....	<b>99</b>
VII.1 - SOBRE OS ENSAIOS EM <i>JAR-TEST</i> .....	99

VII.2 - SOBRE OS ENSAIOS NO MFDML.....	100
VII.3 - SOBRE OS ENSAIOS NO SFML.....	102
VII.4 - SOBRE OS ESTUDOS DE QUANTIFICAÇÃO DA MANTA .....	102
VII.5 - SOBRE OS ESTUDOS DE AUMENTO DE ESCALA.....	103
VII.6 - SOBRE A AUTOMAÇÃO .....	103
VII.7 - SOBRE O GRADIENTE DE VELOCIDADE MÉDIO E AS PLACAS PARALELAS .....	104
VII.8 - GERAIS.....	105
<b>VIII –DISCUSSÕES .....</b>	<b>105</b>
VIII.1 - SOBRE OS ENSAIOS EM <i>JAR-TEST</i> .....	105
VIII.2 - SOBRE OS ENSAIOS NO MFDML .....	106
VIII.3 - SOBRE OS ENSAIOS NO SFML.....	106
VIII.4 - SOBRE OS ESTUDOS DE QUANTIFICAÇÃO DA MANTA .....	107
VIII.5 - SOBRE OS ESTUDOS DE FORMAÇÃO DA MANTA .....	107
VIII.6 - SOBRE OS ESTUDOS DE AUMENTO DE ESCALA .....	107
VIII.7 - SOBRE A AUTOMAÇÃO .....	108
VIII.8 - GERAIS .....	108
<b>IX – CONCLUSÕES .....</b>	<b>109</b>
<b>X - RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>109</b>
<b>XI - BIBLIOGRAFIA BÁSICA .....</b>	<b>110</b>
<b>XII - ANEXOS.....</b>	<b>121</b>
001 a 018 - <i>Jar-test</i> para o MFDML fase 2.....	121
019 a 036 - Ensaio no MFDML fase 2 .....	121
037 a 100 - <i>Jar-test</i> para o MFDML fase 3.....	121
101 a 104 - Gráficos do perfil de dosagem no MFDML.....	121
105 a 110 - Ensaio no MFDML fase 3 .....	121
111 a 158 - <i>Jar-test</i> para o SFML .....	121
159 e 160 - Gráficos do perfil de dosagem no SFML.....	121
161 a 178 - Planilhas e gráficos de análise da altura da manta no MFDML .....	121
179 a 190 - Planilhas de análise da quantidade de argila na manta sem ajuste no MFDML..	121
191 a 202 - Planilhas de análise da quantidade de argila na manta com ajuste no MFDML..	121
203 Ensaio - de granulometria conjunta da argila utilizada para preparo de água bruta .....	121
204 a 206 - <i>Jar-test</i> para o SFML com água do Ipê.....	121
207 a 209 - Ensaio no SFML.....	121
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>122</b>
AP01 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MEIO AMBIENTE.....	122
AP02 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE AUTOMAÇÃO .....	122
AP03 - PROPOSTA DE UMA ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO.....	122
AP04 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	122

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $A_o$  : Área dos orifícios de entrada ( $m^2$ );  
 $A_c$  : acúmulo;  
 $A_s$  : área da seção ( $m^2$ );  
 $A, B$  e  $C$  : para parametrização de curvas;  
 $a$  : altura;  
 $A_{dp}$  : área do decantador em planta ( $m^2$ );  
 $b$  : largura;  
 $C_D$  : coeficiente de arrasto;  
 $C_t$  : coeficiente que depende da geometria do duto;  
 $cte$  : constante;  
 $d_i$  : diâmetro da partícula  $i$ ;  
 $d_j$  : diâmetro da partícula  $j$ ;  
 $d_p$  : diâmetro da partícula (m);  
 $D$  : diâmetro (m);  
 $d$  e  $b'$  : dimensões geométricas (m);  
 $D_c$  : dimensão característica para o escoamento (m);  
 $du/dy$  : gradiente de velocidade médio no fluido;  
 $D_m$  : diâmetro médio da unidade modular ( $m^2$ );  
 $D_{ms}$  : diâmetro da base superior do tronco de pirâmide (m);  
 $D_{mi}$  : diâmetro da base inferior do tronco de pirâmide (m)  
 $E$  : campo elétrico;  
 $E_n$  : entrada;  
 $Em$  : espaçamento médio entre orifícios (m);  
 $f_e$  : fator de ajuste da quantidade de argila da entrada (g/g);  
 $f_s$  : fator de ajuste da quantidade de argila da saída - (g/g);  
 $fer$  : fator de erro para a fração em massa de argila na manta (g/g);  
 $f$  : fator de forma;  
 $g$  : aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );  
 $G_{médio}$  : o gradiente de velocidade médio para ensaios em *jar-test* ( $s^{-1}$ );  
 $G$  : gradiente de velocidade médio;  
 $G_{mm}$  : gradiente de velocidade médio no manto;  
 $G^*$  : gradiente de velocidade médio global;  
 $G_i$  : gradiente de velocidade médio do início ( $s^{-1}$ ).  
 $G_f$  : gradiente de velocidade médio do fim ( $s^{-1}$ );  
 $h$  : altura no sistema (m);

- $hx$  : altura do complemento do tronco de pirâmide invertido (m);  
 $h'$  : altura de encontro do jato de entrada com as paredes do floculador (m);  
 $H_p$  : altura das placas (m);  
 $h_m$  : altura total da manta (m);  
 $h_{p+d}$  : a altura do prolongador mais decantador (m);  
 $h_{om}$  : altura máxima de água no interior da calha (m);  
 $h_{em}$  : altura de água na saída da calha (m);  
 $H_u$  : profundidade útil (m);  
 $H_f$  : perda de carga (m);  
 $i, j$  e  $k$ : tamanho das partículas discretas;  
 $k_a$  : permeabilidade agregada;  
 $K_B$  : constante de quebra;  
 $K_F$  : constante de formação;  
 $K_r$  : coeficiente de resistividade (s/m);  
 $K$  : inverso da massa específica média (L/g);  
 $K(X_e)$  : inverso da massa específica média da água bruta (L/g);  
 $K(X_s)$  : inverso da massa específica média da água decantada (L/g);  
 $L$  : dimensão de comprimento;  
 $l$  : largura no sistema (m);  
 $l_t$  : comprimento do trecho de transição (m);  
 $L_f$  : espessura do meio filtrante (m);  
 $M$  : dimensão de massa;  
 $m_p$  : massa do polieletrólito na solução (g);  
 $m_{H_2O}$  : massa de água na solução (g);  
 $m_{v\text{ água}}$  : massa de água contida em 1 litro de água (g)  
 $m_{\text{ água}}$  : massa de água na mistura (g)  
 $n_i$  : concentração volumétrica de partículas de tamanho  $i$ ;  
 $n_j$  : concentração volumétrica de partículas de tamanho  $j$ ;  
 $n_k$  : concentrações de partículas de tamanho  $k$ ;  
 $N_0$  : contagem inicial de partículas;  
 $N_t$  : concentração total de partículas no tempo  $t$  ( $L^{-3}$ );  
 $n(d)$  : concentração de partículas;  
 $N_{im}$  : número de partículas remanescentes por unidade de volume ( $L^{-3}$ );  
 $N_m$  : número total de partículas na manta;  
 $N_{im}$  : número inicial de partículas na manta;  
 $N_{em}$  : número de partículas que entram na manta;  
 $N_{sd}$  : número de partículas que se desprendem da manta;

- $N_{pi}$  : número de partículas inertes;
- $N_{0m}$  : número de partículas por unidade de volume no manto;
- $P$  : potência dissipada no volume (W);
- P: ponto no espaço;
- $P_r$  : produção;
- pz: direção da partícula em pz;
- px: direção da partícula em px;
- $qa$  : quantidade de argila (g);
- $qa_v$  : quantidade de argila por unidade de volume em massa (g/L);
- $qa_m$  : quantidade de argila na manta (Kg);
- $qa_i$  : quantidade de argila inicial na manta (Kg);
- $qa_e$  : quantidade de argila que entra na manta (Kg);
- $qa_s$  : quantidade de argila que sai da manta (Kg);
- $Q$  : vazão ( $L^3T^{-1}$ );
- $qa_r$  : quantidade de argila retida (g);
- $Q_{cl}$  : vazão na calha livre ( $m^3/s$ );
- $Q_{ca}$  : vazão na calha afogada ( $m^3/s$ );
- Re : número de Reynolds;
- $S_a$  : saída;
- S: tensor da taxa de tensão;
- $Sd$  : seção da comporta de descarga ( $m^2$ );
- $T_e$  : temperatura absoluta do fluido;
- T: dimensão de tempo;
- $t$  : tempo (T);
- $T_r$  : traduz a transposta;
- $Tu$  : turbidez da água (uT);
- $Tu_e$  : turbidez da água bruta (uT);
- $Tu_s$  : turbidez da água decantada (uT);
- $t_{DH}$  : tempo de detenção hidráulico (T);
- $tde$  : tempo de descarga (h);
- $u$  : velocidade pontual (L/T);
- $V_s$  : velocidade de sedimentação (m/s);
- $V_{ss}$  : velocidade de sedimentação da suspensão (m/s)
- $V_{sp}$  : velocidade de sedimentação das partículas flocculentas (m/s);
- $V_o$  : velocidade no centro do duto (m/s);
- $V_\infty$  : velocidade de aproximação (m/s);
- $Vol$  : Volume ( $L^3$ );

- $Vol_m$  : Volume total da manta ( $m^3$ );  
 $Vol_p$  : Volume das partículas contidas na manta ( $m^3$ );  
 $Vol_L$  : Volume de líquido na manta ( $m^3$ );  
 $V$  : Velocidade média ascensional (m/s);  
 $V_p$  : velocidade da partícula;  
 $V_{px}$  : velocidade da partícula na direção px;  
 $V_{pz}$  : velocidade da partícula na direção pz;  
 $V_e$  : velocidade de escoamento no ponto P;  
 $V_i$  : Volume do início do floculador;  
 $V_{tronco}$  : volume do tronco de pirâmide no floculador;  
v: velocidade média (m/s);  
 $X$  : fração de argila em massa na mistura (g/g);  
 $x_p$  : comprimento das placas na direção de  $\theta$ ;  
cte : constante;  
x, y, z, Y, Z: referentes às direções do sistema de coordenadas cartesianas;  
 $\alpha$  : a eficiência de colisões;  
 $\beta(i, j)$  : freqüência de colisões entre partículas de tamanho i e j;  
 $\Delta t$  : intervalo de tempo (s);  
 $\epsilon_r$  : constante dielétrica;  
 $\epsilon_0$  : permissividade;  
 $\epsilon^*$  : média de dissipação de energia para todo o sistema de floculação;  
 $\mathcal{E}$  : taxa local de dissipação de energia;  
 $\phi$  : fração em volume de partículas;  
 $\gamma_s$  : peso específico dos flocos ( $N/m^3$ );  
 $\gamma_a$  : peso específico da água ( $N/m^3$ );  
 $\eta$  : concentração molar;  
 $\eta_m$  : eficiência dos encontros;  
 $\lambda$  : microescala de Kolmogorov;  
 $\mu$  : viscosidade absoluta do fluido ( $N.s/m^2$ );  
 $v_e$  : velocidade eletroforética;  
 $v_e/E$  : mobilidade eletroforética;  
 $\nu$  : viscosidade cinemática do fluido ( $L^2T^{-1}$ );  
 $\nu$  : viscosidade cinemática da água ( $m^2/s$ );  
 $\pi$  : número, igual a 3,14159...;  
 $\Pi$  : referente aos grupos adimensionais;  
 $\theta$  : ângulo das placas com a horizontal;  
 $\theta_d$  : ângulo entre a diagonal secundária do duto e a horizontal;



$\theta_p$  : ângulo entre a direção do deslocamento da partícula e a horizontal;

$\rho$  : massa específica ( $ML^{-3}$ );

$\rho_p$  : massa específica da partícula ( $kg/m^3$ );

$\rho_l$  : massa específica do fluido ( $kg/m^3$ );

$\rho_p$  : massa específica seca média das partículas da manta ( $g/L$ );

$\rho_L$  : massa específica do líquido ( $g/L$ );

$\rho_s$  : massa específica da partícula ( $kg/m^3$ );

$\rho_a$  : massa específica da água ( $kg/m^3$ );

$\psi$  : auto-similaridade da distribuição de tamanhos.

## **LISTA DE ABREVIações**

MFDMML – Módulo Floco Decantador de Manta de Lodo;

SFML – Sistema Floculador de Manta de Lodo;

PMC – Protótipo Modular Compacto;

UNESP/FEIS – Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-São Paulo;

ETA – Estação de Tratamento de Água;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

NSC – Número para Sistema em Coluna.

## LISTA DE QUADRO E FIGURAS

Quadro 01: Alguns Grupos Adimensionais e Variáveis Utilizadas na Mecânica dos Fluidos	056
Figura 01: Ilustração dos mecanismos de estabilização de suspensões: (a) através de cargas nas superfícies das partículas, (b) da adsorção de polímeros e (c) da adsorção de moléculas ionizadas ou polieletrólitos	019
Figura 02: Representação da teoria de DLVO	025
Figura 03: Cálculo da velocidade relativa entre os pontos P e P'	029
Figura 04: Decantador de manta de lodo mecanizado tipo accelerator	043
Figura 05: Decantador de manta de lodo mecanizado tipo aquazur	043
Figura 06: Esquema de um decantador de manto de lodo pulsante após o descarte do lodo	044
Figura 07: Esquema de um decantador de manto de lodo pulsante durante a sucção	044
Figura 08: Relação entre $\frac{D_{ms}}{D_{mi}}$ e $F\left(\frac{D_{ms}}{D_{mi}}\right)$	046
Figura 09: Variação da velocidade no centro dos dutos retangulares	048
Figura 10: Perfil de velocidade no plano diagonal em duto retangular com b/a=2	048
Figura 11: Perfil de velocidade no plano central em duto retangular com b/a=2	049
Figura 12: Esquema do Módulo Experimental	052
Figura 13: Representação da relação entre espaçamento e altura de encontro dos jatos sucessivos	059
Figura 14: Esquema para cálculo dos volumes na peça piramidal e da área média em h'	060
Figura 15: Estimativa gráfica-numérica da quantidade de argila utilizada nos experimentos para se atingir determinada turbidez em 1L de água	064
Figura 16: Foto do modelo com manta bem formada ou densa	067
Figura 17: Foto do modelo com manta dispersa	067
Figura 18: Inverso do fator de ajuste f a ser aplicado à quantidade de argila obtida com a curva da figura 16	071
Figura 19: Concepção básica para cálculos de G no SFML a ser construído; cotas em metros	072
Figura 20: Esquema para análise de remoção de partículas em placas planas paralelas	077
Figura 21: Equipamentos utilizados na realização dos ensaios em jar-test	079
Figura 22: Gráficos comparativos das eficiências de dosagem entre os polieletrólitos A e C	081
Figura 23: Esquema mostrando o tanque principal e o auxiliar de água bruta sintética	082
Figura 24: Fluxograma do SFML montado no Lago do Ipê em Ilha Solteira-SP	084
Figura 25: Esquema de projeto do SFML montado no Lago do Ipê em Ilha Solteira-SP	084
Figura 26: Foto do SFML montado no Lago do Ipê em Ilha Solteira-SP	085
Figura 27: Foto do floculador, prolongador e início do decantador	087
Figura 28: Foto das caixas de nível constante para alimentação e dosagem de coagulante do MFDML	

	087
Figura 29: Dimensões do MFDML	088
Figura 30: Módulo Experimental discretizando alturas e volumes	090
Figura 31: Ensaio no Módulo Decanto Floculador à taxa de $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ e $100\text{uT}$	100
Figura 32: Altura da Manta para taxa de $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ e $100\text{uT}$	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Coeficiente $C_t$ para diferentes secções	053
Tabela 02: Estimativa da quantidade de argila para determinada turbidez	070
Tabela 03: Turbidez (uT) x Argila (g/l) para as turbidez de ensaio	071
Tabela 04: Relação entre as quantidades de argila calculada (qac) e real (qa)	076
Tabela 05: X obtido para cada taxa de aplicação a partir da turbidez de mantas bem formadas	077
Tabela 06: Característica do polieletrólito utilizado	085
Tabela 07: Estimativa dos gradientes de velocidade no floculador em função da taxa de filtração no MFDML	096
Tabela 08: Estimativa dos tempos de detenção no MFDML (para a mistura rápida, floculação e decantação)	096
Tabela 09: Melhores dosagens para aplicação no MFDML	097
Tabela 10: Complemento às melhores dosagens para aplicação no MFDML	098
Tabela 11: Programação para os ensaios em jar-test no SFML	102
Tabela 12: Estimativa dos tempos de detenção no SFML (para a mistura rápida, floculação e decantação)	103
Tabela 13: Melhores dosagens para aplicação no SFML	103
Tabela 14: Comparação entre a velocidade de sedimentação calculada ( $V_{sc}$ ) e dos jar-test ( $V_{sjt}$ )	108

## RESUMO

Na busca de avanços na concepção de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) mais eficiente construiu-se, estudou-se e testou-se um Módulo Floco Decantador de Manta de Lodo (MFDML) – escala modelo.

Essa busca contou com várias etapas e processos que envolveram uma ampla e variada pesquisa bibliográfica para a formação de idéias que foram ou poderão ser colocadas em prática para melhores calibração e verificação.

Os avanços no MFDML forneceram resultados que motivaram seu estudo em escala de protótipo, denominado Sistema Floclador de Manta de Lodo (SFML) na forma de um Protótipo Modular Compacto (PMC) automatizado que pudesse ser operado de forma integrada aos diversos monitoramentos dos recursos hídricos.

As idéias pesquisadas e estudadas geraram metodologias de cálculo que permitem a utilização prática do SFML, obtenção prévia de dosagens a partir de *jar-test*, estimativa da quantidade de lodo formada e estabelecimento de correlações qualitativas para aumento de escala.

O SFML possui uma tecnologia com taxas de decantação 10 vezes maior que as tecnologias atuais ( $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ) associados a bons resultados em termos de remoção de sólidos suspensos e dissolvidos, com turbidez da água decantada da ordem de  $3\text{uT}$  e da filtrada de  $0,1\text{uT}$ .

No entanto, um maior desenvolvimento dessa nova tecnologia poderá ocorrer no âmbito científico-tecnológico conforme as necessidades e o despertar de idéias para contemplá-las.

Assim, a busca por conhecimentos e melhoramentos científico-tecnológicos é um processo dinâmico, o qual envolve tempo, dedicação e continuidade das pesquisas.

## ABSTRACT

On improvements search of the Water Treatment Plant more efficient conception was build, studied and tested a Sludge Blanket Flocculate Setter Modular Model.

This search has been several processes and steps involved a varied and ample bibliographic search for ideas formation that was or will be set in practice for true verification and calibration.

The improvements at the Sludge Blanket Flocculate Setter Modular Model gave results have motivated its prototype scale study, called Sludge Blanket Flocculator System in a Automated Compact Modular Prototype that could be operated in a integrated way with both waters resources managements and monitoring.

These ideas generated calculation methodologies that may the Sludge Blanket Flocculator System for practice utilization, previous of dosages which jar-test, formed sludge quantity estimate and scale increase correlations qualitative establishment.

The Sludge Blanket Flocculator System owns a technology with settling rates 10 larger times than the current technologies ( $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ) associates the good results in terms of suspended and dissolved solid removal, with water turbidity about  $3\text{uT}$  and of the filtrated about  $0,1\text{uT}$ .

However, a more development of this new methodology may happen in a scientific-technology environ accord to the ideas necessities and emerge to get it.

Thus, technologies-scientifics improvements and knowledge search is a dynamic process, which involves the research spend time, dedication and keep on of these.

## I - INTRODUÇÃO

Na constante busca de condições sustentáveis, projetos brasileiros baseados em Mecanismos de Desenvolvimento Limpo procuram assegurar condições ambientais mínimas de sobrevivência às gerações futuras.

A água, importante parte do meio ambiente, em contrapartida aos apontamentos das necessidades e cuidados necessários à manutenção de seu aproveitamento vem sendo usada de forma irresponsável face aos custos de produção dos mais diversos produtos que a envolvem como insumo do processo produtivo. Isso porque em muitos processos a água não possui nenhum tipo de recirculação, reaproveitamento ou tratamento, principalmente em locais onde ainda se tem uma maior disponibilidade de água. Por outro lado, a prática mostra regiões com escassez de água, nas quais uma gestão adequada torna o local capaz de suprir sua demanda.

Essas experiências práticas apontam, então, a um manejo integrado dos recursos hídricos, contendo processos de potabilização cada vez mais eficientes em termos de capacidade de remoção de impurezas, bem como em termos de capacidade de produção por área ocupada.

Na busca de um sistema de tratamento capaz de atender às necessidades atuais vêm sendo desenvolvido, no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP/FEIS), estudos em um Módulo Floco Decantador de Manta de Lodo (MFDML) desde 1995. O MFDML vem apresentando resultados animadores - como turbidez da água decantada em torno de  $3\text{uT}$  e da filtrada menor que  $0,1\text{uT}$  para taxas de  $120$  a  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ .

Nesse MFDML foram feitos estudos metodológicos para cálculo das características hidráulicas, as quais permitiram a determinação da dosagem de coagulante a partir dos resultados obtidos em *jar-test*. Também foram desenvolvidos, a partir da experiência operacional no MFDML, as delineações para automação do sistema para o caso de uma aplicação real.

Essa pesquisa avançou em seis frentes de trabalho. A primeira foi o estabelecimento de uma metodologia de cálculo de gradientes de velocidade médios para o MFDML, tido como escala modelo e, para o Sistema Floculador de Manta de Lodo (SFML), tido como protótipo. A segunda consistiu no estudo das correlações de dosagem de coagulante e turbidez da água bruta obtidos em *jar-test* para aplicação no MFDML e SFML. A terceira, e a principal, de cunho voltado à aplicação tecnológica, consistiu no aumento de escala do MFDML em torno de 30 vezes em área e vazão, na proporção de 0,18 para 1m de lado mantendo-se a velocidade média ascensional e observando-se os aspectos construtivos, sendo o protótipo denominado SFML. A



quarta visou intermediar as questões ambientais relacionadas à aplicação prática do SFML. A quinta consistiu no estudo de uma metodologia para estimar a espessura da manta de lodo que se forma no floculador, isso porque sua melhor ou pior formação influi nos resultados finais em comparação aos ensaios em *jar-test*, especialmente em águas de baixa turbidez – situação na qual o mecanismo predominante de coagulação é a desestabilização por neutralização de cargas, sem formação de flocos. Por fim trabalhou-se na elaboração de um adimensional para prever mudança de escala do MFDML.

A busca do entendimento dos processos envolvidos no MFDML como um todo teve a finalidade de inseri-lo no rol das opções das tecnologias para tratamento de água de abastecimento.

Assim, avançou-se na concepção de um SFML na forma de um Protótipo Modular Compacto (PMC) automatizável e controlável à distância capaz de ser operado de forma integrada. A operação manual mostrou ser possível utilizar-se da arquitetura de automação proposta no Apêndice 03.

Esses estudos permitiram avaliar o grande potencial de aplicação de Floculador de Manta de Lodo e decantador de placas paralelas, seja em termos de custos, segurança, confiabilidade ou sustentabilidade.

## II - OBJETIVOS

O objetivo principal visou o estabelecimento de parâmetros e soluções da adequação do MFDML para construção e operação em caso de ampliação de escala e aplicação real, SFML, através do desenvolvimento dos objetivos secundários dispostos a seguir:

- Estabelecer uma metodologia de cálculo de gradientes de velocidade médios para o MFDML e SFML;
- Estabelecer correlações de dosagem com aumento gradual de turbidez - de 3uT a 100uT - para as taxas de 160, 200 e 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, no MFDML e 240, 320 e 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia no SFML - utilizando-se Policloreto de alumínio como coagulante;
- Estudar quanti-qualitativamente a formação da manta de lodo no MFDML;
- Estudar a influência da taxa de formação da manta para águas de baixa turbidez, em relação às características das águas decantada e filtrada;
- Projeto, execução e testes de um protótipo, em aço carbono, com pintura inerte à água bruta, do SFML, para produção de água tratada em torno de trinta vezes maior que o MFDML existente;
- Estabelecimento de um adimensional que relacione as escalas modelo e protótipo em estudo.

### III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### III.1 - TRATAMENTO DE ÁGUA

##### III.1.1 - Introdução

Há uma gama de variedade de tecnologias de Tratamento de Água, desde as de Filtração Direta, até as por Membrana e combinadas, sendo cada uma delas indicada conforme características físico-químicas e de qualidade final da água que se deseja obter.

Tradicionalmente, essas tecnologias possuem as fases de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. As três primeiras são regidas basicamente por gradientes de velocidade médios, como descrito por Camp e Stein (1943) apud Di Bernardo (1993) - ver Equação 01.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times Vol}} \quad \text{Equação 01}$$

onde:

$G$  : gradiente de velocidade médio ( $s^{-1}$ );

$P$  : potência dissipada no volume (W);

$\mu$  : viscosidade absoluta da água ( $10^{-3}N.s/m^2$ );

$Vol$  : Volume ( $m^3$ ).

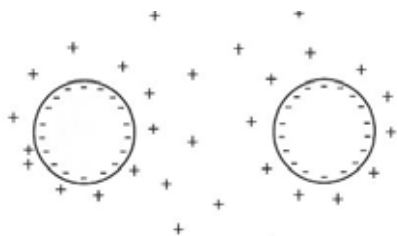
No texto que segue haverá asserções a respeito do equacionamento e aplicação da relação matemática apresentada na Equação 01.

##### III.1.2 Coagulação

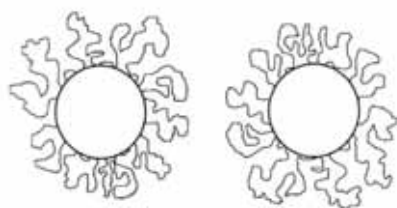
A coagulação, processo pelo qual as partículas da matriz fluida são desestabilizadas, visa permitir o encontro e aglutinação dessas partículas - formação de flocos – (Di Bernardo, 1993).

Di Bernardo (1993) define dois tipos de estabilidade, a eletrostática, em que as partículas possuem superfície carregada eletricamente, que é a situação mais comum e, a estérica, em que as partículas encontram-se adsorvidas na superfície de polímeros que as fazem repelir em função da ocorrência de cargas iguais. Pandolfelli *et al.* (2000) define, ainda, a

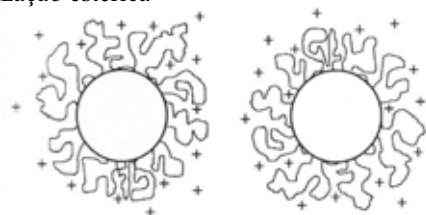
estabilidade eletrostérica, em que a adsorção específica de moléculas com grupos ionizáveis ou polieletrólitos na superfície das partículas fazem os íons provenientes da dissociação desses grupos ionizáveis somarem uma barreira eletrostática ao efeito estérico. A Figura 01 ilustra as três situações descritas.



(a) Estabilização eletrostática



(b) Estabilização estérica



(c) Estabilização eletroestérica

**Figura 01:** Ilustração dos mecanismos de estabilização de suspensões: (a) através de cargas nas superfícies das partículas, (b) da adsorção de polímeros e (c) da adsorção de moléculas ionizadas ou polieletrólitos

Fonte: Sacks (1995) apud Pandolfelli *et al.* (2000)

Esse processo (coagulação) é de difícil determinação puramente teórica, sendo orientado qualitativamente por modelos calibrados experimentalmente, pois depende de uma complexa relação entre fatores como temperatura, pH, tipo e concentração de coagulante a ser utilizado, além de variar para cada tipo de água bruta (Di Bernardo, 1993).

A turbidez - em geral representada pelos grãos de argila - consiste em partículas coloidais de grande superfície específica, as quais podem direcionar seus íons metálicos, tornando-se eletricamente carregadas, freqüentemente negativas, assim como o meio que as circunda. Da mesma forma, as partículas húmicas, responsáveis pela cor, tornam-se eletricamente desequilibradas, também freqüentemente negativas, podendo-se, remover cor paralelamente a turbidez (Viana, 1992).

Os colóides dispersos em água com pH entre 5 e 10 apresentam carga elétrica negativa, devido à adsorção de íons eletronegativos, formando um campo elétrico denominado Potencial Zeta, o qual deve ser anulado para que aconteça a desestabilização das partículas na matriz fluida e, conseqüente, haja a remoção das propriedades físicas (cor e turbidez).

O processo de desestabilização, segundo Di Bernardo (1993) consiste em anular, ou minimizar ao máximo, o Potencial Zeta. Esse potencial indica o grau das forças de separação entre as partículas do meio fluido (incluindo os microorganismos) e é minimizado, em geral, através da adição de sais de alumínio e ferro ou de polímeros sintéticos – especialmente os catiônicos - no processo de coagulação (Guilherme, 2001). Segundo Di Bernardo (1993) a coagulação pode ser considerada como a ação de quatro mecanismos distintos:

- Compressão da camada difusa: estabelecimento de uma força iônica grande no meio (em geral através de eletrólitos indiferentes, como sódio ou cálcio) de forma que a camada difusa, para restabelecer seu equilíbrio, reduza sua espessura eliminando a estabilização eletrostática. Por fim, as camadas difusas se juntam, ocorrendo a coagulação;
- Adsorção e neutralização de cargas: importante para os casos de filtração direta - em que não há necessidade de formação de flocos -, ocorre através da adsorção do coagulante na interface colóide água. Esse mecanismo exige cuidado quanto às dosagens de coagulante (em geral sais de  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), para que não ocorra a reestabilização das partículas;
- Varredura: um dos mecanismos mais utilizados em função da segurança do operador: fornece flocos de maior tamanho e ocorre através do envolvimento das partículas coloidais por precipitados de alumínio e ferro a partir dos coagulantes;
- Adsorção e formação de pontes: ocorrem a partir de compostos orgânicos de grande cadeia molecular que apresentam sítios ionizáveis que permitem a formação de pontes de hidrogênio na interação colóide-coagulante.

Uma vez desestabilizadas as partículas seguem as fases seguintes do tratamento, em geral passando-se pela floculação, decantação, filtração e desinfecção.

### III.1.3 - Flocculação

A flocculação, processo por meio do qual partículas desestabilizadas são agregadas, foi bem trabalhada em termos teóricos e aplicativos por Thomas et al. (1999) como descrito a seguir.

A representação matemática da flocculação tem considerado o processo como dois passos discretos: transporte e agregação.

O transporte, ocorrido devido à colisão de duas partículas é alcançado pelo efeito das variações locais das velocidades entre fluido e partículas surgindo através: (a) do movimento browniano das partículas (flocculação pericinética); (b) gradientes de velocidade impostos na mistura (flocculação ortocinética); e (c) diferenças na velocidade de sedimentação de partículas individuais - sedimentação diferencial.

A agregação ocorre, então, em uma faixa estreita de forças bastante dependentes da natureza da superfície das partículas (carga iônica).

Os dois preceitos são quase sempre expressos matematicamente como uma taxa de colisões bem sucedidas entre partículas de tamanho  $i$  e  $j$ , da forma da Equação 02.

$$\text{Taxa de flocculação} = \alpha \times \beta(i, j) \times n_i \times n_j \quad \text{Equação 02}$$

onde:

$\alpha$  : a eficiência de colisões;

$\beta(i, j)$ : frequência de colisões entre partículas de tamanho  $i$  e  $j$ ;

$n_i$  : concentração volumétrica de partículas de tamanho  $i$ ;

$n_j$  : concentração volumétrica de partículas de tamanho  $j$ .

A frequência de colisões ( $\beta$ ) é uma função do modo de flocculação, isto é, sedimentação pericinética, ortocinética ou diferencial. A eficiência de colisões  $\alpha$  toma valores entre zero e um e é uma função do grau de desestabilização da partícula. Quanto maior o grau de desestabilização, maior o valor de  $\alpha$ . Assim,  $\beta$  é uma medida da eficiência de transporte ou ocorrência de colisões, enquanto  $\alpha$  representa a porcentagem das colisões que levam à agregação.

Muitos modelos de flocculação são baseados na Equação 02. Os valores dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  dependem de um grande número de fatores que variam desde a natureza das partículas ao método de desestabilização e ao regime de fluxo prevalecente durante a flocculação. Muitas pesquisas em modelagem de flocculação têm sido direcionadas ao estabelecimento de equações e valores específicos para estes dois parâmetros. É importante, contudo, não esquecer a

importância dos termos  $n_i$  e  $n_j$  na equação, porque a taxa total sempre aumenta com a concentração de partículas.

A interpretação de  $\alpha$  e  $\beta$  dada anteriormente implica que os dois parâmetros são independentes um do outro. Contudo há uma segunda interpretação de  $\alpha$  e  $\beta$  em que se poderia considerar  $\alpha$  permitir, além do grau de desestabilização da partícula, uma correção experimental do fator de compensação para a fragilidade da representação teórica de  $\beta$ , tal qual valores para  $\alpha$  não estariam mais compreendidos entre 0 e 1.

A primeira tentativa de modelagem do processo de floculação foi feita a partir de algumas suposições de Smoluchowski (1917) apud Guilherme (2001) que deram base aos desenvolvimentos subsequentes e cada uma das suposições pode ser considerada como uma referência específica.

A Equação 03 é a partida para os desenvolvimentos de Smoluchowski (1917).

$$\frac{dn_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i+j=k} \beta(i, j) n_i n_j - \sum_{i=1}^{\infty} \beta(i, j) n_i n_k \quad \text{Equação 03}$$

onde:

- $i, j$  e  $k$ : tamanho das partículas discretas;
- $n_k$ : concentrações de partículas de tamanho  $k$ ;
- $t$ : tempo.

Na Equação 03, o primeiro termo do lado direito define o aumento das partículas de tamanho  $k$  pela floculação de duas partículas cujo volume total é igual ao volume da partícula de tamanho  $k$ . O segundo termo do lado direito descreve a perda de partículas de tamanho  $k$  por efeito de suas uniões com partículas de outros tamanhos. O fator metade na frente do primeiro termo do lado direito assegura que a soma da mesma colisão não é contada duas vezes. A equação total define a variação da concentração – em volume - de partículas de tamanho  $k$ .

Apresentada uma equação tal como a Equação 03 para cada valor de  $k$ , Smoluchowski construiu uma série de equações diferenciais que descrevem todo o processo de floculação. Estas equações são não lineares e a solução para elas não são imediatas. Para tornar as equações diferenciais mais maleáveis, Smoluchowski fez suposições simplificadoras:

- O fator de eficiência de colisão ( $\alpha$ ) é a unidade para todas as colisões;
- O movimento do fluido em regime laminar;

- As partículas são monodispersadas (e de mesmo tamanho);
- Não ocorre ruptura dos flocos;
- Todas as partículas são esféricas e permanecem assim após a colisão;
- As colisões envolvem apenas duas partículas.

Baseado nessas suposições, Smoluchowski desenvolveu expressões analíticas, dadas pelas equações 04 e 05, para a frequência de colisão das flocculações pericínética e ortocínética.

$$\beta_{\text{pericínético}} = (2k_{Bo}T/3\mu)(1/d_i + 1/d_j)(d_i + d_j) \quad \text{Equação 04}$$

$$\beta_{\text{ortocínético}} = (1/6)(du/dy)(d_i + d_j)^3 \quad \text{Equação 05}$$

onde:

$k_{Bo}$  : constante de Boltzmann;

$T_e$  : temperatura absoluta do fluido;

$\mu$  : viscosidade do fluido;

$d_i$  : diâmetro da partícula i;

$d_j$  : diâmetro da partícula;

$du/dy$ : gradiente de velocidade médio no fluido.

Smoluchowski (1917) produziu, também, soluções ao grupo de equações diferenciais para as flocculações pericínética e ortocínética. A solução para a flocculação ortocínética é dada pelas equações 06 e 07.

$$N_t = N_0 \exp(4/\pi)(du/dy)\phi t \quad \text{Equação 06}$$

$$\phi = (4/3)\pi \left( \frac{d_p}{2} \right)^3 N_0 \quad \text{Equação 07}$$

onde:

$N_t$ : contagem total de partículas no tempo t;

$N_0$ : contagem inicial de partículas;

$\phi$  : fração do volume de partículas.



Camp e Stein (1943) estenderam a equação de Smoluchowski (1917) para floculação ortocinética substituindo a variação de velocidade do fluido,  $du/dy$ , como uma raiz quadrada do gradiente de velocidade médio do fluido,  $G$ , e chegaram à Equação 08.

$$\beta(i, j) = (G/6)(d_i + d_j)^3 \quad \text{Equação 08}$$

Os mesmos autores deduziram a frequência de colisão para sedimentação diferencial dada pela Equação 09.

$$\beta(i, j) = \left( \frac{g\pi}{72\mu} \right) \left( \frac{\rho_p - \rho_l}{\rho_l} \right) (d_i + d_j)^3 |d_i + d_j| \quad \text{Equação 09}$$

onde:

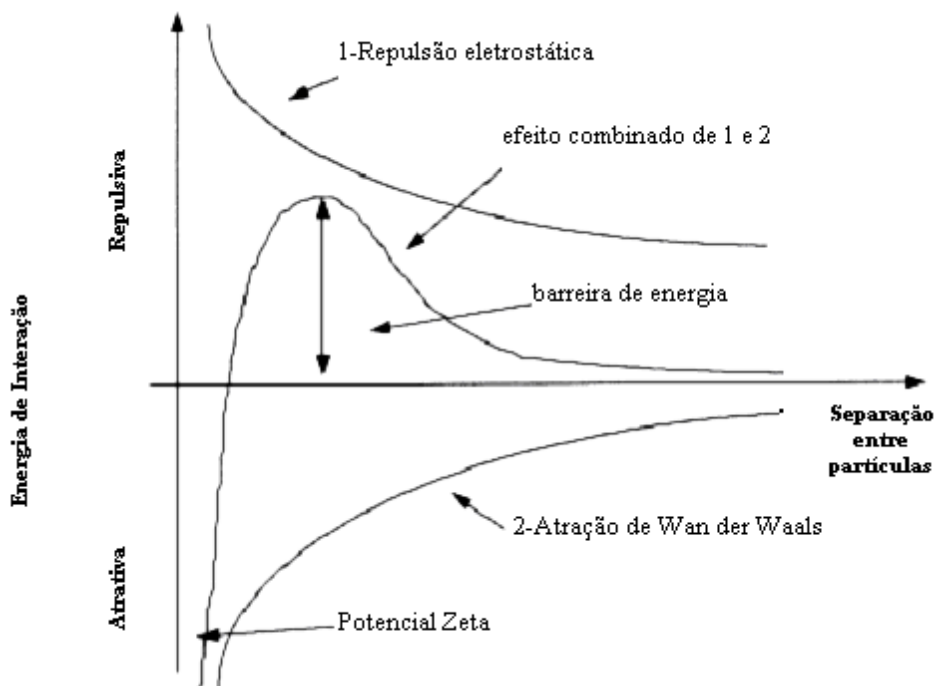
$g$ : aceleração da gravidade;

$\rho_p$ : massa específica da partícula;

$\rho_l$ : massa específica do fluido.

Enquanto a aproximação clássica leva à expressão analítica para definir o processo de coagulação, suas pertinências aos sistemas reais estão limitadas significativamente pelas suposições simplificadoras de Smoluchowski.

Assim, devido às várias suposições dadas para se chegar à gama de fórmulas que regem a floculação, alguns estudos mais detalhados são necessários. Por exemplo, para considerar o fator de eficiência de colisão  $\alpha$  sendo a unidade para todas as colisões não é levado em consideração os efeitos das forças de curta distância tais como repulsão eletrostática, as forças de van der Waals e forças hidrodinâmicas. Assim, no artigo original de Smoluchowski (1917), foi suposto que todas as colisões levavam à agregação. Dessa forma, foram ignorados os efeitos das forças de curta distância. O efeito combinado de repulsão eletrostática e atração de van der Waals entre duas partículas é descrito pela teoria de DLVO (Deryagrin e Landau, 1941; Verwey e Overbeek, 1948) esta teoria supõe que o efeito de duas forças é aditiva, e os resultados podem ser mostrados na forma de um diagrama de energia potencial mostrado na Figura 02.



**Figura 02:** Representação da teoria de DLVO

Fonte: adaptado de Thomas *et al.* (1999)

Os principais pontos de interesse na Figura 02 são:

- Altura da barreira de energia;
- O baixo Potencial Zeta a distâncias muito pequenas.

A Figura 02 sugere que embora a proximidade entre as partículas seja favorável, energeticamente uma barreira de grande energia deve ser superada. O papel de um coagulante é abaixar a barreira de energia reduzindo a repulsão eletrostática tornando mais fácil o encontro entre partículas, deixando as partículas mais próximas uma das outras.

Quanto mais baixa a barreira de energia,  $\alpha$  fica mais próximo da unidade. Fuchs (1934) publicou um método de análise dos diagramas potenciais de energia para calcular o valor de  $\alpha$ . Um grande número de trabalhos voltados à incorporação das forças de superfície em equações de transporte surgiu desde que a teoria de DLVO foi estabelecida. Kihira e Matijevicx (1992) estudaram a fundo essas equações.

Em termos das interações hidrodinâmicas, os modelos clássicos são todos baseados na suposição que as interações interpartículas são insignificantes até o ponto de contato e, conseqüentemente, a adesão ocorre com eficiência de 100%. Na realidade, as forças hidrodinâmicas interferem significativamente sobre as partículas colididas. Como as partículas

colidem, o fluido contido no pequeno espaço entre elas é comprimido e posteriormente expulso. Este movimento do fluido faz com que as partículas girem uma em relação à outra, de maneira que desviem do trajeto linear suposto na aproximação clássica. Conseqüentemente a aproximação clássica de modelagem da floculação é descrita como retilínea. A alternativa é conhecida como aproximação curvilínea. A força hidrodinâmica faz com que as partículas na aproximação girem ligeiramente ao redor uma da outra. As correções feitas a  $\alpha$  através das considerações de forças hidrodinâmicas podem ser interpretadas mais exatamente como modificações a funções de frequência de colisões. Os tamanhos das partículas envolvidas nas colisões têm um efeito significativo nos valores de várias taxas de floculação. Sobre diferentes variações de tamanho, diferentes mecanismos de floculação tornam-se dominantes. No tratamento de águas residuárias os tamanhos de partículas podem variar de menos de  $1\mu\text{m}$  a mais de  $1000\mu\text{m}$ , especialmente se os hidróxidos de metal são precipitados.

A aproximação retilínea supõe essencialmente que o fluido não tem nenhuma influência sobre o processo de floculação, exceto nos efeitos do arrasto na massa. Han e Lawler (1992) calculando as frequências de colisão entre duas partículas variando de  $1\mu\text{m}$  a  $1000\mu\text{m}$ , baseados na aproximação retilínea, observaram que:

- A floculação pericinética dominou quando as partículas secundárias eram menores que  $1\mu\text{m}$ ;
- A sedimentação diferencial dominou quando as partículas secundárias eram maiores que  $10\mu\text{m}$ ;
- Para as floculações ortocinética e sedimentação diferencial a frequência de colisão era uma função muito dependente do tamanho das partículas, dominado pelo diâmetro da largura de duas partículas.

Os mesmos autores estenderam a análise para comparar colisão entre todos os pares de partículas com tamanhos na escala  $1\mu\text{m}$  a  $1000\mu\text{m}$ . Para um conjunto de valores de gradiente de velocidade foi verificado que a floculação pericinética era o mecanismo dominante somente quando ambas as partículas fossem pequenas, enquanto a sedimentação diferencial era dominante somente quando uma partícula era grande e a outra significativamente menor. Em todos os outros casos a floculação ortocinética era o mecanismo dominante. Portanto de acordo com o modelo retilíneo de floculação, a floculação ortocinética é a de maior importância - HAN e LAWLER, 1992.

Os modelos curvilíneos têm sido desenvolvidos por alguns autores. Han e Lawler

(1991), desenvolveram as equações para a sedimentação diferencial, Han (1989) desenvolveu-as para floculação pericínética e Adler (1981b) para a floculação ortocinética.

Adler (1981b) foi o primeiro a aplicar a teoria das interações hidrodinâmicas para sistemas heterodispersados (partículas não igualmente dispersas na matriz fluida). O autor mostrou, a partir de equações baseadas nas condições de escoamento que na presença de uma combinação de forças hidrodinâmicas, eletrostáticas e de van der Waals as frequências de colisão eram maiores quando as partículas eram do mesmo tamanho. O autor indica que não considerar as interações hidrodinâmicas leva a uma superestimativa da frequência de colisão.

Lawler (1993) calculou eficiências de colisão por várias relações de tamanho de partículas levando em conta as forças hidrodinâmicas e mostrou que o modelo curvilíneo comparado ao modelo retilíneo previu ordens de frequência de colisão ( $\beta$ ) em torno de 2 vezes maior para floculação pericínética, entre 2 e 3 vezes menos para sedimentação diferencial e cerca de 5 vezes menos para floculação ortocinética.

Mais especificamente mostrou que colisões entre partículas que são extremamente diferentes no tamanho são muito improváveis de ocorrer pela floculação ortocinética.

As expressões numéricas que aproximam os valores de correção para converter o modelo retilíneo ao modelo curvilíneo são apresentadas por Han e Lawler (1992). As expressões numéricas são funções essenciais da:

- Relação do tamanho de partículas que colidem;
- Relação entre forças hidrodinâmicas de cisalhamento e de van der Waals entre partículas que colidem.

Han e Lawler (1992) compararam as colisões entre todos os pares de partículas com tamanhos variando de  $1\mu\text{m}$  a  $1000\mu\text{m}$  baseados na aproximação curvilínea. Comparando com o modelo retilíneo, as regiões nas quais a floculação pericínética e a sedimentação diferencial foram dominantes, ambas expandiram significativamente, enquanto a região em que a floculação ortocinética era dominante reduziu-se consideravelmente. De fato, a floculação ortocinética dominou para partículas de tamanho similar.

Três conclusões importantes levantam-se dos desenvolvimentos de modelos curvilíneos:

- A floculação ortocinética é bem menos importante num modelo curvilíneo do que num modelo retilíneo;

- O modelo curvilíneo prediz uma frequência muito mais baixa de colisão que o modelo retilíneo, embora a redução seja menor quando as partículas são de tamanho similar;
- A floculação ortocinética não é mais vista como sendo diretamente proporcional a G, como previsto por Camp e Stein (1943).

A terceira destas observações é de interesse particular. Han e Lawler (1992) concluíram que os projetistas poderiam construir as unidades de floculação com o G mínimo requerido para manter as partículas em suspensão.

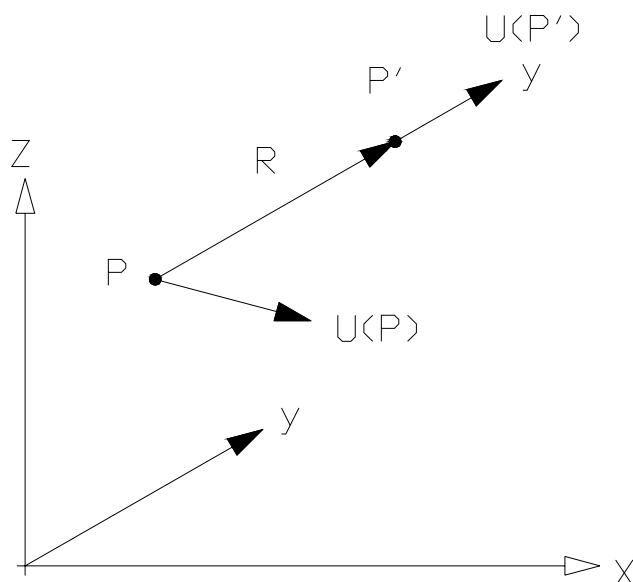
Os estudos atuais em modelagem de forças hidrodinâmicas entre partículas colidindo estão desenvolvendo-se em duas áreas, ambas pertencentes à definição mais realística da estrutura agregada (flocos). A primeira área está concernida com o arrasto na superfície dos agregados enquanto a segunda está associada com a distribuição dos agregados e como eles se aproximam um dos outros.

Na primeira área, Veerapaneni e Wiesner (1996) calcularam o fluxo e associaram o arrasto em uma esfera de porosidade não uniforme, enquanto Li e Logan (1997a) modificaram a expressão de permeabilidade de Brinkman (1947) para levar em conta a porosidade não uniforme. Wu e Lee (1998) calcularam o arrasto, para Reynolds (Re) maior que 1, de um floco poroso em movimento. Os autores descobriram que em valores de suficiente alta porosidade o coeficiente de arrasto permaneceu inversamente proporcional ao número de Reynolds até o valor 40. Em outras palavras, de acordo com Wu e Lee (1998), o regime de Stokes para o arrasto sobre um agregado poroso estende-se substancialmente mais do que aquele para uma esfera sólida.

Na segunda área Kusters *et al.* (1997) usaram os resultados de Adler (1981a) a respeito de fluxo através de partículas porosas para calcular a eficiência de colisão entre agregados uniformemente porosos. Estes resultados se aplicaram somente quando a relação dos raios das partículas que colidem era menor que 0,1. Os autores descobriram que acima de um limite crítico dos raios de pequenas dimensões (definido como  $D/\sqrt{k_a}$ , onde D é o diâmetro agregado e  $k_a$  é a permeabilidade agregada) a eficiência de colisão torna-se zero.

Kusters *et al.* (1997) também apresentaram valores para a eficiência de colisão entre flocos uniformemente porosos quando a relação de seus raios era próxima da unidade. Os autores aproximaram o trajeto ao longo do qual partículas porosas aproximaram-se uma das outras adotando os resultados de Adler (1981b), que calculou os trajetos para esferas sólidas. Esta aproximação, quando incorporada nas equações de floculação básica por Kusters *et al.* (1997) produziram uma melhora marcante nas predições do modelo.

Outro fator importante a ser analisado é quanto ao tipo de escoamento, laminar ou turbulento, os quais podem ser associados com regimes de fluxo ordenado e caótico, respectivamente. Uma propriedade chave do regime laminar é que o conhecimento do fluxo em um dado ponto no fluido permite calcular o fluxo em uma pequena região ao redor daquele ponto. Em termos matemáticos, se dois pontos no espaço,  $P$  e  $P'$  (ver Figura 03), são separados por um pequeno vetor  $R$ , a diferença no fluxo entre dois pontos é dada pela Equação 10.



**Figura 03:** Cálculo da velocidade relativa entre os pontos  $P$  e  $P'$

Fonte: adaptado de Thomas *et al.* (1999)

$$dU = U(P') - U(P) = R \cdot A \quad \text{Equação 10}$$

onde:

$U$ : velocidade (m/s);

$A$ : tensor relativo do gradiente de velocidades.

Em efeito, com uma linha fixa no espaço,  $A$  permite calcular como a velocidade muda ao longo daquela linha. Conseqüentemente, em regime de fluxo laminar é possível calcular a velocidade relativa entre partículas. À primeira vista pode parecer que as partículas colidem em virtude de suas velocidades relativas, como caracterizado em  $A$ . Contudo, isto é uma grande simplificação porque  $A$  incorpora a rotação da partícula. A velocidade relativa entre dois pontos pode ser dividida em duas componentes: cisalhamento e rotação. O elemento rotacional da velocidade relativa não contribui com a taxa de colisões porque durante a rotação as partículas permanecem à mesma distância. É assim que somente a componente de cisalhamento leva a

colisões entre partículas. A velocidade relativa de cisalhamento entre dois pontos é caracterizada como tensor da taxa de tensão,  $S$ , definido como na Equação 11.

$$S = \frac{1}{2}(A + A^{T_r}) \quad \text{Equação 11}$$

onde:

$T_r$  : traduz a transposta.

$S$ : tensor da taxa de tensão;

Substituindo  $A$  por  $S$  na Equação 11, resulta a velocidade relativa de cisalhamento entre os pontos  $P$  e  $P'$ .

Há dois tipos genéricos de tensão: tensão de cisalhamento puro e puro normal. Na tensão de cisalhamento puro normal a velocidade na direção de uma das principais coordenadas, isto é,  $x$ ,  $y$  ou  $z$ , é uma função somente daquela coordenada, visto que na tensão de cisalhamento puro é uma função somente das outras duas coordenadas. Smoluchowski (1917) na sua formulação original de equações de floculação assumiu que o escoamento era submetido à tensão de cisalhamento puro, isto é, fluxo laminar. Na realidade, essa foi uma forma de simplificação bidimensional da tensão de cisalhamento com apenas um componente da velocidade relativa considerada. Baseado nesse fluxo simplificado, Smoluchowski (1917) deduziu que a taxa de floculação ortocinética era proporcional ao gradiente de velocidade  $du/dy$ .

Camp e Stein (1943) tentaram mais tarde desenvolver a aproximação de Smoluchowski a fim de que o movimento tridimensional do fluido pudesse ser levado em consideração. Eles definiram um termo  $G$  como o gradiente de velocidade médio para um elemento local discreto do fluido submetido à tensão, e associaram  $G$  com a taxa local de dissipação de energia, como descrito na Equação 12 (Equação 01 reescrita).

$$G = (\varepsilon/\nu)^{1/2} \quad \text{Equação 12}$$

onde:

$\varepsilon$  : taxa local de dissipação de energia;

$\nu$  : viscosidade cinemática da água.

Além disso, os autores (Camp e Stein, 1943) mudaram a escala local para a escala

global pela definição de  $G^*$ , para um sistema de floculação, como na Equação 13.

$$G^* = (\varepsilon^*/\nu)^{1/2} \quad \text{Equação 13}$$

onde:

$\varepsilon^*$ : média de dissipação de energia para todo o sistema de floculação;

$G^*$  : gradiente de velocidade médio global.

Camp e Stein (1943) assumiram que  $du/dy$  de Smoluchowski (1917) poderia ser substituído por  $G$  para o regime de fluxo laminar e por  $G^*$  em regime de fluxo turbulento.

Krammer e Clark (1997) identificaram dois erros no trabalho de Camp e Stein (1943).

Primeiramente, o método pelo qual Camp e Stein moveram o fluxo de 2D para 3D ignorou a contribuição feita pelo componente de tensão puro normal do tensor de taxa-força e, conseqüentemente, eles associaram incorretamente  $G$  com  $\varepsilon$ .

O segundo erro, contudo, tem maiores conseqüências imediatas a respeito da modelagem de floculação. Este erro envolve a suposição de que  $G^*$  é uma medida representativa de escoamentos dinâmicos dentro de um floclador. Kramer e Clark (1997) discutiram as variações de gradiente de velocidade médio local dentro de um tanque experimental e mostraram que Camp e Stein (1943) tinham superestimado o gradiente de velocidade médio global. De fato, quanto maiores as variações locais, isto é, escoamento mais turbulento, maior a magnitude do erro.

Kramer e Clark (1997) tentaram estender o fluxo 2D usado por Smoluchowski (1917) para fluxo 3D evitando o erro incorrido por Camp e Stein (1943) e assumiram que o fluxo para um pequeno elemento de fluido poderia ser descrito em termos laminares. Os autores diagnosticaram  $S$  e deduziram que a taxa de floculação era proporcional à magnitude máxima dos elementos do tensor diagnosticado. A significância física do tensor taxa de força é o cisalhamento sofrido por um pequeno elemento de fluido. Os eixos podem ser configurados de tal maneira que o elemento se submeta somente à tensão puro normal. Focados nas taxas de tensão relativa ante ao gradiente de velocidade relativa como Camp e Stein (1943) realizaram, Kramer e Clark (1997) fizeram uma rigorosa análise da taxa de colisão em fluxo laminar.

As idéias de Kramer e Clark (1997) não foram estendidas de fluxo laminar para turbulento. Em termos gerais, a turbulência é ainda um fenômeno pouco entendido. Contudo, o modelo de turbulência que tem sido adotado com sucesso na modelagem de floculação é o



isotrópico. Esse modelo descreve a turbulência como uma cascata de turbilhões diminutos. A energia aplicada a um fluido durante a mistura é primariamente usada para a formação de grandes turbilhões. Estes grandes turbilhões realizam a maioria do transporte de momento, mas apenas uma pequena quantia da energia é dissipada. A energia transferida através de uma série de turbilhões de tamanho decrescente até um certo tamanho é alcançada onde toda a energia é dissipada por forças de viscosidade. A escala de comprimento de turbilhão onde a dissipação de energia por forças de viscosidade domina é chamada de microescala de Kolmogorov, dada pela Equação 14.

$$\lambda = \left( \nu^3 / \varepsilon \right)^{1/4} \quad \text{Equação 14}$$

onde:

$\lambda$  : microescala de Kolmogorov;

$\nu$  : a viscosidade;

$\varepsilon$  : a taxa de dissipação de energia.

Baseado no modelo de cascata, Casson e Lawler (1990) apresentaram uma proposta em que, para condições turbulentas, colisões entre partículas são promovidas por turbilhões de tamanho similar àqueles das partículas que colidem. Eles desenvolveram a função de frequência de colisão ortocinética aplicando diferentes valores para G, para diferentes pares de partículas que colidem. O modelo desenvolvido ajustou bem aos dados experimentais. Os autores concluíram que as menores partículas tinham maior probabilidade de colidir uma com a outra em relação às partículas maiores. Isto é idêntico às conclusões da aproximação curvilínea discutida anteriormente. Os autores também afirmam que a energia gasta durante a mistura na criação de grandes turbilhões pode ser ineficiente.

Uma conclusão similar foi alcançada por Han e Lawler (1992) estudando o efeito da retardação hidrodinâmica sobre as constantes de colisão nas equações de Smoluchowski (1917). Os autores concluíram que em função do efeito de retardamento hidrodinâmico ser tão pronunciado nas colisões ortocinéticas, a real contribuição desta no processo de floculação é mínima. Como tal, o modelo fornecia simplesmente a média das partículas suspensas para manter a quantidade de partículas alta o suficiente para ocorrer colisões.

Kramer e Clark (1997) destacaram o fato que o gradiente de velocidade médio varia de um ponto a outro dentro de um tanque. Conseqüentemente, como o agregado é mantido no tanque, esse G ao qual ele está exposto variará. Kusters *et al.* (1991) determinaram

experimentalmente que o valor de tempo calculado do G para o qual o agregado está exposto não difere significativamente da definição de Camp e Stein (1943) para o gradiente de velocidade médio global,  $G^*$ . Entretanto, é importante notar que um agregado pode cisalhar se apenas por um instante ele for exposto a um G significativamente mais alto que o valor do gradiente de velocidade médio global. Em um floculador, esses valores podem ocorrer próximos ao impulsor (pás do motor). É mais provável que a ruptura ocorra nessas regiões do que em zonas mais distantes do impulsor.

Já a consideração de que as partículas são monodispersadas apresenta outras implicações. Por causa da natureza complexa das equações de floculação e dificuldades encontradas em suas soluções Smoluchowski (1917) a solucionou levando em consideração uma matriz fluida monodispersada, a qual tem perdurado. A incorporação da intensidade de mistura G e eficiência de colisões  $\alpha$  na Equação 07 fornece a Equação 15.

$$N_t = N_o \exp\left\{-\left(4/\pi\right)Gt\alpha\phi\right\} \quad \text{Equação 15}$$

onde:

$N_t$ : concentração total de partículas no tempo t ( $L^{-3}$ ).

Baseados nessa equação e assumindo  $\alpha$  e  $\phi$  constantes para um dado sistema, alguns autores têm concluído que uma pequena dimensão da quantidade  $G \times t$ , conhecido como o número de Camp, deve ser um parâmetro de projeto para unidades de floculação em tratamento de água. Tambo (1965) e seus vários colaboradores (Tambo e Ogasawara, 1970; Tambo e Watanabe 1979; Tambo, 1991) propuseram que o produto adimensional  $G \times t \times \phi$  determina o progresso da floculação melhor do que  $G \times t$ . O'Mélia (1972) sugeriu que para o tratamento de águas residuárias, a menor dimensão do produto  $G \times t \times \alpha \times \phi$  podia ser considerado como um parâmetro de projeto adicionando que o sucesso da floculação seria da ordem de 0,1.

A falta de estudos quanto aos sistemas de floculação heterodispersos tem chamado atenção quanto aos parâmetros  $G \times t$ ,  $G \times t \times \phi$  e  $G \times t \times \alpha \times \phi$ . Estes parâmetros são associados essencialmente a uma forma muito simplificada das equações de floculação as quais indicam a falta de consenso da literatura do ponto de vista de sua verdadeira influência na floculação. Por exemplo, Harris *et al.* (1996) observaram que a agregação e formação de flocos dependem de  $G \times t \times \phi$  e do tamanho da distribuição. Como nem todos esses parâmetros podem ser controlados pelos operadores da estação, seus usos estão limitados ao projeto das estações.

Gregory (1981) modelou a floculação de um colóide monodispersado e desestabilizado em um tubo, em regime laminar. As variações locais de  $G$  e  $t$  experimentadas pelas partículas do interior do tubo em diferentes posições radiais foram analisadas e as taxas de floculação previstas concordaram bem com os resultados experimentais. Entretanto, os modelos de floculação baseados na série de soluções monodispersadas, como a aplicada pelo autor, são aplicáveis apenas nos estágios iniciais da floculação antes dos agregados maiores serem envolvidos nas colisões.

A solução da floculação em sistemas heterodispersados exige uma lei de distribuição de tamanho de partículas que pode ser representada matematicamente por uma função discreta ou contínua. Na distribuição discreta, tamanhos sucessivos de partículas são definidos como forma da série de ajuste, tipicamente uma série matemática aritmética, isto é  $\{1, 2, 3, 4, \dots\}$ .

As séries aritméticas tornaram-se ineficientes em termos do encontro das soluções numéricas das equações de floculação como a faixa de aumento de partículas sob crescente investigação. Sobre este problema Stratton *et al.* (1994) definiram classes de tamanho de partículas que formavam uma série geométrica, isto é  $\{1, 2, 4, 8, 16, \dots\}$ . Essa série geométrica oferecia menos informações detalhadas que a série aritmética. Entretanto, pela escolha de cálculo em concentrações para classes de tamanho de partículas, isto é  $\{1-2, 2-4, 4-8, \dots\}$  em vez de classe individual de tamanho de partículas, o autor conseguiu reduzir as equações diferenciais requeridas para caracterizar a cinética de floculação de partículas para uma faixa de tamanho de partículas dada.

Em um estudo sobre a cinética de quebra levada a fundo por Calabrese *et al.* (1992), a falta de detalhes da série geométrica mostrou que eles não poderiam definir adequadamente o tamanho das partículas. No entanto, os autores utilizaram um número de entrelaçamentos das séries de Fibonacci, nas quais o valor de qualquer termo é a soma dos dois termos anteriores.

Um caminho alternativo para descrever a distribuição de tamanho é na forma de funções matemáticas contínuas. Por exemplo, pode-se inferir uma distribuição exponencial de tamanhos como a Equação 16.

$$n(d) = A \times e^{-B \times d_p} \quad \text{Equação 16}$$

onde:

A e B: constantes;

$d_p$  : diâmetro das partículas;

$n(d)$ : concentração de partículas.

Baseados em uma distribuição contínua, as equações de floculação tornaram-se diferenciais integrais parciais em vez de diferenciais puras. A forma usual de representar a curva de distribuição de tamanho é plotar  $n_v(t)$ , a concentração de partículas de volume  $v$  no tempo  $t$  contra  $v$  (volume da partícula). Para um sistema de agregação de partículas, a forma deste gráfico muda com o tempo (assumindo que o equilíbrio não foi estabelecido). Entretanto, Shumman (1940) observou que a plotagem de  $n_v(t)\varphi/Nt$  contra  $vN/\varphi$  ( $\varphi$  o potencial de floculação) não muda com a forma ou desenvolve com o tempo, uma vez um período suficiente de tempo romper a curva de floculação. Este é um exemplo de auto-similaridade. Um sistema de floculação é dito ser auto-similar se algumas formas normalizadas de suas distribuições de tamanhos tornarem-se independentes do tempo uma vez que um período suficiente de tempo é capaz de romper a curva de floculação. Onde o sistema mostra auto-similaridade as complexidades associadas com as colisões individuais mostram capacidade de prever e repetir matrizes para quase todas as distribuições de tamanhos.

A solução fundamental feita por Swift e Friendlander (1964) em suas investigações de auto-similaridade mostra que a distribuição de partículas tem a forma da Equação 17.

$$n_v(t) = N_t^2 \psi \left( \frac{N_t v}{\varphi} \right) \quad \text{Equação 17}$$

onde:

$\psi$ : auto-similaridade da distribuição de tamanhos.

Essa equação mostra que enquanto  $n_v$  muda com o tamanho e com o tempo,  $\psi$  não muda com o tempo. A principal vantagem de representar a distribuição de tamanhos tal como a Equação 17 é diminuir o número de variáveis requeridas para descrever a distribuição de tamanhos. Isto torna mais fácil a comparação entre diferentes tamanhos de distribuição.

Para um dado sistema de floculação, pode ser dado menor enfoque na distribuição de tamanhos pela forma da Equação 17, pois esta é uma solução para as atuais equações de floculação inteiramente dependente da forma matemática da frequência de colisões. Pulvermacher e Ruckenstein (1974) calcularam as frequências que teriam que satisfazer a Equação 17 para representar uma solução das equações de floculação. Swift e Friendlander (1964) provaram que a Equação 17 era função da solução particular das equações de floculação pericinética e ortocinética.

Nas situações onde a Equação 17 é solução, duas hipóteses têm sido aceitas:

- A solução representa o termo longo, ou assintótico, do comportamento do sistema;
- A forma da auto-similaridade do tamanho da distribuição é independente da distribuição inicial.

Embora nenhuma hipótese tenha sido provada matematicamente por um grupo de trabalhos experimentais (Swift e Friendlander, 1964; Hidy e Lilly, 1965; Lai *et al.*, 1972), algumas ferramentas matemáticas foram apresentadas por Rosen (1984) que estudou a floculação do ponto de vista estatístico. O autor era capaz de fornecer boa auto-similaridade da distribuição de tamanhos para floculação pericinética sem ter que assumir uma forma para a distribuição inicial do tamanho das partículas.

Os trabalhos mais recentes de auto-similaridade têm focado os sistemas com fragmentação e floculação (Family *et al.*, 1986; Sorensen *et al.*, 1987; Meakin e Ernst, 1988; Elminyawi *et al.*, 1991). Embora de natureza complexa, os resultados dos trabalhos podem ser resumidos como:

- Duas diferentes distribuições auto-similares aplicadas durante a agregação: no início a floculação domina e depois o equilíbrio de aproximação do sistema. Entretanto, o erro acarretado por assumir apenas uma forma de auto-similaridade de distribuição de tamanho (similar à Equação 15) é suficiente para trazer preocupações;
- No equilíbrio, a partícula de mesmo tamanho é uma função das frequências de colisão e quebra.

Prever a forma atual da auto-similaridade do tamanho da distribuição demanda conhecimento detalhado das frequências de colisão e quebra. Tal informação não é normalmente avaliada nas aplicações reais do cotidiano, tal como o tratamento de águas residuárias, mas tais sistemas podem desprezar a auto-similaridade.

Por exemplo, Delichatsios e Probstein (1974) usaram o fenômeno da auto-similaridade para montar o cálculo da eficiência de colisões para a floculação de partículas de látex em escoamento turbulento. Koh *et al.* (1986) observaram auto-similaridade na faixa superior da distribuição do tamanho das partículas durante floculação ortocinética de scheelite (um importante minério de tungstênio). Spicer e Pratsisinis (1996a) relataram a auto-similaridade com respeito à intensidade de mistura em partículas de poliestireno desestabilizadas com sulfato de alumínio. Esses autores analisaram a distribuição de tamanho auto-similar e foram capazes de fazer inferências sobre o comprimento dos flocos de poliestireno. Spicer e Pratsisinis (1996b)

atribuíram a natureza da auto-similaridade ao mecanismo particular de quebra que ocorreu durante a mistura.

Uma das suposições do modelo original de Smoluchowski (1917) é que os flocos não quebram uma vez formados. Entretanto, como demonstrado por Spicer e Pratsinis (1996b) é o balanço dos fenômenos opostos de agregação e quebra que determinam o tamanho do floco e distribuição de massa. No início, as simulações em computador de Fair e Gemmell (1964) identificaram a importância da quebra no modelamento de floculação e o grande efeito provocado ao se levar em conta esse fenômeno nos modelos de previsão de floculação. Costas *et al.* (1995) simularam a agregação e fragmentação de partículas baseada nas séries simplificadas Kernels (o termo matemático para a constante da taxa cinética nas equações de Smoluchowski (1917)). Em todas as simulações a solução inicial de partículas foi considerada monodispersada. Os resultados ilustraram os efeitos da solução considerando o mecanismo de quebra, seja na taxa inicial de reação ou em eventual regime permanente de concentração.

Quase não se tem entendimento dos fatores que afetam o comprimento dos agregados ou seu modo de quebra sob tensão, e a maioria dos trabalhos tem sido de natureza empírica. É geralmente aceito (Mühle, 1993) que o mecanismo de quebra em escoamento turbulento depende do tamanho relativo dos flocos para a microescala de Kolmogorov. Para os flocos menores que a microescala de Kolmogorov, prevalecem as forças de viscosidade e erosão da superfície do floco. Por outro lado, para flocos maiores que a microescala de Kolmogorov, deformação ou fratura podem ocorrer como resultado de pressão dinâmica flutuante. Estas idéias implicam que o comprimento do floco é proporcional ao tamanho do floco. Entretanto, o recente trabalho experimental de Yeung e Pelton (1996) sugeriu que em vez de o comprimento estar relacionado ao tamanho do floco ele está relacionado à densidade dos flocos. Os autores comprovaram que flocos mais compactos eram mais suscetíveis a erosões considerando que flocos menos compactos eram suscetíveis a sofrer fratura.

Ritchie (1995) primeiro demonstrou a conexão entre o fenômeno de quebra e o valor de G. O autor encontrou uma relação empírica entre o G aplicado e o máximo tamanho do floco e indicou a existência de um valor crítico de G para um sistema particular, sob o qual a performance de floculação seria reduzida. Um efeito auto-similar foi observado por Tambo e Hozumi (1979) que propuseram uma relação (Equação 18) entre o máximo tamanho dos flocos e intensidade de mistura.

$$\text{max.tamanho dos flocos} = C_1 \times (G)^{-C_2} \quad \text{Equação 18}$$

onde:

$C_1$  e  $C_2$ : constantes.

Parker *et al.* (1972) calcularam os valores teóricos para  $C_1$  e  $C_2$  (ajuste potencial) em diferentes mecanismos de quebra (erosão e fratura) para partículas maiores ou menores que a microescala de Kolmogorov. Assumindo a erosão de uma dada partícula ser causada por um turbilhão de tamanho similar ao da partícula, os autores desenvolveram uma equação para a taxa de erosão da partícula. Foi proposto que a erosão da partícula era proporcional a  $G^2$  na faixa viscosa e a  $G^4$  para a faixa inercial (isto é, menor ou maior que a microescala de Kolmogorov).

Mühle e Domasch (1990) desenvolveram a Equação 18 para avaliar o comprimento dos flocos e o tamanho primário das partículas bem como a intensidade de mistura. Essas variáveis foram analisadas sob diferentes expoentes dependendo da relação de tamanho do floco com a microescala de Kolmogorov. Como resultado a equação permitiu a erosão e fratura dos flocos.

Peng e Williams (1993) propuseram o modelo de quebra considerando a taxa de quebra proporcional ao tamanho do floco. As constantes de taxa associadas com este modelo foram consideradas serem incrementadas em função de  $G$ . Semelhantemente, Spicer e Pratsinis (1996b) propuseram um modelo de ruptura onde os termos de taxa e de tempo foram explicitamente assumidos serem funções do tamanho dos flocos e  $G$ . Acima de uma faixa de valores de  $G$  ( $25\text{s}^{-1}$  a  $150\text{s}^{-1}$ ) resultados experimentais revelaram que a taxa de quebra era proporcional a  $G^{-1,6}$  ( $C_2 = -1,6$ ).

Um tratamento quantitativo da taxa de quebra dos flocos como parte do modelo cinético global de floculação em mistura turbulenta foi desenvolvida por Argaman e Kaufman (1970) em uma trabalhosa expressão (Equação 19) para a floculação em escoamento contínuo em tanque de mistura.

$$\frac{N_0}{N_t} = \frac{(K_F G t)^m}{1 + K_B G^2 t \sum_{i=0}^{m-1} (1 + K_F G t)^i} \quad \text{Equação 19}$$

onde:

$K_B$ : constante de quebra;

$K_F$ : constante de formação.

Uma das conclusões imediatas desta Equação é que o número de Camp ( $G \times t$ ) não é suficiente para mostrar o processo de floculação porque não leva em consideração o fenômeno de quebra dos flocos.

Em alguns modelos de floculação, a quebra é levada em consideração colocando-se um limite superior ao tamanho dos flocos. Essa aproximação leva a um máximo da distribuição de tamanho do floco computado, cujo valor depende do modo de quebra assumido (Wisner, 1992; Dharmappa *et al.*, 1994).

### III.1.4 - Decantação

Na decantação ocorre a sedimentação dos flocos, a qual é regida por uma série de fatores, sendo um dos parâmetros principais a velocidade de sedimentação (Di Bernardo, 1993). Di Bernardo e Dantas (2005) mostraram em suas pesquisas algumas formas de determinação dessa velocidade em função do número Reynolds (Re) e do coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) para uma partícula esférica discreta. Assim, têm-se as equações 20 (Stokes) a 24 para cálculo.

$$V_s = \sqrt{\frac{4 \times g \times (\rho_s - \rho_a) \times d_p}{3 \times C_D \times \rho_a}} \quad \text{Equação 20}$$

onde:

- $V_s$ : velocidade de sedimentação (m/s);
- $\rho_s$ : massa específica da partícula ( $\text{kg/m}^3$ );
- $\rho_a$ : massa específica da água ( $\text{kg/m}^3$ );
- $d_p$ : diâmetro da partícula (m);
- $C_D$ : coeficiente de arrasto;
- $g$ : gravidade ( $\text{m/s}^2$ ).

$$\text{Re} = \frac{\rho_a \times V_s \times d_p}{\mu} \quad \text{Equação 21}$$

onde:

- Re: número de Reynolds.

Sendo  $C_D$  adotado da seguinte maneira:

- Para  $\text{Re} \leq 1$ :



$$C_D = \frac{24}{Re} \quad \text{Equação 22}$$

- Para  $1 < Re \leq 2000$  :

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad \text{Equação 23}$$

- Para  $Re > 2000$  :

$$C_D = 0,4 \quad \text{Equação 24}$$

De acordo com Camp (1946) apud Di Bernardo (1993) a velocidade de sedimentação em decantadores não ideais depende de uma série de fatores, como pH, temperatura, qualidade da água bruta, tipo de coagulante, entre outros, que fazem necessários ensaios em aparelhos de laboratório (*jar-test*). Os ensaios em *jar-test* são realizados com água bruta nas condições de coagulação, floculação e tempo de detenção hidráulico do equipamento a ser utilizado.

Di Bernardo (1993) explica que a floculação adicional sofrida pelos flocos aumenta suas velocidades e comenta, ainda, que o efeito global dos efeitos adversos que ocorre nos decantadores pode diferir muito dos resultados obtidos em ensaios com dispositivos em que a água fica em repouso (*jar-test*).

Em um comentário prático, Di Bernardo (1993) descreve que a adoção de velocidades da ordem de 0,15 a 0,30m/s na entrada dos decantadores e gradiente de velocidade médio menores que  $20s^{-1}$ , para que não haja quebra dos flocos. E, também, que as paredes de distribuição de água floculada podem ser de madeira, alvenaria ou concreto. Esses parâmetros são verificados na ABNT (1989). Pode-se determinar a quantidade, em volume, de sedimentos formados em cone de Inhoff, a partir da água floculada e um determinado tempo de sedimentação (Di Bernardo, 1993).

A remoção de lodo pode ser realizada de forma contínua, semi-contínua ou periódica (Di Bernardo, 1993). A ABNT (1989) recomenda, dentre outros:

- a) O decantador com remoção manual de lodo deve: ser provido de descarga(s) de fundo para que o esvaziamento seja efetuado em tempo menor que 6 horas; ter as descargas de fundo localizadas, preferencialmente, na zona de maior acumulação de lodo; ter o fundo com declividade mínima de 5% no sentido do local de descarga;

- b) Nos decantadores convencionais, com remoção de lodo, deve ser prevista uma altura adicional suficiente para acumular o lodo resultante de 60 dias de funcionamento;
- c) Deve ser previsto dispositivo de lavagem por jateamento utilizando-se requintes de 13mm de diâmetro devendo o jato atravessar o decantador na sua menor dimensão;
- d) A remoção hidráulica do lodo acumulado exige o fundo inclinado com ângulo superior a 50° (com o plano horizontal) formando poço em formato de tronco de pirâmide ou de cone invertido, devendo a descarga ser localizada na sua extremidade inferior;
- e) A descarga, quando automática, deve possuir dispositivo de ajuste de tempo (timer);
- f) A carga hidráulica para descarga deve ser superior a  $1,5 + \Delta h$  (metros), sendo  $\Delta h$  igual às perdas; caso contrário, deve-se prever a instalação de bombas;
- g) A tubulação de descarga de lodo com comprimento inferior a 10m deve ter diâmetro mínimo de 150mm; nos demais casos diâmetro de 200mm;
- h) A descarga deve possibilitar que o lodo seja observado;
- i) Quando for utilizado qualquer tipo de raspador mecânico, deve-se: ter poço de descarga conforme item d; ter velocidade máxima dos raspadores de 30cm/min; e ter descarga do poço sempre automática com o movimento do raspador.

Di Bernardo (1993) recomenda a remoção de lodo de forma periódica ou contínua. A periódica para os casos de água de baixa turbidez e a contínua para águas de alta turbidez em que a quantidade de lodo formada é grande.

Para o caso dos decantadores convencionais (horizontais) o lodo se acumula em cerca de 60% a 80% até a metade de seu comprimento exigindo uma manobra mais elaborada para a coleta e disposição dos pontos de coleta do lodo (Di Bernardo, 1993).

A seção da comporta de descarga é dada pela Equação 27 (Di Bernardo, 1993).

$$Sd = \frac{A_{dp}}{4850 \times tde} \times \sqrt{Hu} \quad \text{Equação 27}$$

onde:

$Sd$  : seção da comporta de descarga (m<sup>2</sup>);

$tde$  : tempo de descarga (h);

$Hu$  : profundidade útil (m);

$A_{dp}$  : área do decantador em planta (m<sup>2</sup>).

O autor recomenda tempos (tde) inferiores a 2h e, a ABNT (1992), de 6h.

Em um de seus comentários, Di Bernardo (1993) coloca que embora a norma ABNT (1989) recomende uma velocidade máxima de movimentação do lodo de ETA de 0,3m/min o fabricante pode, com base em sua experiência, adotar velocidade maior. Esse comentário torna-se pertinente à medida que orienta o uso do conhecimento prático, possivelmente não levado em consideração na elaboração da norma, para melhor desempenho e diminuição dos custos em um determinado projeto ou situação.

### III.1.5 - Manta de Lodo

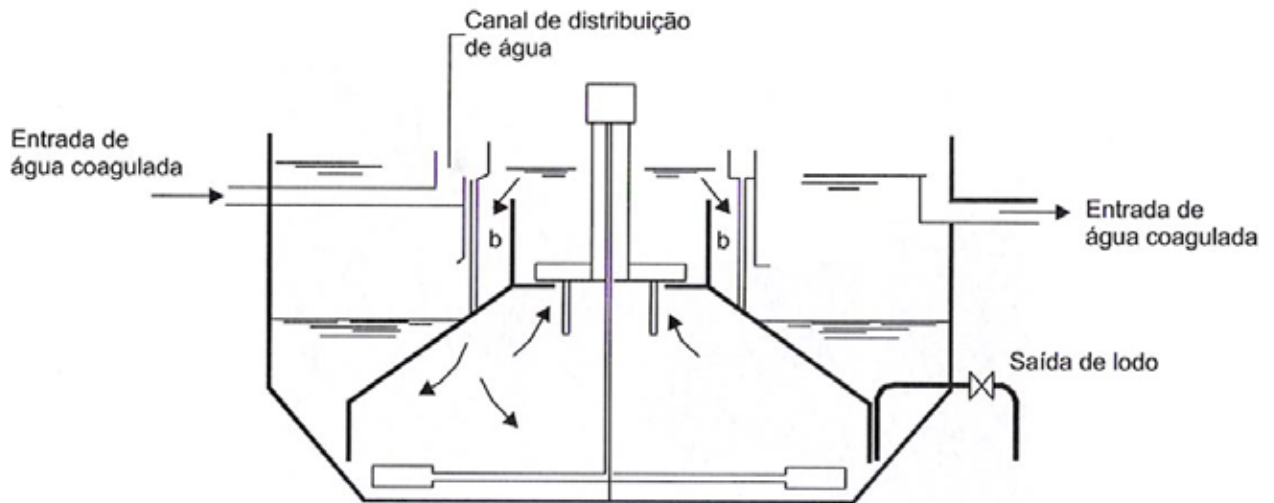
Quando a entrada do decantador é feita na zona de lodo, os mesmos são chamados de decantadores de manto de lodo, os quais trabalham com taxas de escoamento superficiais normalmente maiores que os de escoamento horizontal. Esse processo apresenta certas dificuldades de formação e manutenção do manto já que há dificuldades de formação do manto para águas de turbidez menor que 50uT (Di Bernardo, 1993).

Os sistemas com unidades de decantação e floculação conjunta possuem uma zona, em meio ao manto de lodo formado, com alta taxa de encontros entre partículas, permitindo uma taxa de escoamento superficial de 50 a 100 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, dependendo da água bruta, da eficiência da coagulação e do uso de polímeros (Di Bernardo, 1993), embora sejam encontradas ETA operando com taxas até 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia (Di Bernardo e Dantas, 2005).

Di Bernardo (1993) recomenda, ainda, o uso dessas unidades em situações de escoamento contínuo e com pouca variação da água bruta. Comenta, também, que o desempenho dessas unidades depende da manutenção do manto de lodo (como já observado por Cavazzana e Matsumoto (2004a), Guilherme e Matsumoto (2000) e Tangerino *et al.* (1998)).

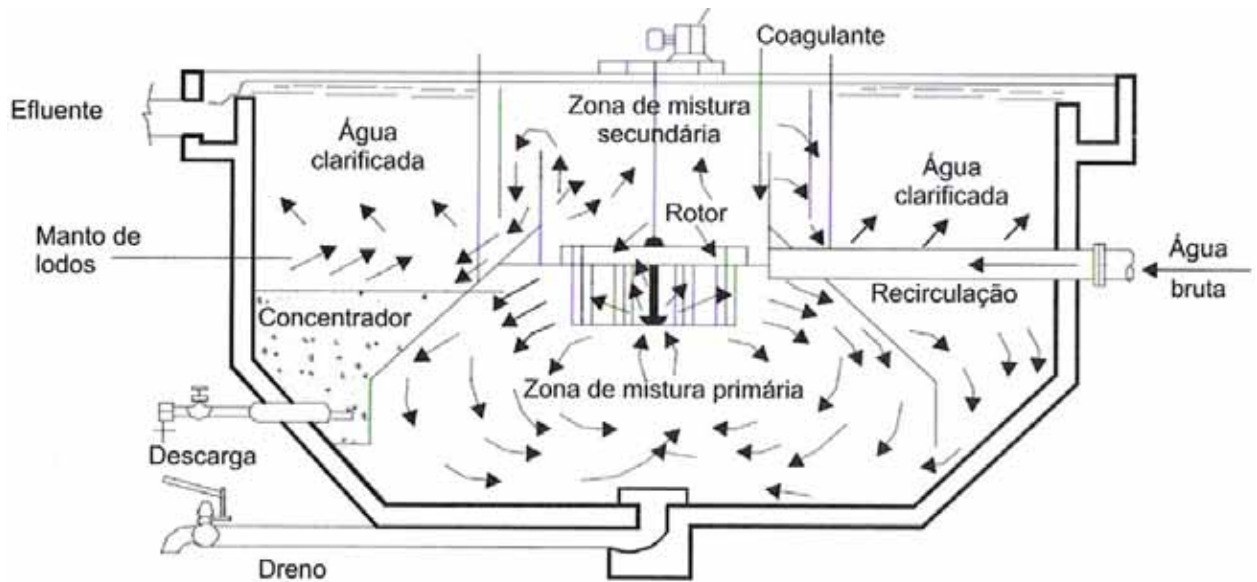
Ao mesmo tempo, Di Bernardo (1993) comenta uma versatilidade dessas unidades conjuntas, descrevendo que podem ser hidráulicas ou mecanizadas, com ou sem recirculação de lodo, com ou sem controle da altura de lodo e com escoamento contínuo, constante ou pulsante.

A coleta de água decantada é realizada e feita por tubos perfurados ou canaletas e a extração de lodo é realizada hidráulicamente. Porém, em geral a raspagem do lodo e a floculação são mecanizados. Algumas formas de decantador de manto de lodo são mostradas nas figuras 04 a 07 (Di Bernardo, 1993).



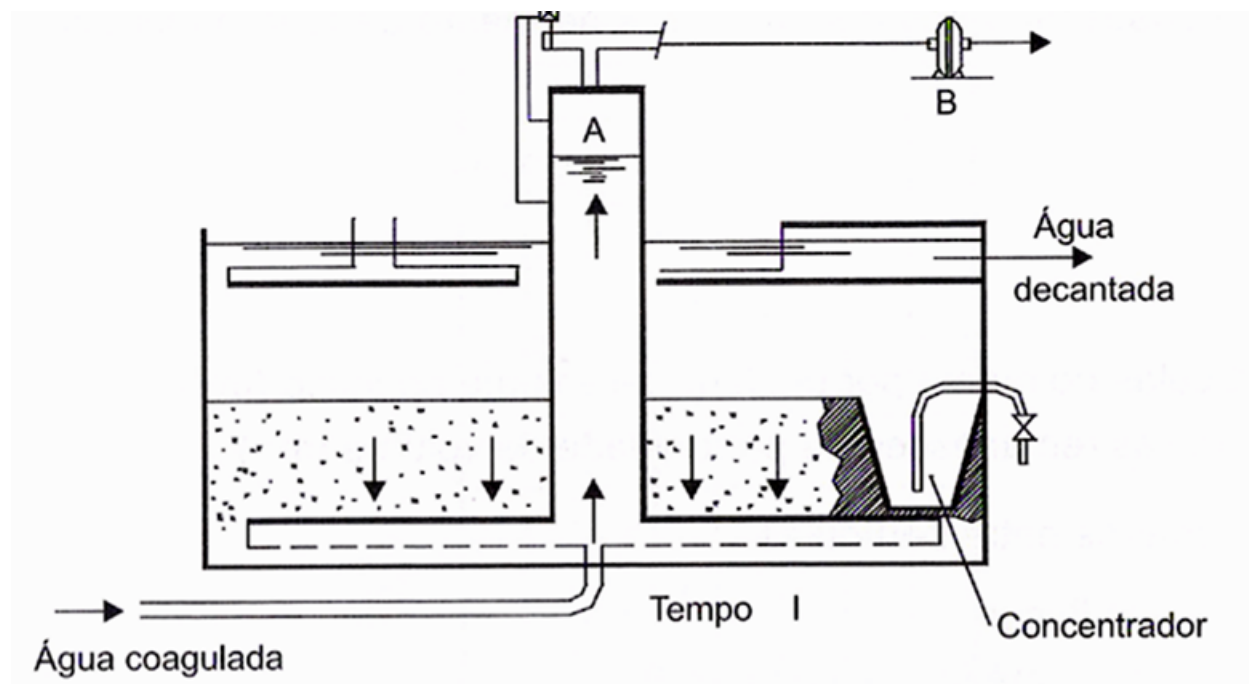
**Figura 04:** Decantador de manta de lodo mecanizado tipo accelerator

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)



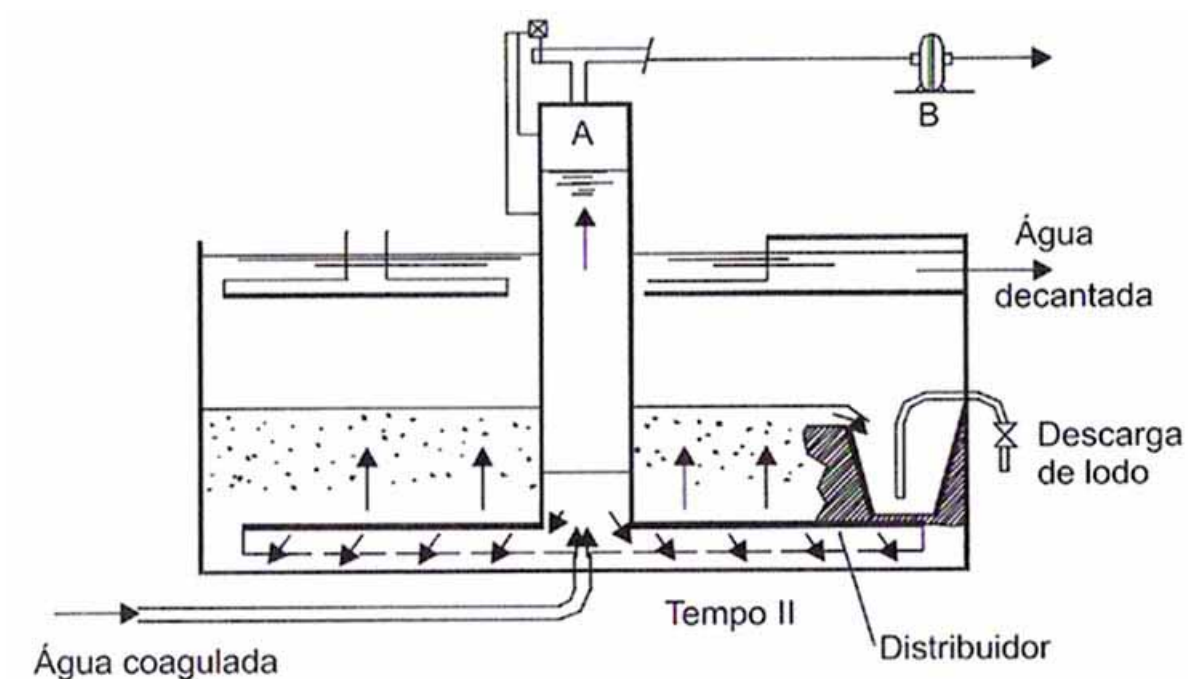
**Figura 05:** Decantador de manta de lodo mecanizado tipo aquazur

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)



**Figura 06:** Esquema de um decantador de manta de lodo pulsante após o descarte do lodo

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)



**Figura 07:** Esquema de um decantador de manta de lodo pulsante durante a sucção

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)

Uma orientação teórica para avaliar a suspensão do manto de lodo – de forma

semelhante ao apresentado na Equação 15 - é apresentada por Di Bernardo (1993), pela Equação 28.

$$N_{m} = N_{0m} \times \exp\left(-\frac{\eta_m \times G_{mm} \times \phi \times t_{DH}}{\pi}\right) \quad \text{Equação 28}$$

onde:

$N_m$  : número de partículas remanescentes por unidade de volume;

$N_{0m}$  : número de partículas por unidade de volume no manto;

$\eta_m$  : eficiência dos encontros;

$\phi$  : fração em volume de flocos;

$G_{mm}$  : gradiente de velocidade médio no manto;

$t_{DH}$  : Tempo de detenção hidráulico.

De forma geral, observa-se que só é possível incremento na manta a partir de um mínimo de formação da mesma. As velocidades de sedimentação da suspensão e das partículas individuais estão relacionadas de acordo com a Equação 29 (Di Bernardo, 1993).

$$V_{ss} = V_{sp} \times (1 - f \times \phi^{2/3}) \quad \text{Equação 29}$$

onde:

$V_{ss}$  : velocidade de sedimentação da suspensão (m/s);

$V_{sp}$  : velocidade de sedimentação das partículas floculentas (m/s);

$f$  : fator de forma (igual a 2,78 para flocos obtidos após coagulação no mecanismo da varredura com uso de sais de ferro ou alumínio).

Já o gradiente de velocidade médio no manto pode ser obtido utilizando-se a Equação 30 e o gráfico da Figura 08, de acordo com Ives (1968) apud Di Bernardo e Dantas (2005).

$$\sum_{D_{mi}}^{D_{ms}} G_{mm} \times f \times t_{DH} = \left[ \frac{(\gamma_s - \gamma_a) \times \pi}{4 \times Q \times \mu \times f^{9/2}} \right]^{1/2} \times \frac{D_{mi}^2}{2} \times F\left(\frac{D_{ms}}{D_{mi}}\right) \quad \text{Equação 30}$$

onde:

$G_{mm}$ : Gradiente de velocidade médio no manto de lodo ( $s^{-1}$ );

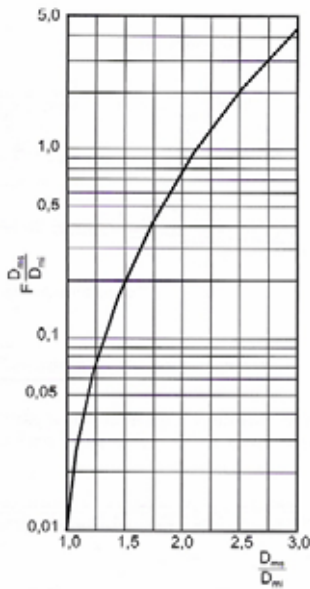
$t_{DH}$ : tempo médio de detenção no manto (s)

$\gamma_s$ : peso específico dos flocos ( $N/m^3$ );

$\gamma_a$ : peso específico da água ( $N/m^3$ );

$D_{ms}$ : diâmetro da base superior do tronco de pirâmide (m);

$D_{mi}$ : diâmetro da base inferior do tronco de pirâmide (m).



**Figura 08:** Relação entre  $\frac{D_{ms}}{D_{mi}}$  e  $F\left(\frac{D_{ms}}{D_{mi}}\right)$

Fonte: Ives (1968) apud Di Bernardo e Dantas (2005)

O gráfico da Figura 08 mostra o perfil de crescimento de  $F\left(\frac{D_{ms}}{D_{mi}}\right)$  conforme a relação entre diâmetros,  $\frac{D_{ms}}{D_{mi}}$ , da faixa que se deseja calcular o gradiente de velocidades na Equação 30, cresce.

### III.1.6 - Alta Taxa

Di Bernardo e Dantas (2005) analisaram a possibilidade negativa do arraste de flocos do fundo em decantadores convencionais devido ao aumento de vazão mesmo no caso de

concentrar-se as calhas de coleta de água decantada no final do decantador e utilizando-se de decantador de alta taxa. Os autores observaram carreamento excessivo de flocos para taxas de aplicação superficial de  $40\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ .

A necessidade de aumento da taxa de escoamento superficial desencadeou os estudos de Camp e Stein (1946) e de Camp (1953) sobre decantadores de placas paralelas ou de alta taxa.

A dificuldade encontrada para remoção do lodo formado entre as placas foi resolvida por Hansen e Culp (1967). Culp *et al.* (1968) apud Di Bernardo (1993) inovaram consideravelmente a tecnologia da sedimentação através do estudo pioneiro dos decantadores de alta taxa constituídos de dutos de forma circular, retangular, quadrada, entre outras, dispostos paralelamente e introduzidos de forma adequada nos decantadores convencionais. O desenvolvimento da aplicação dessa tecnologia passou por uma formulação teórica apresentada por Yao (1970) confirmando em 1973 que o escoamento entre as placas possuía regime laminar. O fator de segurança apresentado por Yao gerou os trabalhos de Cunha (1990) e de Fadel e Baumann (1990), os quais comprovaram a sedimentação no trecho não desenvolvido do perfil de velocidades. Cunha (1990) observou a fraca influência das dimensões físicas do duto no desempenho da remoção de partículas. Alcócer (1999) formulou e comprovou experimentalmente um modelo matemático numérico capaz de representar a trajetória de partículas discretas em dutos de seção quadrada ou retangular.

Os trabalhos a respeito da determinação da trajetória de partículas em dutos necessitam da determinação do trecho de transição, como o apresentado por Di Bernardo *et al.* (1991), obtido pela Equação 31 e Tabela 01.

$$l_t = C_t \times D_c \times \text{Re}$$

Equação 31

onde:

$l_t$ : comprimento do trecho de transição (m);

$C_t$ : coeficiente que depende da geometria do duto;

$D_c$ : dimensão característica para o escoamento - igual a 4 vezes o raio hidráulico – (m);

$\text{Re}$ : número de Reynolds.

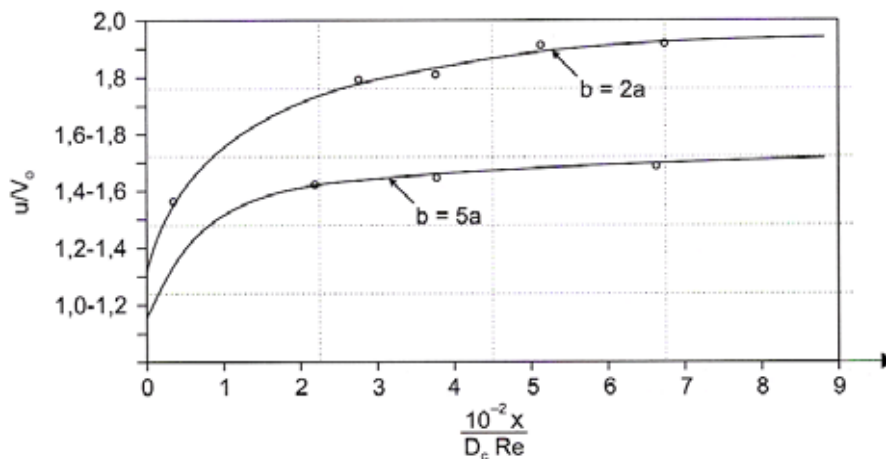


**Tabela 01:** Coeficiente  $C_t$  para diferentes secções

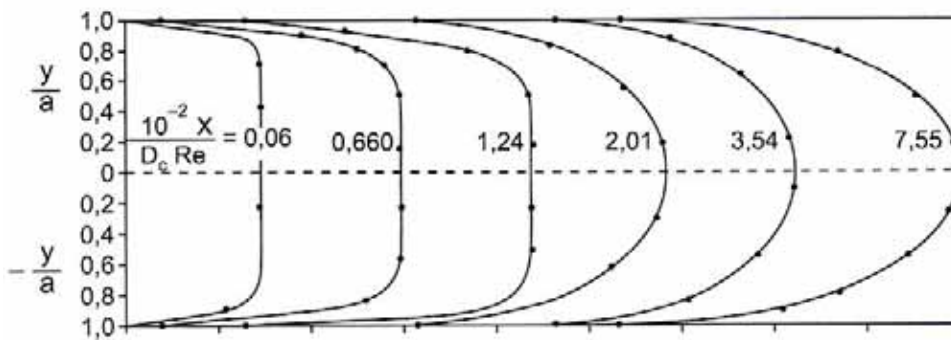
Dutos circulares		Placas planas		Dutos retangulares	
Autores	$C_t$	Autores	$C_t$	Autores	$C_t$
Langhaar	0,0580	Schlichting	0,0100	Han	0,075
Schiller	0,0288	Sparrow	0,0065	Goldstein e Kreid	0,090
				Sparrow	$\geq 0,080$

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)

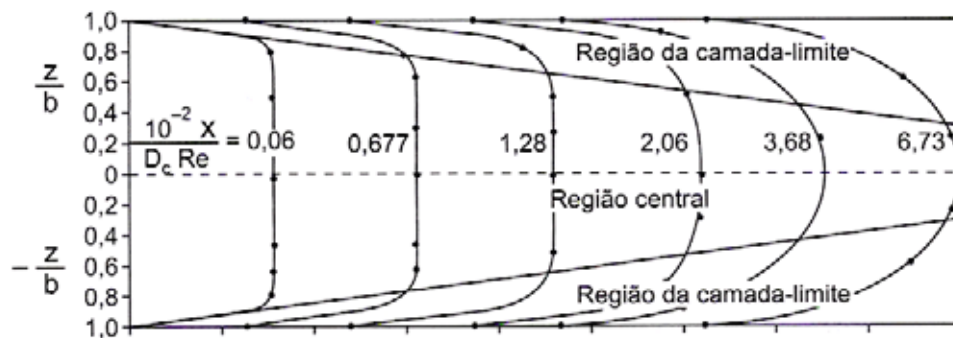
Os gráficos das figuras 09 a 11 apresentados por Sparrow *et al.* (1967) apud Di Bernardo e Dantas (2005) permitem avaliar o que acontece com o perfil de velocidades no interior dos dutos. Nessas figuras,  $u$  é a velocidade ao longo do comprimento  $x$ ,  $V_0$  a velocidade no centro do duto,  $a$  é a altura,  $b$  a largura dos dutos e  $y$  e  $z$  representam a posição para análise a partir do centro do duto, nas direções de  $a$  e  $b$ , respectivamente.



**Figura 09:** Variação da velocidade no centro dos dutos retangulares



**Figura 10:** Perfil de velocidade no plano diagonal em duto retangular com  $b/a=2$



**Figura 11:** Perfil de velocidade no plano central em duto retangular com  $b/a=2$

Pode-se observar que quanto maior a relação  $b/a$  o escoamento se aproxima do laminar e para pequenos valores de  $10^{-2}x/D_c \cdot Re$  a velocidade em todo o duto se aproxima da velocidade média no duto e o comprimento de transição é grande.

### III.1.7 - Parâmetros de qualidade e SFML

Um fator que motiva o estudo da remoção de turbidez é o apresentado por Bastos (2003), ao expor que grupos coliformes não são indicadores adequados para presença de patogênicos na água de abastecimento – corroborado por Ministério da Saúde (2000) e Ministério da Saúde (2005) - destacando as exigências quanto ao controle da filtração e desinfecção para remoção de patógenos (vírus e protozoários).

O Ministério da Saúde (2004) assim coloca os parâmetros a serem seguidos no Brasil:

- Art. 12. § 2º Com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp., recomenda-se, enfaticamente, que, para a filtração rápida, se estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5uT em 95% dos dados mensais e nunca superiores a 5,0uT;
- Art. 12. § 3º O atendimento ao percentual de aceitação do limite de turbidez, deve ser verificado, mensalmente, com base em amostras no mínimo diárias para desinfecção ou filtração lenta e a cada quatro horas para filtração rápida, preferivelmente, em qualquer caso, no efluente individual de cada unidade de filtração;
- Art. 13. Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2mg/L em qualquer

ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

- Parágrafo único. Admite-se a utilização de outro agente desinfetante ou outra condição de operação do processo de desinfecção, desde que fique demonstrado pelo responsável pelo sistema de tratamento uma eficiência de inativação microbiológica equivalente à obtida com a condição definida neste artigo.
- Art.14. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco para a saúde.

Observa-se, assim, a importância do monitoramento sistemático da qualidade da água filtrada para atingir metas de turbidez e de controle do processo de desinfecção por cloração.

Ainda, em conformidade às disposições do Ministério da Saúde (2004), a CETESB (2005) - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - avalia vários parâmetros para monitoramento do Índice de Qualidade da Água, divididos em cinco categorias, quais sejam:

- Variáveis Físicas;
- Variáveis Químicas;
- Variáveis Microbiológicas;
- Variáveis Hidrobiológicas;
- Variáveis Ecotoxicológicas.

Além das exigências normativas devem ser observados outros aspectos, como os destacados nos estudos realizados por Ferreira *et al.* (2003), nos quais foram demonstrados bons resultados de remoção de fitoplâncton paralelamente à remoção de turbidez. Porém, não igualmente sucedeu-se a remoção de cianobactérias recomendando uso de carvão ativado ou melhoria no processo de filtração para remoção destes microrganismos - uma vez que sua lise ocasiona liberação de cianotoxinas, de características neurotóxicas, além de conferir gosto e odor prejudiciais à água.

Ainda sob o aspecto de potabilização utilizando-se de parâmetros normativos (Portaria 518/2004) Libânio e Lopes (2005), Lopes e Libânio (2005), Libânio *et al* (2005), Teixeira *et al.* (2005a, b), Santos *et al.* (2005) e Almeida *et al* (2005c) elaboraram um conjunto de estudos envolvendo a remoção de algas, protozoários, cor e turbidez, comparando-se diferentes ETA de tratamento convencional e chegaram à conclusão da necessidade de uma operação bem acurada, uma vez a sobrecarga não ser fator limitante, para as estações analisadas, de um efluente à

estação de pior qualidade. No trabalho conclusivo, Almeida *et al.* (2005c) atenta ao fato positivo de a água afluyente não ter correlações com a água bruta e ao fato negativo de a maioria das estações analisadas não obedecerem ao disposto na Portaria 518/2004.

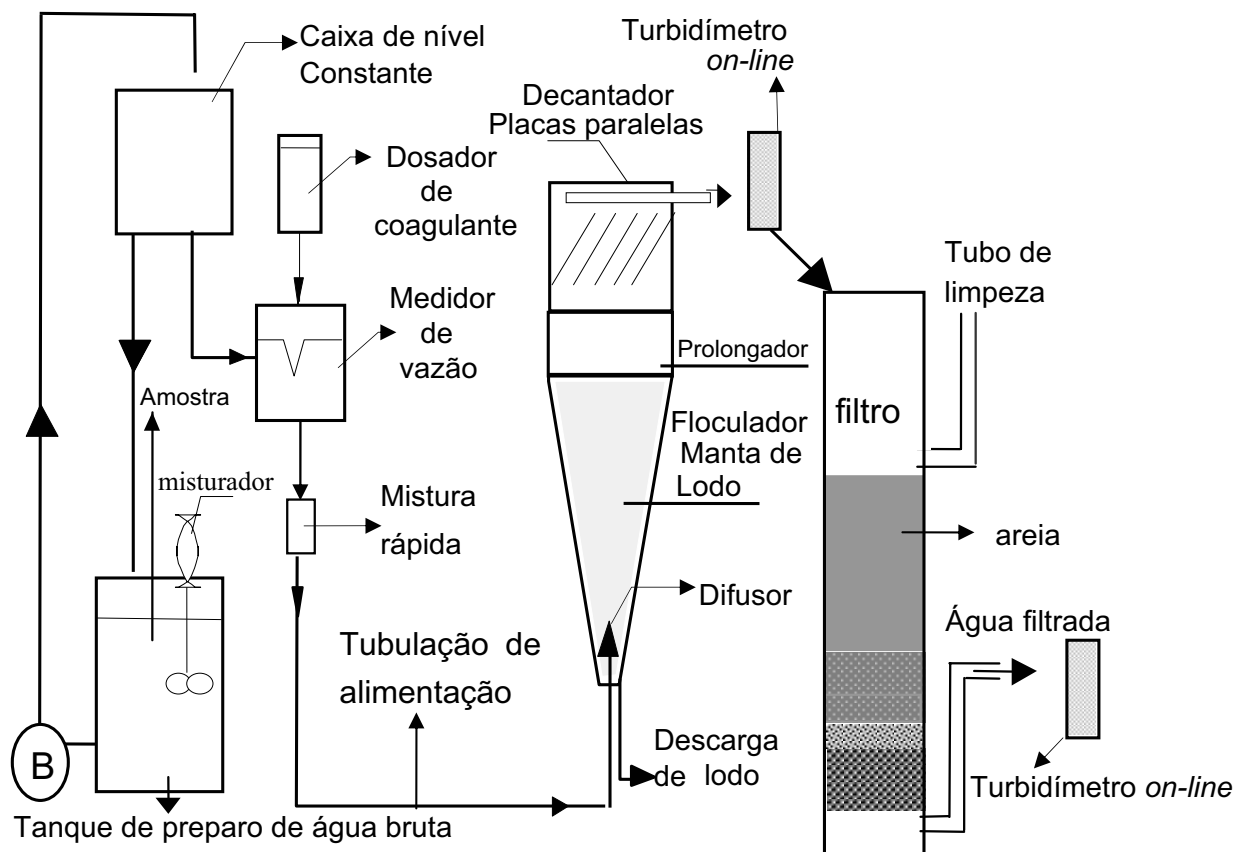
Tangerino *et al.* (1998), mostraram em seus estudos com o Flocculador de Manta de Lodo, possibilidades de aumento da taxa de aplicação (vazão), em função da manta de lodo formada. Da mesma forma Camp (1946, 1953) demonstrou a possibilidade do aumento da taxa de escoamento em decantadores utilizando-se de placas paralelas. Santos e Matsumoto (2002a,b), demonstraram a aplicabilidade de diversos tipos de coagulantes na remoção de cor e turbidez num Módulo Floco Decantador de Manta de Lodo associado a decantador de alta taxa, comprovando, no caso, um melhor desempenho dos polieletrólitos catiônicos. Cavazzana e Matsumoto (2003a) utilizaram as indicações dos trabalhos citados anteriormente e analisaram o comportamento do MFDML em taxas de aplicação maiores (160, 200 e 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia) que as até então testadas (120m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia) associadas a diferentes coagulantes catiônicos e diferentes situações de turbidez inicial.

Di Bernardo e Dantas (2005) consideram necessário o conhecimento dos parâmetros que envolvem o desempenho da ETA para o adequado funcionamento de seu projeto.

Seckler *et al.* (2003) apresentou trabalhos experimentais de baixo custo relativo às soluções obtidas que permitiram a diminuição da presença de algas na ETA Alto da Bela Vista comprovando a importância de estudos experimentais anteriores à aplicação prática de novas tecnologias.

Cavazzana e Matsumoto (2003b) demonstraram as potencialidades do MFDML em permitir aumento de produção de água com pequenas modificações, como aumento do volume do prolongador - entre o flocculador de manta e o decantador - ver Figura 12.

E, com o intuito de somar as características do MFDML, Cavazzana e Matsumoto (2004c, e) mostram que a construção do sistema do tipo PMC automatizado em escala ampliada para estudos de comprovação e ajustes torna-se essencial para comprovação de sua utilização prática, à medida que se conhece o comportamento do parâmetro principal para os ajustes de dosagem (gradiente de velocidade), bem como a dinâmica de funcionamento do Sistema de Tratamento de Água – como os momentos de descarga da manta de lodo, lavagem do filtro e reinício do ciclo de operações.



**Figura 12:** Esquema do Módulo Experimental

Fonte: Cavazzana e Matsumoto (2003)

### III.1.8 - Filtração

Após a passagem da água pelas etapas de mistura rápida, floculação e decantação é indispensável a utilização de filtros de areia no tratamento de água para abastecimento. Existem as técnicas de filtração lenta ascendente e descendente, filtração rápida descendente e dupla filtração. O objetivo dessa etapa consiste em remover partículas suspensas, coloidais e microorganismos pela passagem da água por um meio poroso, a areia. De forma geral os filtros podem remover partículas menores que  $1\ \mu\text{m}$  através de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento. O bom desempenho dessas unidades depende basicamente de um arranjo adequado à água e à taxa de filtração e técnica que se deseja trabalhar, bem como de uma boa coagulação (Di Bernardo e Dantas, 2005 e Di Bernardo *et al.*, 2003).

### III.1.9 - Geração e destino dos resíduos

Batalha (1967) alertou ao fato de as ETA, como qualquer outra unidade produtiva,

gerarem resíduos, seja através do lodo produzido nos decantadores, ou do efluente da lavagem dos filtros, ambos resultantes do processo de retenção de substâncias em quantidades indesejáveis na água para consumo humano. Também, alerta à necessidade do controle dos diversos parâmetros de potabilidade para obtenção de um processo produtivo de qualidade.

Os mesmos princípios observados por Batalha (1967) são utilizados por Cassini *et al.* (2003) ao tratarem a geração de resíduos no saneamento. Cassini *et al.* (2003) empenharam seus estudos no tratamento de esgotos e avaliaram quanti-qualitativamente o aproveitamento do biogás – gás resultante da digestão de compostos orgânicos complexos por microorganismos – gerado ao longo do processo de tratamento. Cassini *et al.* (2003) colocam, ainda, a dificuldade de disposição correta do lodo acumulado pela retirada das substâncias indesejáveis ao efluente, bem como suas implicações negativas na biodegradabilidade do meio ambiente.

Cavazzana e Matsumoto (2004a), observaram ser positiva a formação da manta de lodo no processo de tratamento de água para abastecimento devido ao seu maior grau de compactação em relação ao lodo das ETA onde a manta não ocorre, diminuindo os leitos de secagem. Cavazzana e Matsumoto (2004b) propuseram uma concepção de ETA em que a recirculação do efluente do leito de secagem ajuda na formação de uma manta de lodo mais densa.

### III.2 - ANÁLISE DIMENSIONAL

Munson *et al.* (1997) discorre bem sobre adimensionais como descrito a seguir.

Muitos problemas de mecânica dos fluidos podem ser resolvidos com procedimentos analíticos. Entretanto, o número de problemas que só podem ser resolvidos a partir da utilização de resultados experimentais é enorme.

Esse é um dos motivos para os engenheiros que trabalham com fluidos estarem familiarizados com a abordagem experimental dos escoamentos, pois só assim eles podem interpretar e utilizar corretamente os dados experimentais públicos (aqueles que constam dos livros e manuais) ou serem capazes de planejar e executar os experimentos necessários em seus próprios laboratórios. Sendo assim, é importante considerar algumas técnicas e conceitos importantes para o planejamento e execução de experimentos bem como o modo de interpretar e correlacionar os dados que podem ser obtidos em experimentos.

O conceito de semelhança é utilizado para alcançar resultados amplamente aplicáveis, ou seja, o conceito de semelhança garante que as medidas obtidas num sistema (por exemplo, no laboratório) podem ser utilizadas para descrever o comportamento de outro sistema similar (fora

do laboratório). O sistema do laboratório usualmente é um modelo utilizado para estudar o fenômeno em que se está interessado sob condições experimentais cuidadosamente controladas. O estudo dos fenômenos no modelo pode resultar em formulações empíricas capazes de fornecer previsões específicas de uma ou mais características de outro sistema similar. Para que isto seja possível é necessário estabelecer a relação existente entre o modelo de laboratório e o outro sistema. Isso pode ser feito de uma maneira sistemática.

Uma questão essencial a ser respondida é: “Qual é o número de grupos adimensionais necessários para substituir a relação original de variáveis?”. A resposta desta questão é fornecida pelo teorema básico da análise dimensional. Uma equação dimensionalmente homogênea envolvendo  $k$  variáveis pode ser reduzida a uma relação entre  $k - r$  produtos adimensionais independentes em que  $r$  é o número mínimo de dimensões de referência necessário para descrever as variáveis.

Os produtos adimensionais são usualmente referidos como "termos pi" e o teorema é conhecido como o de Buckingham pi pois Buckingham utilizou o símbolo  $\Pi$  para representar os produtos adimensionais (esta notação ainda é bastante utilizada). Apesar do teorema ser bastante simples sua demonstração é complexa.

O teorema pi está baseado no conceito de homogeneidade dimensional. Considere uma equação com significado físico e que apresenta  $k$  variáveis, como na Equação 32.

$$u_1 = f(u_2, u_3, \dots, u_k) \quad \text{Equação 32}$$

Essencialmente, admite-se que a dimensão da variável do lado esquerdo da equação é igual a dimensão de qualquer termo isolado presente no lado direito da equação. Assim, pode-se rearranjar a equação num conjunto de produtos adimensionais (termos pi) do modo da Equação 33.

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{k-r}) \quad \text{Equação 33}$$

A diferença entre o número necessário de termos pi e o número de variáveis original é igual a  $r$ .

Nota-se que  $r$  é igual ao número mínimo de dimensões de referência utilizado para

descrever todas as variáveis originais da equação. Normalmente, as dimensões de referência necessárias para descrever as variáveis originais são as dimensões básicas M, L e T ou F, L e T. Entretanto, em alguns casos, apenas duas dimensões, tais como L e T, são necessárias e em outros casos é necessária apenas uma dimensão para descrever as variáveis originais. Em alguns casos excepcionais as variáveis podem ser descritas por alguma combinação de dimensões básicas, tais como  $M/T^2$  e L, e neste caso  $r$  é igual a dois (em vez de três).

Existem muitos métodos para a determinação dos grupos adimensionais. O método das variáveis repetidas pode ser particionado em 8 passos que podem ser seguidos na análise de qualquer problema.

Alguns grupos adimensionais são usuais na Mecânica dos Fluidos. A parte superior do Quadro 01 apresenta as variáveis que normalmente são utilizadas na análise dos problemas de mecânica dos fluidos. A lista não é completa, mas indica as variáveis mais utilizadas em problemas típicos. Felizmente não se encontram todas estas variáveis em todos os problemas de mecânica dos fluidos. Entretanto, quando se encontra combinação destas variáveis é normal combiná-las nos grupos adimensionais (termos pi) fornecidos no mesmo Quadro. Estas combinações são utilizadas tão freqüentemente que receberam nomes especiais .



**Quadro 01:** Alguns Grupos Adimensionais e Variáveis Utilizadas na Mecânica dos Fluidos

Variáveis: Aceleração da gravidade, $g$ ; Módulo de elasticidade volumétrico, $E_v$ ; Comprimento característico, $l$ ; Massa específica, $\rho$ ; Frequência de oscilação do escoamento, $\omega$ ; Pressão, $p$ (ou $\Delta p$ ); Velocidade do som, $c$ ; Tensão superficial, $\sigma$ ; Velocidade, $V$ ; Viscosidade dinâmica, $\mu$			
Grupo Adimensional	Nome	Interpretação	Tipos de Aplicação
$\frac{\rho V l}{\mu}$	Número de Reynolds, Re	<u>força de inércia</u> força viscosa	É importante na maioria dos problemas de mecânica dos fluidos
$\frac{V}{\sqrt{gl}}$	Número de Froude, Fr	<u>força de inércia</u> força gravitacional	Escoamentos em superfície livre
$\frac{p}{\rho V^2}$	Número de Euler, Eu	<u>força de pressão</u> força inércia	Problemas onde a pressão ou diferenças de pressão é importante
$\frac{\rho V^2}{E_v}$	Número de Cauchy*, Ca	<u>força de inércia</u> força de compressibilidade	Escoamentos onde a compressibilidade do fluido é importante
$\frac{V}{c}$	Número de Mach*, Ma	<u>força de inércia</u> força viscosa	Escoamentos onde a compressibilidade do fluido é importante
$\frac{\omega l}{V}$	Número de Strouhal, St	<u>força de inércia (local)</u> força de inércia (convectiva)	Escoamentos transitórios com uma frequência característica de oscilação
$\frac{\rho V^2 l}{\sigma}$	Número de Weber, We	<u>força de inércia</u> força de tensão superficial	Problemas onde os efeitos da tensão superficial são importantes

\*Os números de Cauchy e de Mach são relacionados e podem ser utilizados como indicador da relação entre os efeitos de inércia e da compressibilidade.

Fonte: Munson *et al.* (1997)

Sempre é possível fornecer uma interpretação física dos grupos adimensionais. Estas interpretações podem ser úteis na análise dos escoamentos. Munson *et al.* (1997) e Fox e McDonald (1995) utilizam-se desses adimensionais para analisar a semelhança entre modelos e protótipos propondo que cada grupo  $\Pi_i$  deve ser igual para as duas escalas. Complementam, também, que ao tratar de escalas deve-se estabelecer se a mesma é geométrica (altura, largura ou outro comprimento), cinemática (velocidades) ou dinâmica (acelerações, tempo), expressando-a na forma de divisão ou fração.

## IV - METODOLOGIA

### IV.1 - INTRODUÇÃO

Este item descreverá as metodologias bases para o cálculo de gradientes de velocidade tanto no MFDML (modelo) como no SFML (protótipo), bem como para o estudo da formação de manta de lodo – feita a partir de um balanço de massa - e, do estudo com adimensionais para comparação de escala entre o SFML e o MFDML. Os avanços desenvolvidos para a automação do SFML estão disponíveis no Apêndice 03.

### IV.2 - DESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS NO MFDML

Para obtenção das dosagens de coagulantes foram feitos ensaios de bancada (*jar-test*) adaptados às taxas de aplicação (vazões) a partir das correlações hidráulicas que cada uma dessas taxas ocasiona no MFDML.

Na determinação geral para cálculo das características hidráulicas - gradientes de velocidade e tempos de detenção no MFDML - partiu-se da Equação 01 (anterior) considerando-se a potência dissipada como descrito na Equação 34.

$$P = \gamma Q H_f \quad \text{Equação 34}$$

onde:

$\gamma$  : peso específico do líquido (N/m<sup>3</sup>);

$Q$  : vazão (m<sup>3</sup>/s);

$H_f$  : perda de carga (m).

Também, para ajustar a Equação 01 ao Módulo Experimental é necessário conhecer-se o coeficiente de resistividade, o qual está ligado com a resistência ao escoamento do meio filtrante limpo e às partículas retidas (Di Bernardo, 1993) e pode ser expresso na forma da Equação 35.

$$H_f = (L_f \times K_r) \times V_\infty \quad \text{Equação 35}$$

onde:

$H_f$  : perda de carga (m);

$L_f$  : espessura do meio filtrante (m);

$V_\infty$  : velocidade de aproximação (m/s);

$K_r$  : coeficiente de resistividade (s/m).

Na passagem subsequente pode-se substituir a potência levando-se em consideração o coeficiente de resistividade apresentado por Di Bernardo, 2003 chegando-se à Equação 36.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma Q H_f}{\mu \times V}} \quad \text{Equação 36}$$

E, escrevendo-se as equações de 37 a 41, vem:

$$\gamma = \rho \times g \quad (\text{N/m}^3) \quad \text{Equação 37}$$

onde:

$\rho$  : massa específica (kg/m<sup>3</sup>);

$g$  : aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

$$\mu = \rho \times \nu \quad \text{Equação 38}$$

onde:

$\nu$  : viscosidade cinemática da água (10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s).

$$L_f \times K_r = cte \quad \text{Equação 39}$$

onde:

cte: perda de carga por unidade de velocidade (s).

$$H_f = cte \times v \quad \text{Equação 40}$$

$$v = \frac{Q}{A_s}$$

Equação 41

onde:

v: velocidade média (m/s).

Rearranjando-se essas equações (37 a 41) e substituindo-se na Equação 36, obtém-se a Equação 42.

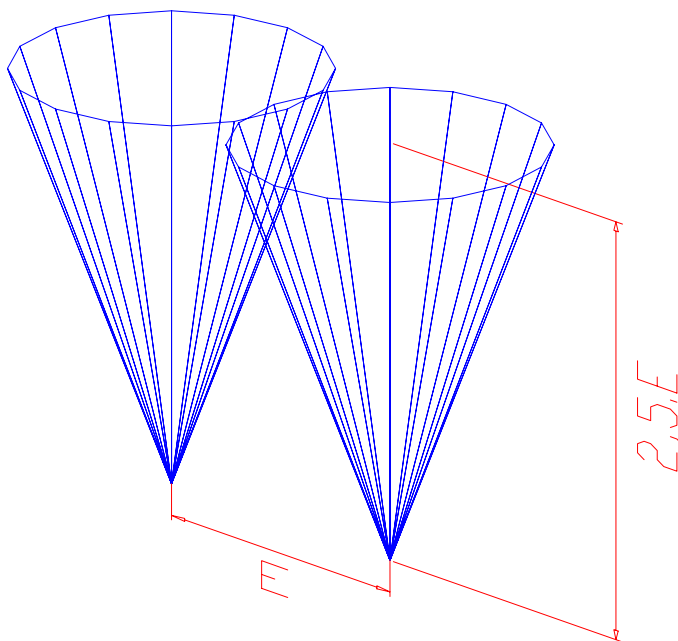
$$G = \sqrt{\frac{cte \times g \times Q^2}{v \times A_s \times Vol}}$$

Equação 42

onde:

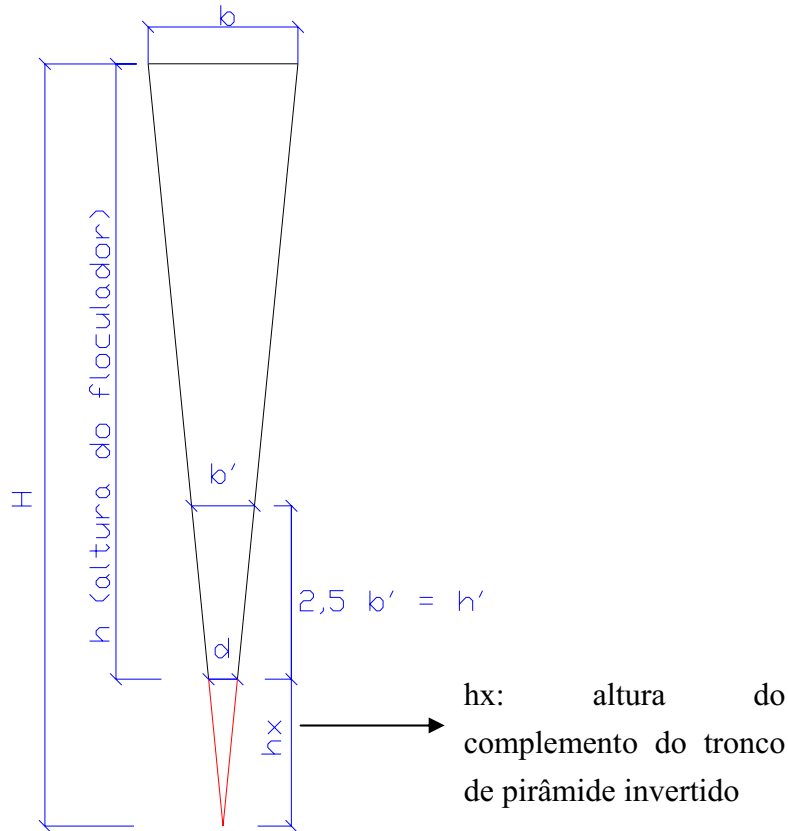
 $A_s$  : área da seção em que se quer determinar o gradiente (m<sup>2</sup>).

Também, obtém-se o ponto de encontro - altura e dimensão da seção transversal, considerando esta ser quadrada - do cone formado devido ao orifício de entrada do floculador com as paredes deste conforme o colocado por Vianna (1992) quanto à relação de espaçamento e altura de encontro de jatos sucessivos e observando-se as figuras 13 e 14 (ver Equação 43).



**Figura 13:** Representação da relação entre espaçamento e altura de encontro dos jatos sucessivos

Fonte: adaptado de Viana (1992)



**Figura 14:** Esquema para cálculo dos volumes na peça piramidal e da área média em h'

$$b' = D(h) = \frac{h \times d}{h + 2,5 \times d - 2,5 \times b} \quad \text{Equação 43}$$

onde:

D(h): diâmetro interno do cone (m);

d, h e b': (m), conforme Figura 14.

Dessa forma, o diâmetro médio do cone, no encontro com as paredes do equipamento, levando-se em consideração que a seção do módulo é quadrada, será a soma do diâmetro inscrito com o circunscrito dividido por 2 (dois), chegando-se à Equação 44.

$$Dm(h) = \frac{h \times d \times (1 + \sqrt{2})}{2 \times (h + 2,5 \times d - 2,5 \times b)} \quad \text{Equação 44}$$

onde:

Dm(h): diâmetro médio do cone de entrada (m) em função da altura h - ver Figura 14 - da peça piramidal, no encontro do cone anteriormente descrito com o floculador considerando não haver variação de b e d (dimensões específicas do módulo).

A altura correspondente à  $b'$  é  $h'$ , dado pela Equação 45.

$$h' = 2,5 \times b' \quad \text{Equação 45}$$

A área média da secção, para um determinado  $h'$ , conforme a Figura 14 é dada pela Equação 46.

$$A_s(h') = \frac{\pi \times [Dm(h)]^2}{4} \quad \text{Equação 46}$$

onde:

$A_s(h')$ : área média ( $m^2$ ) para uma determinada seção transversal do módulo, em  $h'$ , altura de encontro do cone formado pela pequena área de entrada do floculador e a peça piramidal, conforme Figura 14.

Calculados todos os elementos de área e altura pode-se discretizar o MFDML em três partes na altura:

Início: é constituído da parte inferior do floculador ao ponto de encontro dos jatos sucessivos;

Meio: é constituído do ponto de encontro dos jatos sucessivos ao início do prolongamento;

Fim: é constituído do início do prolongamento ao final do decantador de placas paralelas.

Os gradientes de velocidades obtidos eram o do início e o do fim das seções do Módulo Floco Decantador de Manta de Lodo. E como se trata de uma peça piramidal com gradiente do final muito menor que o do início, o gradiente de velocidade no meio é dado pela Equação 47.

$$G_{meio} = \frac{G_i + G_f}{3} \quad \text{Equação 47}$$

onde:

$G_i$ : gradiente de velocidade do início – entrada – ( $s^{-1}$ );

$G_f$ : gradiente de velocidade do fim - após o floculador - ( $s^{-1}$ );

Por fim, ponderando-se os gradientes pelas respectivas alturas de influência, conforme Figura 14, tem-se o gradiente médio para aplicação em *jar-test* dado pela Equação 48.

$$G_{\text{médio}} = \frac{(G_i \times h' + G_{\text{meio}} \times (h - h') + G_f \times h_{p+d})}{(h + h_{p+d})} \quad \text{Equação 48}$$

onde:

h: altura do flocculador (m);

h': altura de encontro do jato de entrada com as paredes do flocculador (m);

h<sub>p+d</sub>: a altura do prolongador mais decantador (m);

G<sub>médio</sub>: o gradiente de velocidade médio para ensaios em *jar-test* (s<sup>-1</sup>);

### IV.3 - DETERMINAÇÃO DA FORMAÇÃO DA MANTA DE LODO NO MFDML

De forma geral, pode-se fazer um balanço típico, da forma da Equação 49.

$$E_n - S_a + P_r = A_c \quad \text{Equação 49}$$

onde:

$E_n$ : entrada;

$S_a$ : saída;

$P_r$ : produção;

$A_c$ : acúmulo.

Dessa maneira, o termo  $A_c$  estaria representando a quantidade total de manta de lodo formada;  $P_r$  seria nulo, já que a manta não pode se auto alimentar;  $S_a$  estaria representando um possível desprendimento da manta e de partículas que entram e não se agregam à manta; e  $E_n$  corresponderia à entrada total de partículas que podem ou não contribuir com a manta.

Assim, conforme hipóteses e equacionamentos já apresentados para a flocculação por Thomas *et al.* (1999), primeiramente deve-se reescrever a Equação 49 na forma da Equação 50.

$$N_m = N_{im} + N_{em} - N_{sm} \quad \text{Equação 50}$$

onde:

- $N_m$  : número total de partículas na manta;
- $N_{im}$  : número inicial de partículas na manta;
- $N_{em}$  : número de partículas que entram na manta;
- $N_{sm}$  : número de partículas que saem da manta.

Sendo o último termo formado por outros dois, conforme Equação 51.

$$N_{sm} = N_{sd} + N_{pi} \quad \text{Equação 51}$$

onde:

- $N_{sd}$  : número de partículas que se desprendem da manta;
- $N_{pi}$  : número de partículas inertes.

Uma observação, é que as partículas inertes não passam pela manta sem chegar a fazer parte da mesma.

No entanto, não é possível quantificar a manta de lodo a partir do número de partículas, uma vez que o Laboratório de Saneamento não dispõe de equipamentos (contador de partículas) capazes de estabelecer tal parâmetro.

Tendo em vista esse agravante, será exposta uma forma mais simplificada para quantificar a manta a partir de uma média entre os dados observados de volume da manta – calculado a partir da altura da mesma – e de remoção de turbidez.

Primeiramente, supõe-se que águas de maior turbidez possuem um maior número de partículas e, ainda, pode-se associar esse maior número de partículas a uma maior massa de partículas existente em uma matriz fluida.

Supondo, também, que essa massa seja menor que 5% da massa da mistura, e sendo o fluido a água – fluido newtoniano – a mistura terá características Newtonianas (Lledo, 2003).

Supondo, ainda, que essa matriz siga as hipóteses de Smoluchowski (1917) – escoamento laminar, partículas esféricas, de mesmo tamanho e monodispersadas - pode-se, então, inferir que a manta pode ser calculada em termos de balanço de massa.

Como, no entanto, a manta pode se apresentar mais ou menos densa, torna-se

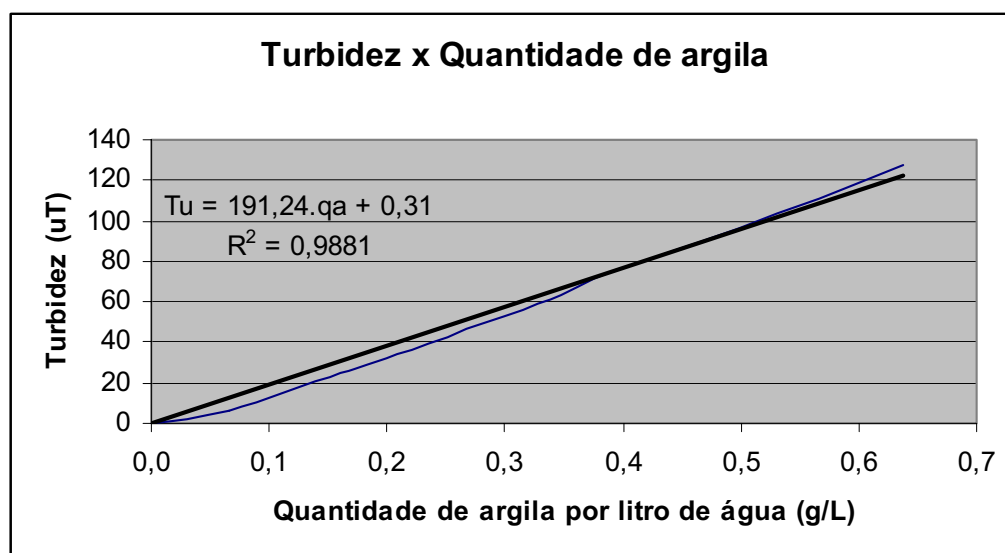


importante quantificar o seu volume e a forma (mais ou menos densa) com que se apresenta, pelo fato de uma vez atingida a forma mais densa, dificilmente ela se dispersa.

O fato que leva à consideração de que um aumento de massa de argila na água leva a um aumento de turbidez fica mais bem exposto pela Figura 15 e Tabela 02 construídas a partir dos dados da argila utilizada para preparação da água bruta sintética para estudos no Módulo Floco Decantador de Manta de Lodo. Nesses, a turbidez inicial da água, para a calibração, era 0,31uT.

**Tabela 02:** Estimativa da quantidade de argila para determinada turbidez

Quantidade acumulada de argila (g) em 1L de água	0	0,0655	0,1611	0,2083	0,3285	0,3945	0,4992	0,6379
Turbidez (uT)	0,31	6,71	24,52	33,80	59,50	75,21	96,90	128,00



**Figura 15:** Estimativa gráfica-numérica da quantidade de argila utilizada nos experimentos para se atingir determinada turbidez em 1L de água

O gráfico da Figura 15 mostra-se coerente com o esperado pelo fato de uma maior quantidade de argila causar aumento de turbidez e o ajuste da curva ter coeficiente de correlação próximo de 1. Dessa maneira, a quantidade de argila utilizada por litro de água nos ensaios até então realizados (ver formulários dos Anexos 161 a 178) pode ser facilmente obtida – Ver Tabela 03.

**Tabela 03:** Turbidez (uT) x Argila (g/l) para as turbidez de ensaio

Turbidez (uT)	Argila (g/L)	Turbidez (uT)	Argila (g/L)	Turbidez (uT)	Argila (g/L)
3	0,0141	35	0,1814	70	0,3644
5	0,0245	40	0,2075	75	0,3906
7	0,0350	45	0,2337	80	0,4167
10	0,0507	50	0,2598	85	0,4428
15	0,0768	55	0,2860	90	0,4690
20	0,1030	60	0,3121	95	0,4951
25	0,1291	65	0,3383	100	0,5213
30	0,1552				

Assim, pode-se estabelecer uma curva que relaciona turbidez e massa das partículas do tipo apresentado pela Equação 52.

$$Tu = A \times qa_v + B \quad \text{Equação 52}$$

onde:

\*  $Tu$  : turbidez da água (uT);

$A$  : coeficiente angular da reta (uT/(g/L));

\*\*  $qa_v$  : quantidade de argila por unidade de volume em massa (g/L);

$B$  : turbidez inicial, sem adição de argila (uT).

\*Deve-se observar que outra água ou outro tipo de partícula a ser trabalhada pode apresentar um perfil de turbidez ( $Tu$ ) diferente do encontrado.

\*\*Observe que  $qa_v$  é uma quantidade unitária de argila (em g) inserida em um volume de 1L de água.

E, substituindo-se a Equação 52 na Equação 50, obtém-se a Equação 53.

$$qa_m = qa_i + qa_e - qa_s \quad \text{Equação 53}$$

onde:

$qa_m$  : quantidade de argila na manta (Kg);

$qa_i$  : quantidade de argila inicial na manta;

$qa_e$  : quantidade de argila que entra na manta;

$qa_s$  : quantidade de argila que sai da manta.

Supondo uma mistura de argila em água na manta de fração  $X$  em massa, pode-se escrever a Equação 54.

$$X = \frac{qa}{qa + m_{\text{água}}} \quad \text{Equação 54}$$

onde:

$X$  : fração de argila em massa na mistura (g/g);

$m_{\text{água}}$  : massa de água na mistura (g).

Fazendo-se o volume da manta conforme a Equação 55 e substituindo-se na Equação 54, chega-se à Equação 56. E, considerando-se o volume contido numa peça piramidal conforme Equação 57 (Ver figuras 14 e 16 e 17) tem-se que a altura da manta no Módulo Experimental pode ser dada pela Equação 58.

$$Vol_m = Vol_p + Vol_L \quad \text{Equação 55}$$

$$Vol_m = qa_m \left[ \frac{\rho_p \left( \frac{(1-X)}{X} \right) + \rho_L}{\rho_p \times \rho_L} \right] \quad \text{Equação 56}$$

$$Vol_m = \frac{1}{3} \left( \frac{b^3 - d^3}{b - d} \right) h_m \quad \text{Equação 57}$$

$$h_m = 3 \times qa_m \left( \frac{b - d}{b^3 - d^3} \right) \left[ \frac{\rho_p \left( \frac{(1-X)}{X} \right) + \rho_L}{\rho_p \times \rho_L \times 1000} \right] \quad \text{Equação 58}$$

onde:

$Vol_m$  : Volume total da manta (m<sup>3</sup>);

$Vol_p$  : Volume das partículas contidas na manta (m<sup>3</sup>);

$Vol_L$  : Volume de líquido na manta - normalmente água - (m<sup>3</sup>);

$h_m$  : altura total da manta (m);

$b$  : largura da lateral superior do tronco de pirâmide correspondente à  $h_m$  - ver Figura 14 - (m);

$d$  : largura lateral inferior do tronco de pirâmide - ver Figura 14 - (m);

$\rho_p$  : massa específica seca média das partículas da manta (g/L);

$\rho_L$  : massa específica do líquido (g/L).

1000: transforma litros em m<sup>3</sup> (L/m<sup>3</sup>);



Figura 16: Foto do modelo com manta bem formada ou densa



Figura 17: Foto do modelo com manta dispersa

Pode-se, em seguida, estimar a quantidade de argila que entra e que sai do sistema a partir da vazão (gerada pela taxa de aplicação no sistema) e turbidez de entrada e de saída.

Inicialmente, seja a Equação 59 representativa do inverso da massa específica média da solução de partículas (p) em um determinado líquido (L).

$$K(X) = \frac{\rho_p((1-X)/X) + \rho_L}{\rho_p \times \rho_L} \quad \text{Equação 59}$$

onde:

$K$  : inverso da massa específica média (L/g).

Fica então evidente que  $K$  depende da porcentagem em massa da mistura ( $X$ ), a qual é diferente tanto para a manta, quanto para as águas de entrada e de saída, podendo-se definir a Equação 60.

$$qa = \frac{Q \times \Delta t}{K(X)} \quad \text{Equação 60}$$

onde:

$\Delta t$  : intervalo de tempo (s).

Assim, seja  $X_e$  e  $X_s$  as frações de argila em massa nas águas que entram (água bruta) e saem (água decantada) do sistema, respectivamente, num determinado período de tempo, pode-se obter a quantidade de argila retida através da Equação 61.

$$qa_r = qa_e - qa_s = Q \times \Delta t \left( \frac{1}{K(X_e)} - \frac{1}{K(X_s)} \right) \quad \text{Equação 61}$$

onde:

$qa_r$  : quantidade de argila retida (g);

$K(X_e)$  : inverso da massa específica média da água bruta – entrada - (L/g);

$K(X_s)$  : inverso da massa específica média da água decantada – saída - (L/g).

Supondo-se, então um volume unitário de água, pode-se reescrever a Equação 54 na forma da Equação 62.

$$X = \frac{qa_v}{qa_v + m_{v\text{ água}}} \quad \text{Equação 62}$$

onde:

$m_{v\text{ água}}$  : massa de água contida em 1 litro de água (g).

E, substituindo-se  $qa_v$  como na Equação 52 e a massa do líquido (água) - densidade vezes volume -, obtém-se a Equação 63.

$$X = \frac{\left(\frac{Tu - B}{A}\right)}{\left(\frac{Tu - B}{A}\right) + \rho_L} \quad \text{Equação 63}$$

onde:

Tu, A e B: como definido na Equação 52;

$\rho_L$  : massa específica do líquido, no caso a água (1000 g/L).

E, trabalhando-se a Equação 63 para a quantidade de argila retida juntamente com a Equação 47 acima, chega-se à Equação 64.

$$qa_r = Q \times \Delta t \times \frac{A \times \rho_p^2 \times (Tu_e - Tu_s)}{(A \times \rho_p + Tu_e - B) \times (A \times \rho_p + Tu_s - B)} \quad \text{Equação 64}$$

onde:

$Tu_e$  : turbidez da água bruta- entrada - (uT);

$Tu_s$  : turbidez da água decantada - saída - (uT);

$Q$  : vazão (L/s).

Assim, utilizando-se os dados da curva calibrada na Figura 16, com  $A = 191,24$  uT/(g/L) e  $B = 0,31uT$ , considerando a densidade da argila  $\rho_p = 1800$  g/L a do líquido utilizado (água)  $\rho_L = 1000$  g/L,  $\Delta t = 1800s$ ,  $Q$  em L/s (conforme cada ensaio) na Equação 64 pôde-se fazer as primeiras análises e comparações com a altura da manta obtida em cada período de tempo. Isso foi feito considerando-se  $qa_r$  (a quantidade retida) contribuindo toda para a manta, sendo substituída na Equação 58 (em lugar de  $qa_m$ ).

No entanto, uma caracterização da argila utilizada na água sintética (ver Anexo 203), mostrou que  $\rho_p = 2630 \text{ g/L}$ , o que gerou novos resultados.

E, após essa verificação, observou-se na Figura 15 uma distorção entre as curvas real e ajustada causando desvios nos resultados de  $X(\%)$  motivando ajustes na  $qa_r$ , originando a Equação 65.

$$qa_r = Q \times \Delta t \times \frac{A \times \rho_p^2 \times (f_e \times Tu_e + B(f_s - f_e) - f_s Tu_s)}{(A \times \rho_p + Tu_e - B) \times (A \times \rho_p + Tu_s - B)} \quad \text{Equação 65}$$

onde:

\*  $f_e$  : fator de ajuste da quantidade de argila da entrada - (g/g);

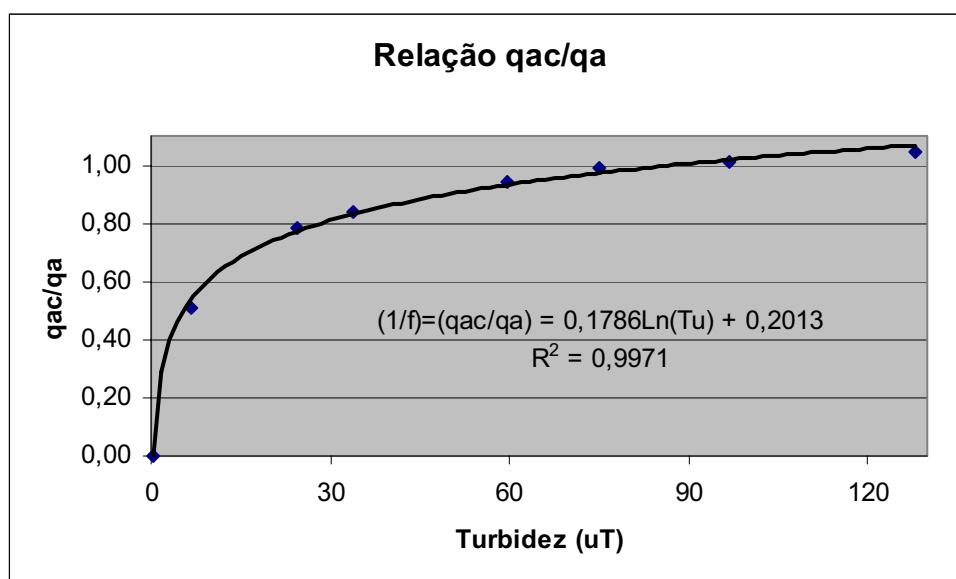
\*  $f_s$  : fator de ajuste da quantidade de argila da saída - (g/g);

\*Esses fatores provém de uma função que corrige a distorção da reta ajustada na Figura 15 com os valores reais.

Os fatores de ajuste foram feitos a partir da Tabela 04, em que são mostradas as relações entre a quantidade de argila calculada com a curva obtida na Figura 15 e a quantidade realmente adicionada conforme a turbidez e, mais bem ajustados utilizando-se a curva da Figura 18.

**Tabela 04:** Relação entre as quantidades de argila calculada (qac) e real (qa)

qa/L (g/L)	Tu (uT)	qac/L (g/L)	Relação (qac/qa)
0,0000	0,31	0,0000	0,0000
0,0660	6,71	0,0335	0,507057608
0,1611	24,52	0,1266	0,785815361
0,2083	33,8	0,1751	0,840711799
0,3285	59,5	0,3095	0,942180759
0,3945	75,21	0,3917	0,992786985
0,4992	96,9	0,5051	1,011763142
0,6379	128	0,6677	1,046708015



**Figura 18:** Inverso do fator de ajuste  $f$  a ser aplicado à quantidade de argila obtida com a curva da Figura 16

Para comparação dos resultados, utilizou-se a Tabela 05 referente aos resultados de  $X$  (fração em massa de argila na manta) para mantas bem formadas em uma determinada taxa.

**Tabela 05:**  $X$  obtido para cada taxa de aplicação a partir da turbidez de mantas bem formadas

Taxa(m/d)	Turbidez(uT)	$X$ (g/g)
160	3060	0,015747
200	1190	0,006182
240	595	0,003100

#### IV.4 - DESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA UM SFML DE 1x1m (PROTÓTIPO)

O SFML construído em escala ampliada foi projetado visando manter a proporção vazão/área (velocidade ascensional) com o MFDML existente no Laboratório de Saneamento da UNESP/FEIS.

Como se desejou obter um sistema modular de fácil construção, decidiu-se manter o formato da seção quadrada com 1m de lado, visando facilitar, posteriormente, o cálculo da área necessária à implantação do SFML a partir da demanda a ser atendida.

Após esse passo, teve-se que determinar a entrada da água no sistema de forma a obter-

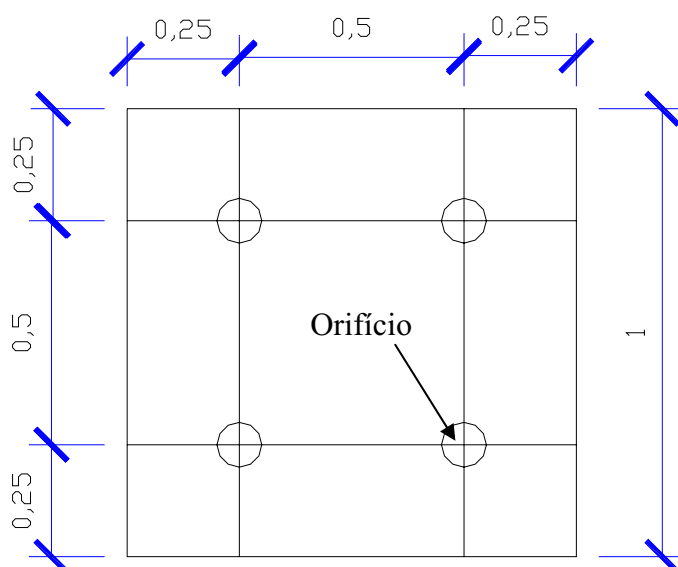


se gradientes de velocidade médios adequados à coagulação (gradiente do início) e à floculação (gradiente da parte superior do sistema).

Esses gradientes de velocidade orientam a realização dos ensaios em *jar-test* para obtenção da dosagem de coagulante.

Para o caso atual, pretendeu-se conceber um floculador verticalizado e não inclinada (piramidal) visando maior facilidade de execução do sistema modular. Dessa maneira, a floculação ocorre em função do cone formado pelos jatos de entrada espaçados de 50 cm entre si, ficando o restante do sistema considerado como prolongador.

A Figura 19 mostra a esquematização para os cálculos no SFML.



**Figura 19:** Concepção básica para cálculos de G no SFML a ser construído, cotas em metros

Sendo assim,  $G_{meio} = 0$  e,  $G_{médio}$  terá a forma descrita na Equação 66.

$$G_{médio} = (G_i \times h' + G_f \times h_{p+d}) / (h' + h_{p+d}) \quad \text{Equação 66}$$

A Equação 66 fornece as bases para realização de ensaios em *jar-test* para ETA do tipo da proposta, em unidades modulares, do tipo do apresentado, da forma descrita abaixo.

A seguir estarão especificadas as formas de cálculo dos gradientes de velocidade para o início e fim (do SFML a ser construído).

Inicialmente, a Figura 13 mostra como funciona o comportamento dos jatos sucessivos, para o qual deve ser calculado o volume envolvido. Participa também desse cálculo o espaçamento médio ( $Em$ ) entre os jatos sucessivos - o qual fornece a altura de encontro entre esses jatos ( $h'$ , utilizada no cálculo do volume inicial) e  $Gi$  - e a área de orifícios  $A_o$ . Assim, pode-se descrever as equações 67, 68 e 69.

$$h' = 2,5 \times Em \quad \text{Equação 67}$$

onde:

$h'$ : altura de encontro do jato de entrada com as paredes do floclador, m;

$Em$ : espaçamento médio entre orifícios, m;

$$Vol = \frac{4}{3} \left[ \pi \times \left( \frac{Em}{2} \right)^2 \times h' \right] = \frac{5\pi}{6} (Em)^3 \quad \text{Equação 68}$$

onde:

$Vol$ : volume interno aos cones formados pelos jatos sucessivos,  $m^3$ ;

$$A_o = 4 \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 \times \pi \right] \quad \text{Equação 69}$$

onde:

$A_o$ : Área dos orifícios de entrada,  $m^2$ ;

$D$ : diâmetro da tubulação de entrada, m;

Finalmente, como a concepção do SFML possui cantos vivos (quadrado) há a necessidade de se levar em consideração a zona morta formada através do cálculo de um diâmetro médio ( $Dm$ ) da seção transversal, o qual seria a área ( $As$ ) de escoamento após o encontro entre os jatos sucessivos. Pode-se, então, escrever as equações 70 e 71.

$$Dm = \left( \frac{1 + \sqrt{2}}{2} \right) \times l \quad \text{Equação 70}$$

onde:

Dm: diâmetro médio da unidade modular (m<sup>2</sup>);

l: comprimento do lado da unidade modular (m).

$$As = \left[ \frac{\pi \times \left( \frac{Dm}{2} \right)^2 + l^2}{2} \right] \quad \text{Equação 71}$$

onde:

A<sub>s</sub>: área da seção após o encontro entre os jatos sucessivos (m<sup>2</sup>).

#### IV.5 - ESTUDO DE ADIMENSIONALIZAÇÃO PARA AUMENTO DE ESCALA

Foi utilizado o teorema dos pi ou de Buckingham na determinação de grupos adimensionais para estudos do aumento de escala do MFDML.

Assim, pretende-se descrever um adimensional que possa traduzir as relações existentes entre o modelo existente (MFDML) e um protótipo que se deseja construir (SFML).

Ainda, pretende-se que esse adimensional traduza efeitos apresentados em sistemas hidráulicos do tipo coluna, com mesmas largura e comprimento (l), como o que se está estudando, sem levar em consideração o diâmetro das partículas sólidas presentes no fluido do modelo ou protótipo.

Assim, dadas as considerações iniciais, pode-se proceder aos 8 passos apresentados por Munson *et al.* (1997):

Passo 1: Relação das principais variáveis envolvidas no problema:

l: largura do sistema (m);

ρ: massa específica do fluido (kg/m<sup>3</sup>);

V: Velocidade média ascensional (m/s);

h: altura do sistema (m);

$\mu$  : viscosidade dinâmica do fluido (N.s/m<sup>2</sup>);

$t_{DH}$  : tempo de detenção hidráulico (s);

$G$  : Gradiente de velocidades médio (s<sup>-1</sup>).

Passo 2: Expressão das variáveis em função das dimensões básicas (M, L, T):

$l$  :  $M^0 L^1 T^0$ ;

$\rho$  :  $M^1 L^{-3} T^0$ ;

$V$  :  $M^0 L^1 T^{-1}$ ;

$h$  :  $M^0 L^1 T^0$ ;

$\mu$  :  $M^1 L^{-1} T^{-1}$ ;

$t_{DH}$  :  $M^0 L^0 T^1$ ;

$G$  :  $M^0 L^0 T^{-1}$ .

Passo 3: Determinação do número necessário de termos  $\Pi$  a partir da Equação 72:

$$\frac{h}{l} = f(\rho, (\mu.V), t_{DH}, G)$$

Equação 72

Seja  $k = 5$  (número de variáveis) e  $r = 3$  (três dimensões, M, L e T), o número de termos  $\Pi$ , será  $k-r = 2$

Passo 4: Escolha das variáveis repetidas:

Serão elas:  $\rho, (\mu.V)$  e  $t_{DH}$ .

Passo 5: Formação dos termos  $\Pi$  a partir de uma das variáveis não repetidas conjuntamente com as variáveis repetidas:

Compondo as variáveis repetidas com  $\frac{l}{h}$ , vem:

$$\Pi_1 : \rho^a (\mu.V)^b t_{DH}^c \cdot \frac{h}{l} = M^0 L^0 T^0$$

$$\Pi_1 : \left(\frac{M}{L^3}\right)^a \left(\frac{M}{T^2}\right)^b (T)^c \bullet 1 = M^0 L^0 t_{DH}^0$$

$$a = 0; b = 0; c = 0$$

Passo 6: Repetição do passo anterior para o restante das variáveis não repetidas (no caso, apenas 1):

$$\Pi_2 : \rho^a (\mu.V)^b t_{DH}^c \bullet G = M^0 L^0 T^0$$

$$\Pi_2 : \left(\frac{M}{L^3}\right)^a \left(\frac{M}{T^2}\right)^b (T)^c \bullet T^{-1} = M^0 L^0 t_{DH}^0$$

$$a = 0; b = 0; c = 1$$

Passo 7: Verificação da adimensionalidade dos termos  $\Pi$ :

$$\Pi_1 = \frac{h}{l} \Rightarrow \frac{L}{L} \Rightarrow M^0 L^0 T^0 \Rightarrow Ok!$$

$$\Pi_2 = t_{DH}.G \Rightarrow \frac{T}{T} \Rightarrow M^0 L^0 T^0 \Rightarrow Ok!$$

Passo 8: Expressão final – Equação 73 - da relação entre os termos  $\Pi$  e análise do significado dessa relação:

$$\Pi_1 = f(\Pi_2) \Rightarrow \frac{\Pi_1}{\Pi_2} = cte \quad \text{Equação 73}$$

Deve-se, agora, estabelecer uma relação funcional entre esses adimensionais através da aplicação dos dados do problema. A relação entre os termos  $\Pi$  é válida em função de haver apenas dois termos. É possível inferir que a constante representa uma relação das características geométricas do problema, representadas em  $\Pi_1$ , com a inércia, pressão e viscosidade do fluido, representadas em  $\Pi_2$  (número de Camp), uma vez o segundo termo trazer informações de velocidade, perda de carga e viscosidade do fluido.

#### IV.6 - ESTUDO DA AUTOMAÇÃO DA DOSAGEM DE COAGULANTE

A dosagem de coagulante foi semi-automatizada e feita a partir dos dados obtidos em

ensaios em *jar-test*.

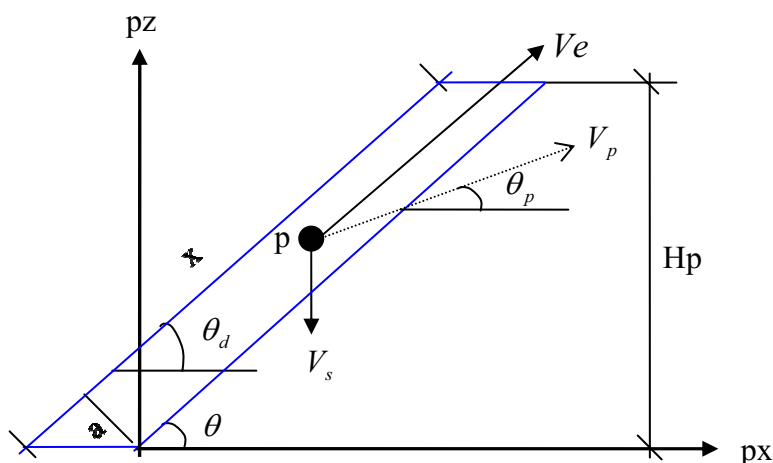
Com esses dados, foram montadas curvas de dosagem a partir do sistema que se desejava operar - em termos de suas características hidráulicas -, levando-se em consideração a turbidez da água bruta.

As curvas foram estabelecidas por interpolação linear, em passos discretos, observados os possíveis desvios de comportamento da mesma buscando-se, assim, os pontos de inflexão. No MFDML a dosagem era controlada por carga hidráulica e no SFML por uma bomba dosadora tipo diafragma.

#### IV.7 - ESTUDO DA REMOÇÃO DE PARTÍCULAS EM PLACAS PLANAS PARALELAS

A partir da determinação e conferência do número de Reynolds pelas equações 21 a 24 é possível verificar a velocidade de sedimentação de uma partícula pela Equação 20. Por outro lado, dadas as características físicas da partícula e o perfil de velocidades em um duto de interesse é também possível conhecer o tamanho da partícula que encontrará a parte inferior do duto e, assim, teoricamente será retida.

Para análise, primeiramente deve-se estabelecer o perfil de velocidades entre as placas através das equações 74 e 75, Tabela 01 e gráficos das figuras 09 a 11 para montagem da velocidade da partícula nas direções  $pz$  e  $px$ , conforme a Figura 20.



**Figura 20:** Esquema para análise de remoção de partículas em placas planas paralelas

$$V_{px} = V_e \times \cos \theta \quad \text{Equação 74}$$

$$V_{pz} = V_e \times \text{sen} \theta - V_s \quad \text{Equação 75}$$

onde:

pz: direção da partícula em pz;

px: direção da partícula em px;

$V_p$ : velocidade da partícula;

$V_{px}$ : velocidade da partícula na direção px;

$V_{pz}$ : velocidade da partícula na direção pz;

$V_e$ : velocidade de escoamento no ponto p;

a: altura do duto;

b: largura do duto;

$\theta$ : ângulo das placas com a horizontal;

$\theta_d$ : ângulo entre a diagonal secundária do duto e a horizontal;

$\theta_p$ : ângulo entre a direção do deslocamento da partícula e a horizontal;

H<sub>p</sub>: altura das placas;

x: comprimento das placas na direção de  $\theta$ .

Nessa suposição, a velocidade de escoamento é suposta maior que a velocidade de sedimentação da partícula em um meio estático visando simular as ocorrências mais desfavoráveis.

## V - PROCEDIMENTOS

### V.1 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS EM JAR-TEST

Obtidos os parâmetros hidráulicos dá-se seqüência à realização dos *jar-test* utilizando-se os equipamentos da Figura 21. Esses ensaios de bancada permitem determinar as dosagens de coagulante para cada situação de turbidez e vazão no MFDML.



**Figura 21:** Equipamentos utilizados na realização dos ensaios em *jar-test*

Para realização dos testes inicialmente era necessário preparar solução de coagulante (polieletrólito). Essas soluções foram preparadas utilizando-se a relação da Equação 76.

$$\frac{m_p}{m_{H_2O}} = 0,005 \quad \text{Equação 76}$$

onde:

$m_p$ : massa do polieletrólito na solução;

$m_{H_2O}$ : massa de água na solução.

Isso pôde ser conseguido a partir da determinação da massa específica do coagulante utilizado. Determinou-se, também, a quantidade de polímero a ser adicionada por litro de água destilada, de forma a se obter solução 0,5% na relação entre massas do polieletrólito e água na solução. Esses dados estão na Tabela 06.

**Tabela 06:** Característica do polieletrólito utilizado

Coagulante	Art Flocc – C (coagulante)
Característica	Catiônico
Massa (g)	12,7380
Volume (ml)	9
Massa específica (g/ml)	1,415
Dosagem para solução 0,5% em massa (ml/l <sub>água</sub> )	3,5



Em seguida, preparava-se a água bruta – sintética - na turbidez desejada partindo-se da quantidade de argila calibrada para cada turbidez, dada na Tabela 03.

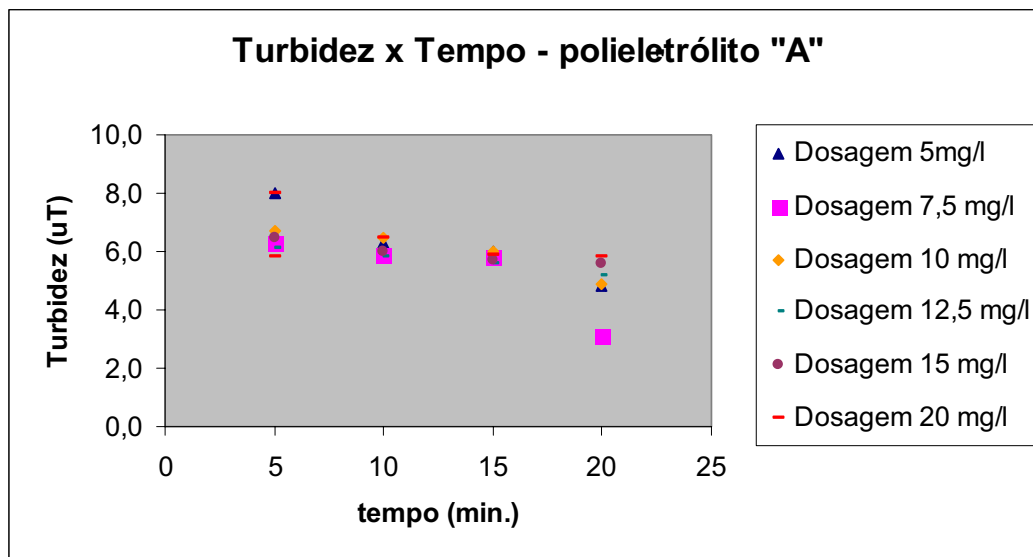
A quantidade de argila era obtida em uma balança de precisão; em seguida misturava-se o material na água e conferia-se a turbidez.

A etapa seguinte determinou as melhores dosagens de coagulante (polieletrólito).

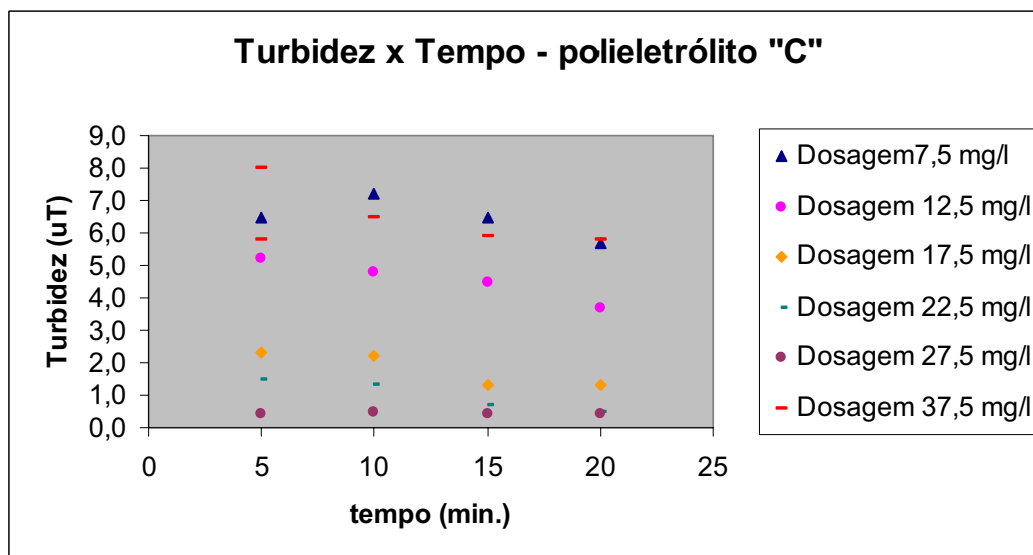
Como era testado um único coagulante – isso em função dos resultados obtidos anteriormente pelos autores deste trabalho sempre mostrarem melhor desempenho desse produto (Cavazzana e Matsumoto, 2003) -, preparada a água era necessário estimar as dosagens do polímero para cada turbidez e taxa de filtração que associados às características hidráulicas e tempos de detenção de cada ensaio forneciam os valores de dosagem para cada turbidez da água bruta ao final dos experimentos. A melhor dosagem era aquela que tratava a água em acordo com os parâmetros desejados, ou seja, turbidez residual em torno de 2uT ao final do ensaio.

No entanto, para que esse procedimento tenha um caráter generalizado necessita-se supor uma comparação entre coagulantes diferentes, em que outras análises devem ser feitas, da forma do complemento descrito a seguir.

Assim, além das observações individuais para cada polímero, analisando-se o comportamento dos polieletrólitos catiônicos denominados A ( $\rho=1,360\text{g/cm}^3$ ) e C ( $\rho=1,415\text{g/cm}^3$ ) para turbidez inicial de 10uT e taxa de aplicação no módulo de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  no filtro, percebe-se a maior eficiência deste em relação àquele – Figura 22a e b. Isso porque o produto A precisa de 7,5 mg de solução por litro de água, para dar à água bruta turbidez residual de 3,1 uT (maior que 2uT); e o produto C, apesar de precisar de 17,5 mg de solução por litro de água, é capaz de deixá-la com turbidez de 1,3uT (menor que 2uT). Ainda, C é a melhor, pois os níveis de turbidez aumentam, com o aumento da quantidade de A, até o limite de 20mg/l (testado) maior que 17,5 mg/L, a dosagem de C capaz de traduzir a eficiência desejada em termos de remoção de turbidez.



a) jar- test com o polieletrólito "A"



b) jar- test com o polieletrólito "C"

**Figura 22:** Gráficos comparativos das eficiências de dosagem entre os polieletrólitos A e C

Repetidos os ensaios para todas as taxas e turbidez que se pretende testar, é possível montar as curvas de dosagem e realizar os ensaios no MFDML ou SFML.

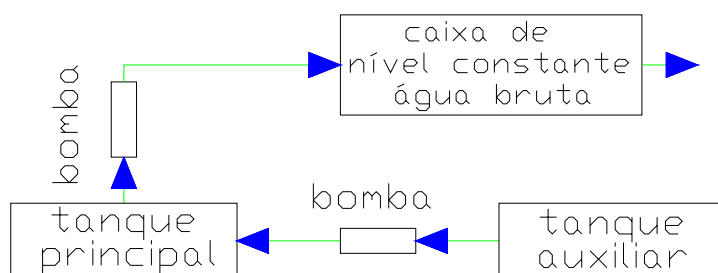
## V.2 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS NO MFDML

A realização de testes no MFDML envolveu as etapas de a a f, como segue:

### a) Preparação da água bruta

Utilizou-se de dois tanques (Figura 23), nos quais misturava-se argila com

homogeneização mecânica no tanque principal e, manual, no auxiliar - de onde se recalca água para o principal através de uma bomba. O segundo tanque foi utilizado para que se pudesse manter um maior controle da turbidez da água bruta e ter-se água em quantidade suficiente para ensaios longos. A turbidez nesses tanques eram ajustadas conforme a requerida pelo ensaio, 3uT a 100uT. Uma bomba do tipo centrífuga recalca água do tanque principal para uma caixa de nível constante - ver Figura 12.



**Figura 23:** Esquema mostrando o tanque principal e o auxiliar de água bruta sintética

#### b) Ensaios em *jar-test*

Os ensaios de *jar-test* possibilitaram a obtenção da melhor dosagem do melhor polieletrólito testado para aplicação a cada taxa de filtração, conforme gradientes e tempos de mistura rápida, floculação e decantação.

#### c) Aplicação de coagulante

A aplicação de coagulantes (polieletrólitos) era feita no vórtice de entrada da água bruta na tubulação de alimentação do MFDML.

As vazões para alimentação com solução de coagulante foram controladas por um sistema colocado acima do medidor de vazão. Esse sistema era alimentado com solução de polieletrólito por uma bomba pequena, à bateria de 12 V, com dispositivo de nível semi-automático para seu acionamento, a qual ficava ligada a um reservatório. No entanto, era necessário fazer o ajuste de vazão conforme o ensaio pretendido para cada taxa de filtração e turbidez inicial.

Esse ajuste tinha como parâmetro a quantidade (dosagem em mg de solução por litro de água de ensaio) de coagulante utilizado para dois litros de água de ensaio nos *jar-test*, sabendo-se que a solução de polímero sempre apresenta a relação da Equação 76.

Dessa forma foi possível obter, para cada taxa de aplicação e turbidez de ensaio, a

vazão de solução de coagulante a ser utilizada.

#### d) Aplicação no MFDML

Para verificação das dosagens obtidas em *jar-test* foi utilizado o MFDML, o qual era alimentado com água coagulada. A água bruta sintética utilizada passava pela caixa de distribuição que, por sua vez, seguia a um misturador rápido colocado após a caixa de nível constante. As coletas de água decantada foram realizadas na parte superior (final) do decantador de alta taxa e da filtrada, após a passagem da água pelo filtro, conforme a Figura 12.

#### e) Taxas de aplicação e qualidade da água bruta

Foram realizados ensaios às taxas propostas de 160, 200 e 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, com a água bruta preparada como descrito anteriormente, nos três níveis de turbidez propostos: 3uT a 100uT.

#### f) Encerramento do ensaio

Os ensaios tiveram tempo de duração de 4 a 24 horas, dependendo do objetivo do ensaio.

Os ensaios realizados com 4 horas tiveram ênfase na formação da manta de lodo e turbidez da água decantada. Os de 24 h, visaram avaliar o desempenho do sistema para maiores tempos de funcionamento. Os de 16 horas, permitiram analisar o funcionamento do sistema frente a mudanças discretas e crescentes da turbidez de entrada.

### V.3 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS NO SFML

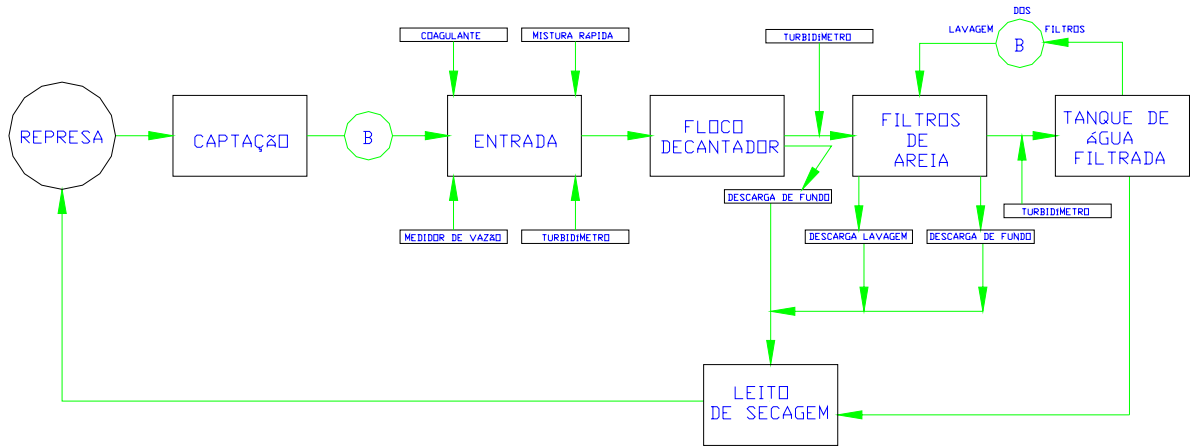
Os ensaios no SFML (Figuras 24 a 26) seguiram basicamente os mesmos passos para o MFDML, observadas três diferenças:

A primeira, referente à água bruta, é que foram testadas águas do Lago do Ipê em Ilha Solteira-SP, em função da quantidade de água necessária para testar o protótipo e pela condição de testá-lo com água natural;

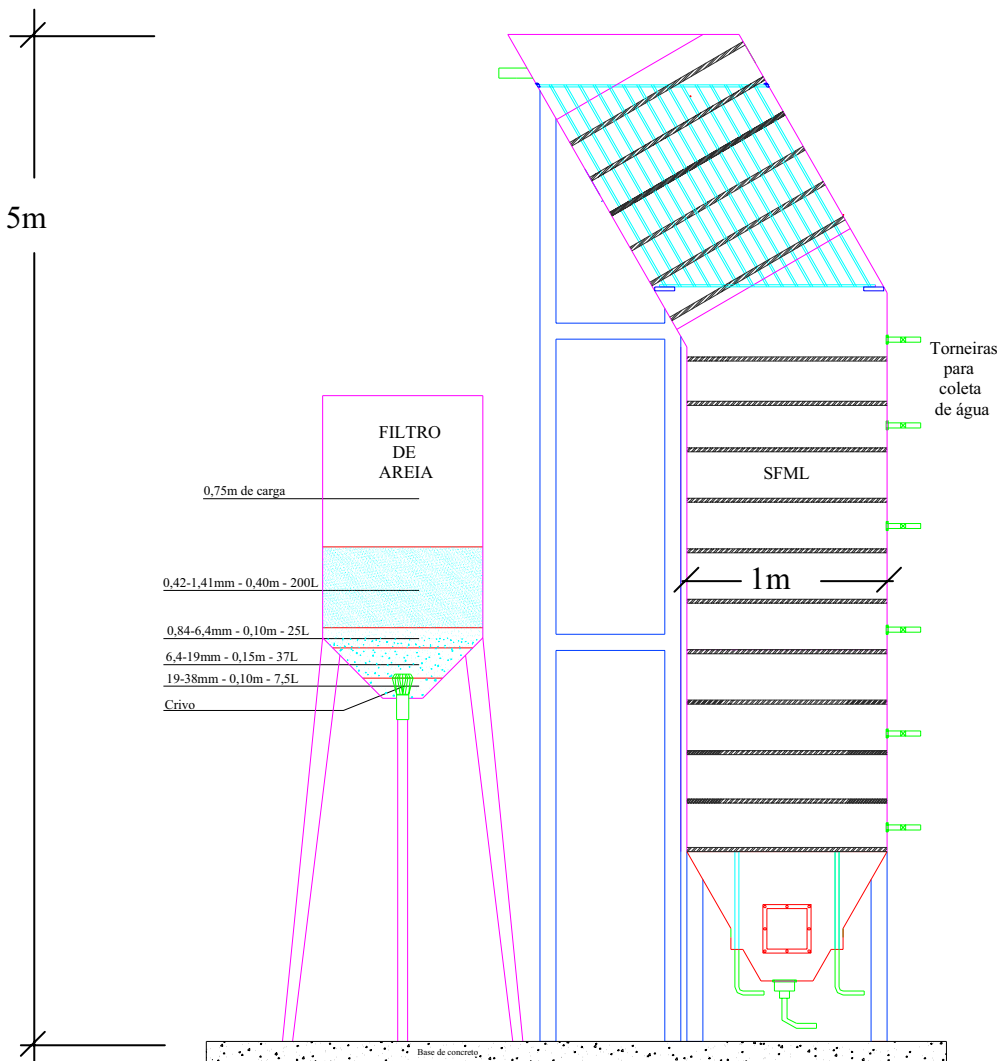
A segunda, foi a realização de ensaios a taxas mais altas, de 240, 320 e 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia.

A terceira é que os filtros funcionaram para taxas que não comportavam toda a vazão produzida no protótipo, em função da indisponibilidade de recursos para a montagem correta dos filtros, associada à necessidade de se obter dados de água filtrada.

Dessa maneira, o encerramento dos ensaios no SFML se deu em 8h, definido pelo operador, objetivando comparação dos *jar-test* com os resultados no protótipo.



**Figura 24:** Fluxograma do SFML montado no Lago do Ipê em Ilha Solteira-SP



**Figura 25:** Esquema de projeto do SFML montado no Lago do Ipê em Ilha Solteira-SP



**Figura 26:** Foto do SFML montado no Lago do Ipê em Ilha Solteira-SP

#### V.4 - DESCRIÇÃO DA OBTENÇÃO DA DENSIDADE DA MANTA

A partir dos estudos de formação da manta de lodo pode-se estabelecer uma forma de relacionar a turbidez da água com a porcentagem em massa de argila na mesma, dado que se utilizou as mesmas argila e água para preparação da água bruta nos testes com o MFDML.

Para análise desses resultados, observou-se, também, que a solução de coagulante possui turbidez aproximadamente nula, não influenciando no resultado final.

E, como a manta possuía turbidez muito alta, tirava-se uma amostra da mesma e diluía-se numa certa proporção. Em seguida tirava-se a turbidez da amostra, transformava-se para a turbidez inicial da manta e tirava-se a porcentagem de argila presente na mesma, bem como sua densidade (ver Tabela 05 anterior).

Assim, aplicando-se os dados descritos no item 3 da Metodologia, foram feitas duas análises. Inicialmente ajustou-se a fração em massa ( $X$ ) para obtenção da altura de manta no final do ensaio, conforme anexos 161 a 169, para comparação da altura da manta (anexos 170 a 178). Posteriormente ajustou-se um  $X$ , com e sem fator de ajuste, para comparação com a fração em massa determinada em ensaio experimental (Tabela 05), gerando um fator erro (anexos 179 a 202).

## V.5 - ESTUDO DE ADIMENSIONAIS

Com a determinação dos grupos adimensionais envolvidos, é possível fazer-se simulações que os inter relacionam e, assim, determinar-se de forma mais precisa o comportamento e detalhes técnicos envolvidos num sistema de maior ou menor escala.

Esses estudos com adimensionais, uma vez testados e comprovados para a aplicação desejada possibilitam obter dados para uma análise prática e rápida de um protótipo permitindo a realização de uma série de ensaios em bancada, por exemplo, para indicar os elementos compostos dos custos que estariam envolvidos em sistemas na escala desejada de forma sistemática e com boa precisão.

Para o caso tem-se a necessidade de se avançar nesse viés, uma vez os estudos nesse campo ainda estarem se iniciando enquanto outras questões, como o comportamento hidráulico e a determinação da dosagem de coagulantes no MFDML e SFML terem sido alcançados.

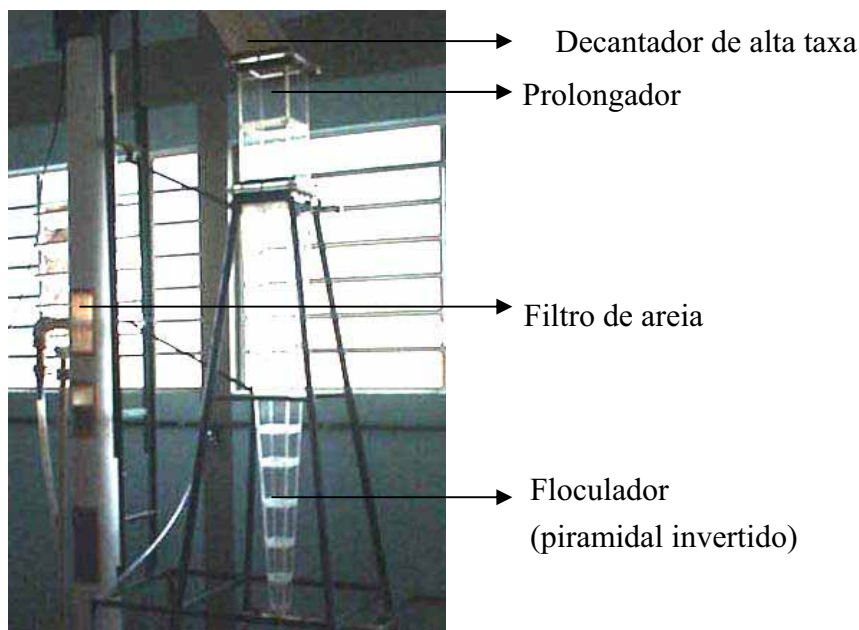
## V.6 - ESQUEMATIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA AUTOMAÇÃO DO SFML

Pretendeu-se inserir uma orientação para que o SFML funcionasse totalmente automatizado e controlável à distância. Para tanto, conforme o Apêndice 03, utilizaria-se de válvulas solenóides, medidores de vazão, bombas de recalque e dosadoras controlados via WEB, pela interface de Computadores com programa de controle que decodifica os sinais de um Controlador Lógico Programável.

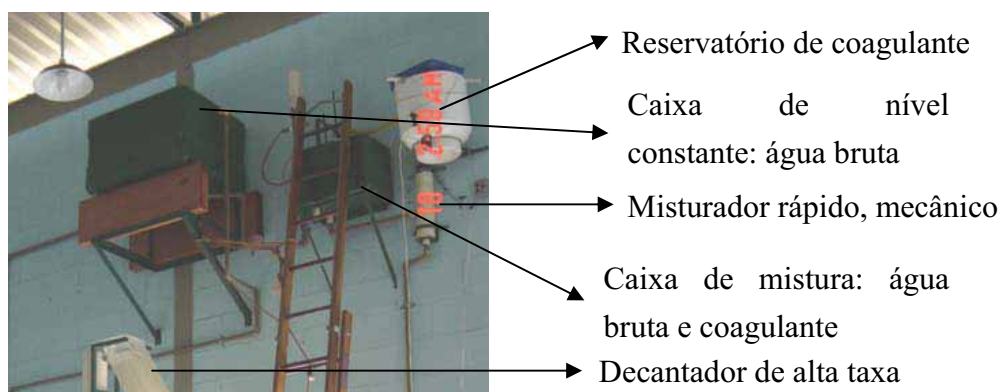
# VI - RESULTADOS

## VI.1 - RESULTADOS DOS ENSAIOS EM *JAR-TEST* PARA O MFDML

Na realização do estudo de tratamento da água sob as taxas de 160, 200 e 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia equivalentes à filtração, foi utilizado o MFDML mostrado nas figuras 12, 27 e 28.



**Figura 27:** Foto do floculador, prolongador e início do decantador

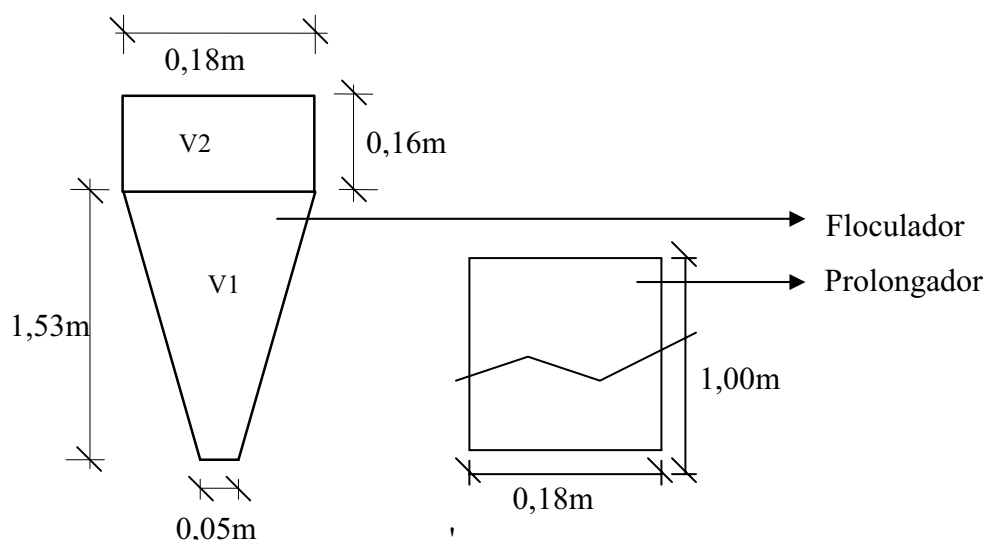


**Figura 28:** Foto das caixas de nível constante para alimentação e dosagem de coagulante do MFDML

Esse módulo está instalado no Laboratório de Saneamento do DEC/FEIS/UNESP (auxílio FAPESP processo 1998/14395-5 e Fundo para o Desenvolvimento da UNESP/FEIS). O modelo é composto de floculador de manta de lodo, acoplado na parte superior a um decantador (de placas paralelas) de alta taxa seguido de um filtro de areia em camada única.

A seguir estão apresentadas as dimensões e características do MFDML das figuras 13, 27, 28 e 29 para cálculo dos gradientes de velocidade e tempos de detenção.





**Figura 29:** Dimensões do MFDML

a) Floculador manta de lodo:

- Material: Acrílico
- Volume do tronco de pirâmide (V1): 27 litros
- Volume do Prolongamento de 0,16m (V2): 5,2 litros
- Volume do Prolongamento de 1m: 32,4 litros
- Volume total: 43,20 litros

b) Decantador de alta taxa de placas paralelas:

- Material: Acrílico
- Dimensões: 0,18m x 0,18m x 1,10m
- Volume: 32 litros
- Espessura das Placas: 3mm
- No. de placas: 6
- Distância entre placas: 24mm
- Ângulo das placas com a horizontal: 60°

c) Filtro de areia:

- Diâmetro: 20cm

- altura total: 3,17m
- altura livre: 1,85m
- camada única de areia: 0,50m
- camada intermediária: 0,12m
- camada suporte: 0,45m
- fundo falso-drenagem: 0,25m

Os gradientes de velocidades obtidos eram o do início e o do fim das seções do módulo decanto-floculador.

- Seção inicial:

Estimando-se a constante da Equação 39 em torno de 0,15 s, e sabendo-se que a área do início é a do orifício de entrada do floculador ( $D = \frac{3}{4}$ " ) e calculando-se o  $V_i$  (Volume do início -  $m^3$ ) =  $V_{tronco}$ , o volume do tronco de cone, considerando as alturas definidas na Figura 30, calculadas conforme as equações 43 e 45 e a área, calculada de acordo com as equações 44 e 46, substituindo pelas dimensões do módulo apresentadas na Figura 14, tem-se:

$$b' = D(h) = \frac{h \times d}{h + 2,5 \times d - 2,5 \times b} = \frac{1,53 \times 0,05}{1,53 + 2,5 \times 0,05 - 2,5 \times 0,18} = 0,0635 \text{ m}$$

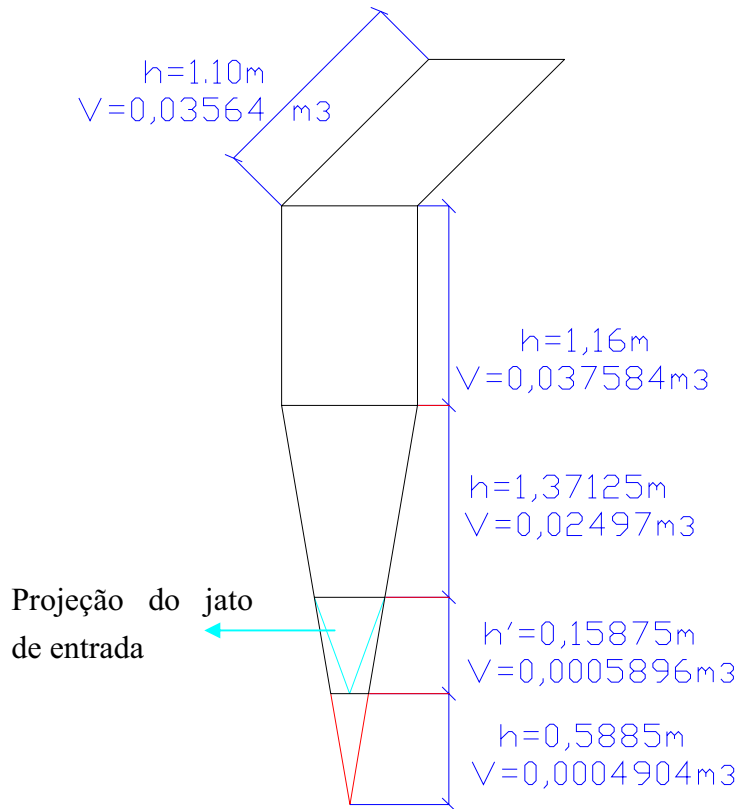
$$h' = 2,5 \times 0,0635 = 0,153875 \text{ m}$$

$$Dm(h) = \frac{D(h) \times (1 + \sqrt{2})}{2} = 0,0767 \text{ m}$$

Agora, conforme as figuras 14 e 30 ( $h_x = 0,5885$  m), segue:

$$V_{tronco} = \frac{\pi}{12} \times ((0,0767)^2 \times (0,153875 + 0,5885) - (\frac{0,05 \times (1 + \sqrt{2})}{2})^2 \times 0,5885)$$

$$V_{tronco} = 0,005896 \text{ m}^3$$



**Figura 30:** Módulo Experimental discretizando alturas e volumes

$$G_i = \sqrt{\frac{0,15 \times 9,81 \times Q^2}{10^{-6} \times \left( \frac{\pi \times 0,02^2}{4} \right) \times 0,0005896}} = 2818554,64682 \times Q^*$$

• Fim

Já para a determinação do gradiente no final do floculador, considera-se a área  $A_s$  da Equação 41, como sendo a média entre a área determinada pelo cone no encontro com as paredes da pirâmide (correspondente à  $h'$ ) e a área do final do floculador ( $b^2$  - conforme a Figura 14), já que para pontos acima de  $h'$  considera-se que o escoamento ocupa toda a área transversal.

Assim, tem-se:

$$b^2 = 0,18^2 = 0,0324 \text{ m}^2$$

$$A_s = \frac{\left( \frac{\pi \times (0,0767)^2}{4} + 0,0324 \right)}{2} = 0,01851 \text{ m}^2$$

$$G_f = \sqrt{\frac{0,15 \times 9,81 \times Q^2}{10^{-6} \times 0,01851 \times 0,02497}} = 56219,8101832 \times Q *$$

\*Para  $Q$  em  $m^3/s$  e  $G$  em  $s^{-1}$ .

Assim, em conformidade com as equações 45 e 46, e com a vazão e o volume de cada etapa (ver Figura 30) tornou-se possível a construção das tabelas 07 e 08 para realização dos ensaios em *jar-test*.

**Tabela 07:** Estimativa dos gradientes de velocidade no floculador em função da taxa de filtração no MFDML

Taxa de filtração	160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia
G <sub>médio</sub> (s <sup>-1</sup> )	33	41	50

**Tabela 08:** Estimativa dos tempos de detenção no MFDML (para a mistura rápida, floculação e decantação)

Taxa de filtração	160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia
Mistura rápida*	7,5 s	6 s	5 s
Floculador	6,5 min.	5 min.	4 min.
Decantador	20 min.	15 min.	10 min.

\*A mistura rápida possui gradiente 600 s<sup>-1</sup>.

Feitos os cálculos dos gradientes e tempos de detenção procedeu-se aos ensaios em *jar-test*, os quais forneceram os resultados de dosagem - indicando sempre o polieletrólito “C” como melhor coagulante - para aplicação no MFDML apresentados na Tabela 09 e nos anexos 101 e 102 construídos a partir dos dados dos formulários e figuras dos anexos 001 a 018 e 037 a 066.

**Tabela 09:** Melhores dosagens para aplicação no MFDML

Taxa (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia)	Turbidez de ensaio (uT)	Melhor dosagem (mg/L)	Taxa (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia)	Turbidez de ensaio (uT)	Melhor dosagem (mg/L)
160	3	1,25	200	30	22,5
160	5	10	200	50	20
160	7	12,5	200	70	20
160	10	15	200	100	37,5
160	30	17,5	240	3	5
160	50	15	240	5	15
160	70	17,5	240	7	17,5
160	100	22,5	240	10	25
200	3	2,5	240	30	25
200	5	10	240	50	25
200	7	15	240	70	25
200	10	20	240	100	37,5

Devido às dúvidas surgidas quanto à dosagem de coagulante em pontos intermediários de turbidez inicial foram feitos outros ensaios, representados nos anexos 067 a 100 que forneceram os dados mostrados na Tabela 10 e permitiram a construção dos anexos 103 e 104.

**Tabela 10:** Complemento às melhores dosagens para aplicação no MFDML

Taxa (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Turbidez de ensaio (uT)	Melhor dosagem (mg/L)	Taxa (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Turbidez de ensaio (uT)	Melhor dosagem (mg/L)
160	40	17,5	200	55	25
160	45	17,5	200	60	25
160	50	15	200	65	20
160	60	17,5	200	80	27,5
160	65	15	200	90	25
160	80	17,5	240	40	25
160	90	17,5	240	60	25
200	40	17,5	240	80	25
200	45	25	240	90	32,5

## VI.2 - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO MFDML

Os resultados no MFDML foram colhidos em formulários como os mostrados nos anexos 019 a 036 e 105 a 110.

Esses formulários possibilitaram trabalhar uma estimativa numérica da formação da manta de lodo, fornecendo estimativas de altura e densidade, bem como possibilidade de comparação entre as frações X de argila em mantas bem formadas e as obtidas com os modelos das equações 62, 64 e 65. Esses resultados contaram com a caracterização da argila utilizada, representada no Anexo 203, gerando os resultados dos anexos 161 a 202.

## VI.3 - RESULTADOS DOS ENSAIOS EM JAR-TEST PARA O SFML

Após algumas tentativas, buscando-se gradientes semelhantes aos obtidos no Módulo Experimental por Cavazzana e Matsumoto (2003), chegou-se à configuração apresentada na Figura 19, com tubulação de entrada com  $D = \frac{3}{4}''$  (0,01905m). Assim, considerando uma manutenção de  $L_f \times k_r = 0,15s$ , pôde-se calcular os gradientes de entrada, de forma a não ocorrer cisalhamento dos flocos formados, e obter-se um gradiente médio -  $G_{\text{médio}}$  – adequado.

Os cálculos estão representados a seguir.

$$h' = 2,5 \times 0,5 = 1,25m$$

$$Vol = \frac{4}{3} \left[ \pi \times \left( \frac{0,5}{2} \right)^2 \times 1,25 \right] = 0,32725 m^3$$

$$A_o = 4 \left[ \left( \frac{0,01905}{2} \right)^2 \times \pi \right] = 0,00114009m^2$$

Considerando uma taxa de  $240m^3/m^2/dia$  num filtro de  $1m^2$  de área superficial, tem-se:

$$Gi = \sqrt{\frac{(L_f \times k_r) \times g \times Q^2}{\nu \times A \times V}} = \sqrt{\frac{0,15 \times 9,81 \times 0,00278^2}{10^{-6} \times 0,00114009 \times 0,32725}} \approx 175s^{-1}$$

$$Dm = \left( \frac{1 + \sqrt{2}}{2} \right) \times 1 = 1,2071m$$

$$As = \left[ \frac{\pi \times \left( \frac{1,2071}{2} \right)^2 + 1^2}{2} \right] = 1,0722 \text{ m}^2$$

$$Gf = \sqrt{\frac{0,15 \times 9,81 \times 0,00278^2}{10^{-6} \times 1,0722 \times 1,25}} \approx 2,9 \text{ s}^{-1}$$

Dessa maneira, para um sistema do tipo do PMC proposto, com altura total de 3,60m, pode-se calcular um  $G_{\text{médio}}$  da seguinte forma:

$$G_{\text{médio}} = (G_i \times h' + G_f \times h_{p+d}) / (h' + h_{p+d}) =$$

$$= (175 \times 1,25 + 2,9 \times 2,35) / 3,60 \approx 63 \text{ s}^{-1}$$

E, visando explorar melhor o potencial de produção do SFML, realizaram-se os cálculos anteriores às taxas de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia e 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, conforme apresentado a seguir:

- Taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia:

$$Gi = \sqrt{\frac{(L_f \times k_r) \times g \times Q^2}{\nu \times A \times V}} = \sqrt{\frac{0,15 \times 9,81 \times 0,00370^2}{10^{-6} \times 0,00114009 \times 0,32725}} \approx 232 \text{ s}^{-1}$$

$$Gf = \sqrt{\frac{0,15 \times 9,81 \times 0,00370^2}{10^{-6} \times 1,0722 \times 1,25}} \approx 3,9 \text{ s}^{-1}$$

$$G_{\text{médio}} = (232 \times 1,25 + 3,9 \times 2,35) / 3,60 \approx 83 \text{ s}^{-1}$$

- Taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia:

$$Gi = \sqrt{\frac{(L_f \times k_r) \times g \times Q^2}{\nu \times A \times V}} = \sqrt{\frac{0,15 \times 9,81 \times 0,00463^2}{10^{-6} \times 0,00114009 \times 0,32725}} \approx 291 \text{ s}^{-1}$$

$$Gf = \sqrt{\frac{0,15 \times 9,81 \times 0,00463^2}{10^{-6} \times 1,0722 \times 1,25}} \approx 4,9 \text{ s}^{-1}$$

$$G_{\text{médio}} = (291 \times 1,25 + 4,9 \times 2,35) / 3,60 \approx 104 \text{ s}^{-1}$$

Com esses dados de gradiente médio puderam ser realizados os ensaios em *jar-test* para determinar as curvas de dosagem do polieletrólito “C” a serem aplicadas ao SFML.

Esses ensaios foram realizados conforme a Tabela 11.

**Tabela 11:** Programação para os ensaios em *jar-test* no SFML

Taxa de aplicação (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia)	Turbidez inicial (uT)	Gradiente médio (s <sup>-1</sup> )*	rpm**	Taxa de aplicação (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia)	Turbidez inicial (uT)	Gradiente médio (s <sup>-1</sup> )*	rpm**
240	3	63	55	320	30	83	65
240	5	63	55	320	50	83	65
240	7	63	55	320	70	83	65
240	10	63	55	320	100	83	65
240	30	63	55	400	3	104	75
240	50	63	55	400	5	104	75
240	70	63	55	400	7	104	75
240	100	63	55	400	10	104	75
320	3	83	65	400	30	104	75
320	5	83	65	400	50	104	75
320	7	83	65	400	70	104	75
320	10	83	65	400	100	104	75

\*Gradiente de mistura rápida - 600 s<sup>-1</sup>.

\*\*rpm: rotações por minuto no aparelho de *jar-test* para um Gmédio correspondente.

Os tempos de detenção em cada etapa – mistura rápida, floculação e decantação – foram obtidos através dos volumes e taxas de aplicação das mesmas, e estão apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12:** Estimativa dos tempos de detenção no SFML (para a mistura rápida, floculação e decantação)

Taxa de filtração	240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia
Mistura rápida	8s	6s	5s
Floculador	7:45 min.	5:45 min.	4:30 min.
Decantador	14:30 min.	10:50 min.	8:30 min.

Os resultados dos ensaios em *jar-test* com o polímero C estão representados nas figuras e nos formulários dos anexos 111 a 158 e, resumidamente, na Tabela 13.



**Tabela 13:** Melhores dosagens para aplicação no SFML

Taxa (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Turbidez de ensaio (uT)	Melhor dosagem (mg/L)	Taxa (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Turbidez de ensaio (uT)	Melhor dosagem (mg/L)
200	3	2,5	320	30	15
200	5	7,5	320	50	12,5
200	7	7,5	320	70	12,5
200	10	7,5	320	100	12,5
200	30	10	400	3	1,25
200	50	10	400	5	10
200	70	10	400	7	12,5
200	100	10	400	10	15
320	3	1,25	400	30	12,5
320	5	10	400	50	15
320	7	10	400	70	15
320	10	10	400	100	15

E, como os resultados anteriores foram feitos para águas brutas sintéticas (preparadas com argila) foram feitos *jar-test* com água do Lago do Ipê, os quais estão representados nos anexos 204 a 206.

#### VI.4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO SFML

Os resultados no SFML estão representados nos anexos 207 a 209.

#### VI.5 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DE AUMENTO DE ESCALA A PARTIR DE ADIMENSIONAIS

Partindo-se da relação da Equação 73 chamando-se a constante de raiz do Número para Sistema em Coluna (NSC) e substituindo-se o gradiente de velocidades pela Equação 42, chega-se à Equação 77.

$$NSC = \frac{v \times A \times Vol \times h^2}{(L_f \times k_r) \times g \times Q^2 \times l^2 \times t_{DH}^2} \quad \text{Equação 77}$$

Agora, fazendo-se a relação entre a Equação 77 para o modelo ( $_m$ ) e para o protótipo ( $_p$ ), considerando-se mesmas altura, velocidade ascensional e líquido, tem-se:

$$\frac{NSC_m}{NSC_p} = \frac{\left[ \frac{v \times A \times Vol \times h^2}{(L_f \times k_r) \times g \times Q^2 \times l^2 \times t_{DH}^2} \right]_m}{\left[ \frac{v \times A \times Vol \times h^2}{(L_f \times k_r) \times g \times Q^2 \times l^2 \times t_{DH}^2} \right]_p} = \left[ \frac{k_{rp} \times l_p^2}{k_{rm} \times l_m^2} \right] \Rightarrow k_{rp} = \left( \frac{l_m}{l_p} \right)^2 \times k_{rm} = \left( \frac{0,18}{1} \right)^2 \times k_{rm} = 0,0324 \times k_{rm}$$

Para comparação, fazendo-se a relação da Equação 30 entre modelo e protótipo, vem:

$$\frac{\left[ \sum_{D_{mi}}^{D_{ms}} G_{mm} \times f \times t_{DH} = \left[ \frac{(\gamma_s - \gamma_a) \times \pi}{4 \times Q \times \mu \times f^{9/2}} \right]^{1/2} \times \frac{D_{mi}^2}{2} \times F\left(\frac{D_{ms}}{D_{mi}}\right) \right]_m}{\left[ \sum_{D_{mi}}^{D_{ms}} G_{mm} \times f \times t_{DH} = \left[ \frac{(\gamma_s - \gamma_a) \times \pi}{4 \times Q \times \mu \times f^{9/2}} \right]^{1/2} \times \frac{D_{mi}^2}{2} \times F\left(\frac{D_{ms}}{D_{mi}}\right) \right]_p} \Rightarrow$$

$$\frac{G_{mmm}}{G_{mmp}} = \sqrt{\frac{k_{rm}}{k_{rp}}} = \frac{\sum_{D_{mi}}^{D_{ms}} D_{mim}^2 \times F\left(\frac{D_{msm}}{D_{mim}}\right)}{\sum_{D_{mi}}^{D_{ms}} D_{mim}^2 \times F\left(\frac{D_{msm}}{D_{mim}}\right)} \times \sqrt{\frac{Q_p}{Q_m}} = \frac{(0,05)^2 \times 4,3 + (0,18)^2 \times 0,01}{(1)^2 \times 0,01} \times 5,56 \Rightarrow$$

$$k_{rp} = 0,0264 \times k_{rm}$$

Esses resultados são interessantes por serem da mesma ordem e obtidos a partir de modelos de cálculo diferentes.

## VI.6 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DAS PLACAS PARALELAS

Para análise tem-se placas planas paralelas com  $a = 2,75cm$  e  $b = 18cm$  no MFDML e  $a = 2,4cm$  e  $b = 100cm$  no SFML. A vazão varia de 160 a 240  $m^3/m^2/dia$  para o MFDML e de 240 a 400  $m^3/m^2/dia$  para o SFML. Uma exemplificação de cálculo está disposta a seguir, bem como a Tabela 14 indicando as relações entre a partícula analisada e os ensaios em *jar-test* para cada situação.

$$Q_p = 160m^3 / m^2 / dia \text{ no MFDML.}$$

$$Q = 5,817 \times 10^{-5} m^3 / s \Rightarrow V_{em} = 1,796 \times 10^{-3} m / s$$

Calculando-se

$$\frac{10^{-2} \times x}{D_c \times \text{Re}} = \frac{10^{-2} \times 1,16}{\frac{\rho_a \times V_{em} \times D_c^2}{\mu}} = \frac{10^{-2} \times 1,16}{\frac{1000 \times 1,796 \times 10^{-3}}{10^{-3}} \times \left( \frac{4 \times (0,18 \times 0,0275)}{(2 \times (0,18 + 0,0275))} \right)^2} = 0,003$$

$$\frac{b}{a} = \frac{0,18}{0,0275} = 6,54$$

para  $x = 1,16m$  - final do duto – é possível observar, através dos gráfico das figuras 09 a 11, relacionados ao desenvolvimento do perfil de velocidades, que praticamente haverá a manutenção da velocidade média ao longo do comprimento das placas.

Partindo-se dessa situação, procede-se o cálculo do número de Reynolds para o tamanho de partícula que se deseja remover. Sabendo-se que  $\rho_s = 2630 \text{kg} / \text{m}^3$ , que as menores partículas observada no teste de granulometria da argila utilizada no preparo de água bruta tem  $d_p \cong 0,075 \text{mm}$ , vem:

$$\text{Re} = 0,374; C_D = 64,17$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4 \times g \times (\rho_s - \rho_a) \times d_p}{3 \times C_D \times \rho_a}} = \sqrt{\frac{4 \times 9,81 \times (2630 - 1000) \times 0,000075}{3 \times 64,17 \times 1000}} = 0,005 \text{m} / \text{s} \approx 30 \text{cm} / \text{min}.$$

O valor de  $C_D$  e  $V_s$  altos ocorrem devido ao baixo Re em função de a partícula, muito pequena, em análise possuir  $\rho_s$  alto e estar sendo analisada de forma de forma discreta e não como floco.

Dessa maneira, partindo-se da Figura 20 e sabendo-se que a velocidade vertical da partícula é dada pela Equação 75 e a horizontal pela Equação 74, vem:

$$V_{px} = V_e \times \cos \theta = 1,796 \times 10^{-3} \times \cos 60^\circ = 0,898 \times 10^{-3} \text{m} / \text{s}$$

$$V_{pz} = V_e \times \text{sen} \theta - V_s = 1,796 \times 10^{-3} \times \text{sen} 60^\circ - 0,005 = -3,44 \times 10^{-3} \text{m} / \text{s}$$

Agora, sendo  $\theta_d = 57,693$  e calculando-se  $\theta_p = -75,360^\circ$ , verifica-se que haverá remoção da partícula analisada.

**Tabela 14:** Comparação entre a velocidade de sedimentação calculada ( $V_{sc}$ ) e dos *jar-test* ( $V_{sjt}$ )

MFDML			
Taxa ( $m^3/m^2/dia$ )	160	200	240
$V_{sc}$ (cm/min.)	30	30	30
$V_{sjt}$ (cm/min.)	0,35	0,44	0,54
SFML			
Taxa ( $m^3/m^2/dia$ )	240	320	400
$V_{sc}$ (cm/min.)	30	30	30
$V_{sjt}$ (cm/min.)	0,91	1,22	1,56

Pode-se observar na Tabela 14 altas velocidade de sedimentação da partícula discreta contra baixas velocidades dos *jar-test* em que é possível verificar que as placas paralelas do MFDML e SFML não seriam suficientes para remover as partículas simuladas nos ensaios estáticos, o que é possibilitado pela formação da manta de lodo.

## VII - COMENTÁRIOS

### VII.1 - SOBRE OS ENSAIOS EM *JAR-TEST*

Os ensaios em *jar-test* mostraram um bom desempenho do polímero C utilizado como coagulante, assim como fora previsto em função de resultados anteriores.

Esses ensaios possuem uma lógica simples, contanto útil e eficaz para determinação da dosagem no MFDML e SFML, as quais tiveram o mesmo perfil conforme taxa de aplicação e turbidez da água bruta, tendo o protótipo menores dosagens em relação ao modelo.

Havia vezes que eram necessários alguns poucos ajustes na quantidade de argila adicionada na preparação da água bruta, pois a água apresentava algumas leves variações de turbidez inicial (modificação de  $T_0$ ).

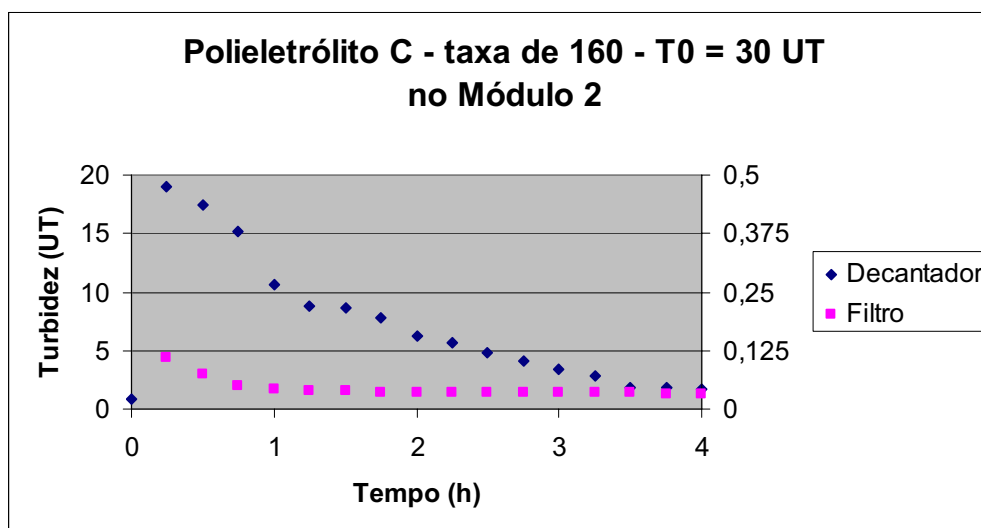
E, uma vez ter sido verificado, como se esperava, que a turbidez e a dosagem para a água bruta sintética e a natural apresentarem-se diferentes – ver anexos 01 a 100 e 204 a 206 – seria importante empreender estudos com outros tipos de águas brutas.

## VII.2 - SOBRE OS ENSAIOS NO MFDML

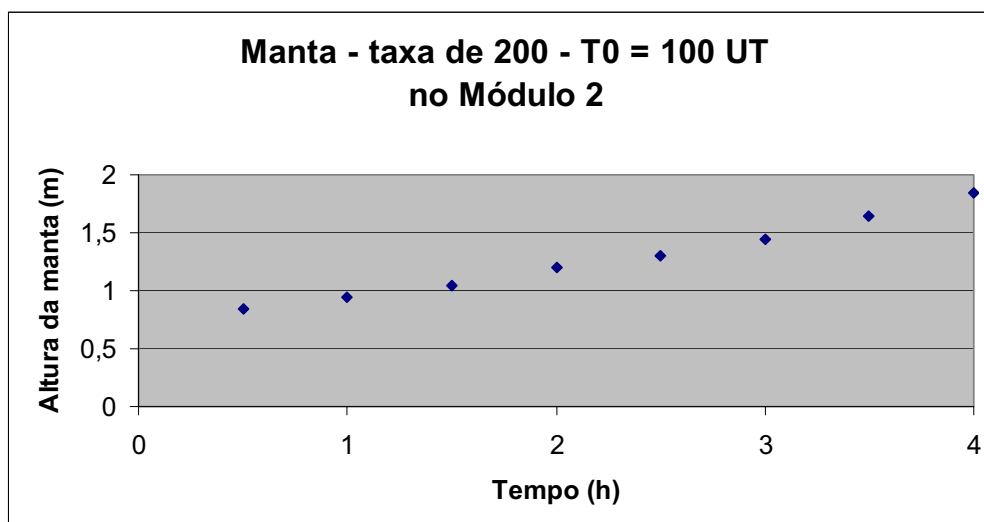
Os ensaios realizados no MFDML tiveram resultados coerentes com os ensaios em *jar-test* sanadas algumas falhas no procedimento de sua realização, como ajuste da dosagem e direcionamento do gotejamento de coagulante para o vórtice de entrada da água bruta na caixa medidora de vazão.

Na fase de testes com turbidez variando de forma discreta (3 a 100 uT) a dificuldade de se ajustar a dosagem de coagulante nos momentos de aumento da turbidez mostrou a necessidade de ao menos 30 min. para o sistema funcionar normalmente em comparação com os ensaios em *jar-test* (tempo do ajuste da dosagem), evidenciando, assim, a importância de se trabalhar o sistema de dosagem automatizado em função da qualidade da água bruta para assegurar a qualidade da água decantada.

De forma geral a formação da manta de lodo no MFDML torna-se importante por se demonstrar diretamente proporcional a um melhor desempenho do equipamento quanto à remoção de turbidez, como pode ser observado pela comparação entre as figuras 31 e 32 de um ensaio realizado no modelo.



**Figura 31:** Ensaio no Módulo Decanto Flocculador à taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $100\text{uT}$



**Figura 32:** Altura da Manta para taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $100\text{uT}$

Dessa maneira torna-se importante a aplicação do modelo numérico formulado para a formação da manta nas diversas situações já obtidas de forma a se poder estimar, ajustar e comparar a formação da mesma no SFML (protótipo). Isso foi melhorado através do ajuste de  $\rho_p$ , obtido da caracterização da argila, bem como dos fatores de ajuste aplicados às turbidez de entrada e saída do MFDML.

No entanto, é ainda possível observar-se diferenças entre os cálculos e o experimental, o que se torna coerente, em função de no início dos ensaios a manta estar menos densa e no final mais densa, bem como a densidade de referência ter sido feita para uma manta densa e para um único ponto (interface floculador/prolongador).

Assim, apesar de mais real, essa medida é feita a em um único ponto, sendo de caráter qualitativo. Isso porque uma maior quantidade de argila fica retida nas camadas inferiores (manta mais densa) e uma menor nas superiores (manta menos densa), enquanto a amostra é feita num ponto fixo.

Uma análise dessa variação na densidade conforme altura da manta pode ser orientada por teorias de mecânica dos solos e do leito expandido tirada na prática com amostradores colocados na altura do MFDML seria importante para determinar, de forma mais precisa, a densidade da manta de sistemas floculadores de manta de lodo em coluna. Essa expectativa poderá contar com as observações possibilitadas pelos anexos 161 a 178 e 179 a 190.

O modelo não foi aplicado aos testes no SFML em função de praticamente não se ter observado formação de uma manta densa nos ensaios realizados e de não se ter caracterizado a

porção sólida e dissolvida que ficava retida no floculador.

### VII.3 - SOBRE OS ENSAIOS NO SFML

Os ensaios no SFML contaram com uma etapa de filtração que não era capaz de absorver toda a vazão gerada. Esse fato era conhecido anteriormente aos ensaios, uma vez não ter sido possível (financeiramente) uma constituição correta dos filtros em termos de carga e, também, das alturas das camadas de areia, o que não impediu que essa etapa fosse testada para comprovação conjunta da qualidade efluente aos filtros (turbidez freqüentemente menor que 0,1uT), conforme anexos 207 a 209.

Os filtros trabalharam com carga e vazão variáveis, e com um retorno para o leito de secagem, o qual absorvia a vazão excedente.

### VII.4 - SOBRE OS ESTUDOS DE QUANTIFICAÇÃO DA MANTA

A quantificação da altura da manta foi feita em acordo com a Equação 56, em função de a manta se manter acima do encontro do jato de entrada com as paredes do floculador - Ver figuras 13, 14, 16 e 17. Para cálculo utilizou-se  $d = 0,0627\text{m}$  (altura de 15cm) e  $b = 0,08496x(h_m+0,15) + 0,05$  m (para  $h_m$  em m), sendo b e d em função da inclinação da peça piramidal de base 5cm e boca de 0,18cm de lado.

Como complemento para as primeiras análises, considerou-se um X com o qual obtinha-se valores coerentes de altura da manta no final dos ensaios – momento em que a mesma apresenta menores variações quanto à densidade, por estar mais bem formada. Um fator relevante, é que a obtenção de  $h_m$  pela Equação 58 é iterativa, pelo fato da mesma depender de b que, por sua vez, também depende de  $h_m$ .

Essas análises partiram dos formulários dos anexos de 019 a 036, obtidos em ensaios no MFDML e estão descritas através dos formulários e figuras dos anexos de 161 a 202.

O modelo teórico apresentado teve boa aproximação, levando-se em consideração que no início dos ensaios a manta tem uma menor densidade - e por esse motivo se apresenta mais expandida que o modelo teórico – diferentemente do final – ponto pelo qual se calibrou X - em que a manta tem um perfil visual mais denso e constante.

Essas simulações, no entanto, foram refeitas com um  $\rho_p = 2630$  g/L (obtido em ensaio granulométrico da argila utilizada) e depois, utilizando-se os fatores de ajustes para a quantidade

de argila, visou-se obter  $X$ , a fração em massa de argila na manta, e compará-la com outro  $X$  obtido de ensaios com manta bem formada, gerando um fator de erro (fer) entre  $X$  calculado e  $X_m$  obtido de uma manta bem formada em ensaio no MFDML para cada taxa de aplicação. De forma geral, nota-se que fer cresce com o tempo e com a taxa de aplicação e atinge valores menores que 100% quando há argila dispersa no MFDML e maiores que 100% quando a manta torna-se mais densa do que a comparada.

Um dos fatores não levados em consideração no modelo teórico, é que há partículas que sedimentam e, num certo instante, ainda não estão contribuindo para a manta.

Assim, visto esses fatores, pode-se inferir haver um melhor estudo sobre o modelo matemático de formação da manta apresentado, de forma a adequá-lo melhor aos inícios dos ensaios, bem como um estudo da densidade da manta ao longo de sua altura, uma vez os ensaios terem sido feitos com água coletada apenas na altura de 1,38m de manta.

#### VII.5 - SOBRE OS ESTUDOS DE AUMENTO DE ESCALA

Esses estudos ainda estão em seus primórdios e apontando para uma análise de material a ser aplicado para garantir a escala do coeficiente de resistividade ou perda de carga para cálculo do gradiente de velocidades.

No entanto, o protótipo demonstrou boas correlações em termos hidráulicos comparando-se ao MFDML tanto numericamente (NSC) quanto na prática dos *jar-test* e ensaios realizados.

#### VII.6 - SOBRE A AUTOMAÇÃO

Esse item já está bem desenvolvido em termos de projeto e estudos, uma vez se conhecer a lógica de funcionamento do sistema e se ter uma arquitetura definida para o completo funcionamento de um SFML nos moldes de um PMC, no entanto a prática deverá ser desenvolvida em estudos posteriores.

Assim, foi desenvolvida uma arquitetura visando obter-se um sistema capaz de se auto-conduzir nos processos internos, apenas com monitoramento e ajustes externos de forma integrada conforme se pretenda.

O trabalho envolveria a implantação da automação completa da dosagem de coagulante, importante para avanços no estudo do comportamento do módulo para turbidez



variando continuamente. No entanto, a automação é dependente de recursos financeiros e deverá ser testada futuramente seguindo os indicativos do Apêndice 03.

## VII.7 - SOBRE O GRADIENTE DE VELOCIDADE MÉDIO E AS PLACAS PARALELAS

A literatura sobre cálculo de gradientes de velocidade apresenta bases teóricas fortes. No entanto, a aplicação prática apresenta distorções em relação ao volume considerado na dissipação da energia. Em termos gerais, mais estudos deveriam ser empreendidos na determinação da potência dissipada no volume interno e no externo da camada limite quando da aplicação de jatos sucessivos, uma vez ter sido possível observar que há uma grande predominância da perda no interior da camada limite, e uma menor participação da camada externa formando, inclusive, uma zona morta.

As atuais aplicações de determinação da velocidade de sedimentação é a necessidade de se empreender estudos teóricos e práticos do efeito do gradiente de velocidades que ocorrem entre as paredes e a região próxima às paredes das placas paralelas, uma vez poder-se observar não ser suficiente que as partículas floculentas encontrem as paredes do decantador para sedimentar continuamente, havendo ressuspensão. A esse respeito pode-se observar que há uma floculação adicional e que há uma sedimentação sem ressuspensão apenas após a partícula floculenta atingir um tamanho em que ela possa sedimentar ou permanecer em repouso em meio ao escoamento. Ainda, observou-se que a contínua deposição de partículas floculentas na parte inferior das placas provoca desprendimento e arraste dessas partículas a partir de um dado momento, prejudicando substancialmente a qualidade da água decantada, provavelmente em função do afunilamento da seção de escoamento.

Ao se fazer uma análise utilizando-se a velocidade de sedimentação dos *jar-test* é verificada a não remoção das partículas conforme se desejava, o que, de certa forma torna-se uma auto-crítica à metodologia desenvolvida para os ensaios estáticos deste trabalho. Por outro lado, a verificação prática de que é possível chegar-se a resultados muito próximos entre os ensaios estáticos, MFDML e SFML se explica pelo fato de haver partículas de tamanhos menores que são favorecidas pela manta formada no floculador, a qual contribui com a formação de flocos maiores conforme o aumento de sua densidade e de sua altura.

## VII.8 - GERAIS

O trabalho foi desenvolvido com o máximo de empenho em tornar o MFDML em um SFML, em escala aplicativa, tornando possível a utilização dos conhecimentos até então obtidos pela população e, assim, atingir o verdadeiro objetivo das pesquisas de cunho científico-tecnológico, como é o caso.

As questões voltadas à implementação da automação na forma proposta do Apêndice 03, seguindo os passos de operação do MFDML e confirmadas na operação do SFML são de grande importância e se tornam o próximo passo na evolução do SFML, no entanto, em termos tecnológicos apenas, uma vez os desenvolvimentos básicos, que são os controladores lógicos programáveis, o controle via Web integrado e a lógica da programação já terem sido desenvolvidos, restando a aplicação para o caso.

Nesse projeto, a dificuldade em obter recursos de instituições de fomento não foi limitante para comprovação de uso do SFML e de toda a metodologia desenvolvida para cálculo de gradientes e análise em *jar-test*. Porém, a implantação da automação certamente contará com ajustes, especialmente em termos de calibração de sinais, conforme comunicado interno de Jean Marcos Ribeiro, doutorando em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-SP.

## VIII –DISCUSSÕES

### VIII.1 - SOBRE OS ENSAIOS EM *JAR-TEST*

Esses ensaios mostram a dosagem de coagulante mais econômica para sistemas de tratamento com floculador de manta de lodo, em diversas situações de água bruta.

Os ensaios realizados foram feitos para tempos de detenção e velocidade de sedimentação muito pequenos.

Com a realização de ensaios de bancada é possível determinar a viabilidades técnica e econômica do SFML desenvolvido.

Também com esses testes é possível elaborar curvas de dosagem, facilitando a automação dos sistemas de tratamento.

## VIII.2 - SOBRE OS ENSAIOS NO MFDML

Todos os ensaios no Módulo procederam-se de forma a identificar distúrbios em relação aos ensaios em jar-test (verificar observações nos formulários em anexo) para ajustes posteriores – conforme observações dos anexos 019 a 036 e 105 a 110.

Foi possível verificar a aplicação de baixos tempos de detenção em função da formação da manta, a qual possibilita uma floculação adicional que aumenta a velocidade de sedimentação das partículas.

Os ensaios no MFDML possibilitam verificar as limitações e potencialidades do sistema para tratar águas de alta e baixa turbidez. As águas de alta turbidez operam a melhor dosagem na coagulação por varredura e as de baixa turbidez na adsorção e neutralização de cargas e adsorção e formação de pontes (conforme o tipo de coagulante e auxiliar de coagulação).

Também, dado o bom comportamento do filtro – ver anexos 019 a 036 e 105 a 111 – a água mostra estar coagulada de forma eficiente ao passar pelo MFDML, mesmo para águas de baixa turbidez, tornando o sistema interessante para aplicação em locais de filtração direta, como auxiliar, para aumentar as carreiras de filtração ou diminuir a quantidade de filtros.

## VIII.3 - SOBRE OS ENSAIOS NO SFML

Os ensaios realizados no protótipo se identificaram bem com os *jar-test* realizados com água do Lago do Ipê, local onde foi testado.

Os bons resultados obtidos a tempos de decantação da ordem de 10 vezes menor que os sistemas existentes, de  $40\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  para  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , mostram a aplicabilidade da tecnologia.

A formação de manta de lodo densa não ocorreu durante os ensaios. Porém, o avanço da turbidez das torneiras colocadas ao longo da altura do SFML mostram, conforme observa-se nos ensaios com o MFDML, uma retenção crescente de sólidos no floculador, a qual avança na formação de manta.

A comprovação da utilização da metodologia para cálculo de gradientes de velocidade do SFML para ensaios em *jar-test* se torna evidente, uma vez obter-se águas decantadas e filtradas muito semelhantes, como pode-se observar nos anexos 204 a 206. Isso demonstra que a pesquisa atingiu o objetivo principal para casos aplicativos.

#### VIII.4 - SOBRE OS ESTUDOS DE QUANTIFICAÇÃO DA MANTA

O modelo matemático desenvolvido apresentou-se coerente e com boa precisão desde que seja aplicado com a turbidez ou densidade média correta da manta.

#### VIII.5 - SOBRE OS ESTUDOS DE FORMAÇÃO DA MANTA

A turbidez média da manta e, conseqüentemente, a sua densidade média variam ao longo de sua altura conforme a taxa de aplicação e turbidez da água bruta, conforme o fator erro calculado nos anexos 179 a 202 demonstra. Também, a densidade da manta varia ao longo de sua altura.

A manta forma-se com maior intensidade apenas para turbidez maior que 30uT, conforme o observado nos estudos com o MFDML, em que o mecanismo de coagulação é, predominantemente, a varredura.

Para turbidez menor que 30uT predomina o mecanismo de neutralização-desestabilização de cargas em que a responsabilidade de remoção fica voltada à filtração. No entanto, é perceptível a formação de manta mesmo para águas de 10uT, dependendo da taxa de aplicação e tempo de ensaio, uma vez as partículas retidas nas placas paralelas contribuirão para uma floculação adicional no floculador e assim, com o tempo, forma-se a manta e há uma maior remoção de turbidez.

Dessa maneira, a formação de manta não é definitiva para que o sistema funcione, desde que se tenha consciência de que o filtro estará mais sobrecarregado em relação aos casos em que há formação de manta.

A vantagem de utilização do sistema para casos de baixa turbidez consiste no fato de se conseguir uma água decantada bem coagulada e se poder enfrentar efeitos eventuais ou sazonais de elevação de turbidez com tranqüilidade em relação aos filtros, fato esse que é propulsor da concepção de grande parte das ETA no Brasil.

#### VIII.6 - SOBRE OS ESTUDOS DE AUMENTO DE ESCALA

O resultado obtido da comparação entre as escalas modelo e protótipo mostra uma correlação qualitativa correta, com  $k_{rp}$  menor que  $k_{rm}$  e, uma correlação quantitativa da mesma ordem, podendo-se inferir que são inerentes às diferenças entre o modelo de cálculo proposto neste trabalho e o modelo utilizado para comparação.

Os apontamentos de estudo de  $k_p$  são evidentes na aplicação de sistemas reais dados os estudos iniciais com adimensionais apresentar diferenças entre o MFDML e o SFML para essa variável, a qual indica as perdas de carga hidráulica no sistema.

A construção do SFML de 1x1m teve o objetivo de se testar um protótipo de área unitária para posteriormente obter-se uma unidade modular (PMC) facilitando, assim, os cálculos e quantificações do uso, segurança, confiabilidade e sustentabilidade de uma possível aplicação real. Torna-se essa a justificativa de se trabalhar com uma escala não inteira ( $1^2:0,18^2$ ) na concepção do SFML em relação ao MFDML.

### VIII.7 - SOBRE A AUTOMAÇÃO

O avanço nesse tópico vem estimulando a adequação do SFML às tecnologias de ponta para controle industrial, além de proporcionar a integração dos conhecimentos entre as engenharias civil e elétrica no tocante ao Tratamento de Águas de Abastecimento.

Todas as montagens arquitetônicas visam facilitar a compreensão das partes discretas a serem automatizadas e suas inter-relações para que no momento de suas aplicações as dúvidas sejam mínimas e a possibilidade de gerenciamento integrado seja máxima. Os Apêndices 02 e 03 mostram o aporte dado à automação do SFML para o caso de aplicação prática utilizando-se de controles a distância.

### VIII.8 - GERAIS

Os dados obtidos permitem associar o SFML a um removedor de sólidos suspensos e dissolvidos de águas, sugerindo-se o seu uso, a partir das metodologias desenvolvidas, em tratamentos auxiliares com tais objetivos, especialmente para águas com turbidez maior que 30uT.

No entanto, a gama de afirmativas deste trabalho servem apenas para as águas brutas testadas, lembrando-se que para todo e qualquer tipo de sistema de tratamento deve-se levar em consideração esse fato.

A aplicação real do SFML do tipo coluna torna-se evidente uma vez terem potencial técnico de flexibilidade de uso em diversas situações, como locais de alta ou baixa turbidez, além de estarem aptos a serem construídos e automatizados em moldes modernos e com alta produtividade.

## IX – CONCLUSÕES

Os ensaios em *jar-test* permitem a determinação, com correlação de 1:1, das dosagens de coagulante para aplicação no MFDML e no SFML.

Os ensaios no MFDML e SFML mostraram-se semelhantes e em conformidade com os *jar-test*.

A formação de manta é interessante para um melhor desempenho do sistema de tratamento desenvolvido.

A etapa de filtração utilizada após a passagem da água pelo SFML garante a qualidade efluente desejada desde o início dos ensaios.

É possível a utilização do SFML no tratamento ou como auxiliar na remoção de sólidos suspensos e dissolvidos.

A metodologia de cálculo para quantificação da manta mostrou-se aplicável.

Os estudos com adimensionais mostraram-se coerentes com  $k_{rp}$  menor que  $k_{rm}$ .

A aplicação do SFML nos moldes de um Protótipo Modular Compacto automatizável e controlável à distância, de forma sustentável, mostrou-se interessante e necessária.

## X - RECOMENDAÇÕES

Um avanço muito importante seria melhorar a sistemática da elaboração das curvas de dosagens em *jar-test*, utilizando-se de teorias estatísticas e realização de ensaios com passos discretos menores e em uma maior gama de águas brutas.

A mesma proposta feita aos ensaios de *jar-test* é recomendada para aplicação do MFDML e SFML, com vistas a aumentar a confiabilidade científica do sistema de tratamento elaborado, uma vez diferentes tipo de água podem apresentar variações de comportamento no tratamento.

Também, melhores estudos sobre as questões ambientais e materiais para construção do SFML são de grande importância no momento da aplicação, conforme Apêndices 01 e 04.

Por fim, a recomendação mor é o desenvolvimento da automação, partindo-se da arquitetura proposta no Apêndice 03, baseada na revisão bibliográfica do Apêndice 02.

## XI - BIBLIOGRAFIA BÁSICA

ADLER, P. M. (1981a) - **Streamlines in and around porous particles**. *J. Coll. Interface Sci.* 81, 531-535.

ALCÓCER, C. N. (1999) – Influência das características hidráulicas do escoamento laminar na sedimentação de partículas discretas em dutos quadrados e retangulares. 1999. Tese (Doutorado) – EESC-USP, São Carlos.

ALCÓCER, C. N. *et al.* (2000) - Investigação experimental sobre a sedimentação de partículas em dutos quadrados e retangulares usados na decantação de alta taxa. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII, Porto Alegre, RS, Anais em CD-ROM.

ADLER, P. M. (1981b) - **Heterocoagulation in shear flow**. *J. Coll. Interface Sci* 83, 106-115.

ALMEIDA, F. (2005a) – In: <http://www.cebds.org.br/cebds/noticias.asp?area=7&TD=1>, acesso em 12/07/2005.

ALMEIDA, R. (2005b) – In: <http://www.cebds.org.br/cebds/noticias.asp?area=7&TD=1>, acesso em 12/07/2005.

ALMEIDA *et al.*, J. F. A. (2005c) – **Avaliação do desempenho de Estações de Tratamento de Água operadas por companhia Estadual de saneamento e autarquias municipais** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXIII, 19 a 23 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM.

ARCE, M. (2003) – **Inovação Tecnológica Ganha Espaço no Setor de Saneamento Básico** – In: Revista Recursos Hídricos. Associação dos Engenheiros do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo, 23p.

ARGAMAN, Y. e KAUFMAN, W. J. (1970) - **Turbulence and flocculation**. *J. Sanit.*

*Eng. Div. ASCE 96, 223.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1989) - **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**, NB 592. ABNT. Rio de Janeiro-RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1992) - **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. NBR 12216. ABNT. Rio de Janeiro-RJ. 19p.

BANDI, S. D. (1997) – **Soldagem dos aços inoxidáveis** - São Paulo-SP. Núcleo de Desenvolvimento Técnico Mercadológico do Aço Inoxidável, 43 p.

BATALHA, B. L. (1977) – **Controle da qualidade da água para consumo humano**; bases conceituais a e operacionais por Ben-Hur Luttermbark e Antônio Carlos Parlatore. São Paulo, CETESB. 198p.

BAUER, F. L. A. (1999) – **Materiais de construção**. 5ed. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro-RJ, Vol 2, 504p.

BAUER, F. L. A. (2000) – **Materiais de construção**. 5ed. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro-RJ, Vol 1, 447p.

BHASKAR, G. V., CAMPENELLA, O. H. e MUNRO, P. A. (1993) - Eject of agitation on the coagulation time of mineral acid casein curd: application of Smoluchowski's othokinetic aggregation theory. *Chem. Eng. Sci.* 48, 4075-4080.

BRINKMAN, H. C. (1947) - A calculation of the viscous forces extended by a flowing fluid on a dense swarm of particles. *Appl. Sci. Res. A* 1, 27-34.

BRYAN L.A., BRYAN E.A. (1997) - **Programmable controllers: theory and implementation** – 2 ed, *Industrial Text Company editora*.

CALABRESE, R. V., WANG, M. H., ZHANG, N., e GENTRY, J. W. (1992) - **Simulation and analysis of particle breakage phenomena**. *Trans. IChemE.* 70(A), 189-191.

CAMP, T. R. e STEIN, P. C. (1943) - **Velocity gradients and internal work in fluid motion**. *J. Boston Soc. Civ. Eng.* 30, 219-237.

CAMP, T. R. (1946) – **Sedimentation and the design of settling tanks**. *ASCE Transactions*, v. 111, p. 895-936.

CAMP, T. R. (1953) – **Studies of sedimentation basin design**. *Sewage and Industrial Wastes*, v. 25, n. 1.



CASSINI, S. T. *et al.* – Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás - Rima, Rio de Janeiro, 210 p.

CASSON, L. W. e LAWLER, D. F. (1990) - Flocculation in turbulent flow: measurement and modeling of particle size distributions. *J. Am. Water Works Assoc.* 63(8), 54-68.

CAVAZZANA, T. L. e MATSUMOTO, T. (2003a) – **Sistema Floculador de Manta de Lodo** - In: Sociedade Brasileira de Pesquisadores Níckeis, XI, 03 a 05 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM.

CAVAZZANA, T. L. e MATSUMOTO, T. (2003b) - **Avaliação e Aplicação dos Resultados de Jar-test no Módulo Decanto Floculador de Alta Taxa** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXII, 14 a 19 de setembro, Joinville, SC, Anais em CD-ROM.

CAVAZZANA T.L. e MATSUMOTO, T. (2004a) – **Avaliação e Aplicação dos Resultados de Jar-test no Sistema Floco Decantador de Alta Taxa** - In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, VII, 23 a 26 de junho, Taormina, Itália, Anais em CD-ROM.

CAVAZZANA, T.L. e MATSUMOTO, T. (2004b) – **Floco Decantador de Manta de Lodo no Tratamento de Água de Abastecimento** - In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL (AIDIS), XXIX, 22 a 26 de agosto, San Juan, Porto Rico, Anais em CD-ROM.

CAVAZZANA, T.L. e MATSUMOTO, T. (2004c) - **Proposta de Cálculo de Gradiente de Velocidade para Sistemas Modulares de ETAs Compactas** - In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL (AIDIS), XXIX, 22 a 26 de agosto, San Juan, Porto Rico, Anais em CD-ROM.

CAVAZZANA, T. L. e MATSUMOTO, T. (2004d) – **Ampliação de Escala de Sistema Floculador de Manta de Lodo Compacta** - In: Sociedade Brasileira de Pesquisadores Níckeis, XII, 03 a 05 de setembro, Campinas, SP, Anais em CD-ROM.

CAVAZZANA, T.L. e MATSUMOTO, T. (2004e) – **Sistema Floculador de Manta de Lodo em Aço Inoxidável no tratamento de Água de Abastecimento** - In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL, VII, 23 a 25 de novembro, São Paulo, SP, Anais em CD-ROM.

CHELLAM S. e WIESNER, M. R. (1993) - Fluid **mechanics and fractal aggregates**.

Water Res. 27, 1493-1496.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB - (2005) – **Variáveis de qualidade das águas**. In: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>. Acesso em 10/01/05.

COSTAS, M. E., MOREAU, M. e VICENTE, L. (1995) - **Some analytical and numerical solutions for colloidal aggregation with fragmentation**. *J. Phys. A Math. Gen.* 28,2981-2994.

CARBÓ, H. M. (2001) – **Aço inoxidável: Aplicações e Especificações** - São Paulo-SP. Núcleo de Desenvolvimento Técnico Mercadológico do Aço Inoxidável, 50 p.

DELICHATSIOS, M. A. e PROBSTEIN, R. F. (1974) - **Coagulation in turbulent flow: theory and experiment**. *J. Colloid Interface Sci.* 51, 394-405.

DERYAGUIN, B. V. e LANDAU, L. D. (1941) - A theory of the stability of strongly charged lyophobic sols and of the adhesion of strongly charged particles in solutions of electrolytes. *Acta Physicochim.* USSR 14, 633.

DHARMAPPA, H. B., VIGNESWARAN, S., VERINK, J. e FUJIWARA, O. (1994) – **Water treatment system design for turbidity removal simulation**. *J. Env. Eng.* 120, 900-914.

DI BERNARDO, L. (1993) - **Métodos e técnicas de tratamento de água** - 2 vol, ABES, Rio de Janeiro, 498 p.

DI BERNARDO, L. (2003) – **Tratamento de água por filtração direta** - ABES, Rima, Rio de Janeiro, 498 p.

DI BERNARDO, L. e DANTAS, A. D. (2005) - **Métodos e técnicas de tratamento de água** - 2 vol, Rima. 2ed. São Carlos, São Paulo, 1565 p.

ELMINYAWI, I. M., GANGOPADHYAY, S. e SORENSEN, C. M. (1991) - **Numerical solutions to the Smoluchowski aggregation-fragmentation equation**. *J. Coll. Interface Sci.* 144, 315-323.

FAIR, G. M. e GEMMELL, R. S. (1964) - **A mathematical model of coagulation**. *J. Coll. Sci.* 19, 360-372.

FAMILY, F., MEAKIN, P. e DEUTCH, J. M. (1986) - **Kinetics of coagulation with fragmentation: scaling behaviour and fluctuations**. *Phys. Rev. Lett.* 57, 727-730.

FUCHS, N. (1934) - Uberdie Stabilität und Autladung der Aerosole. *Z. Phys.* 89, 736-743.

FERREIRA, A.C.S.; MOTA, C.R.F.; PÁDUA, V.L. (2003) - **Relação entre Turbidez e Contagem do Fitoplâncton na Avaliação da Qualidade da Água para Consumo Humano** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXII, Joinville, SC, Anais em CD-ROM.

FOX, W. R. e MCDONALD, A. T. (1995) – Introdução à Mecânica dos Fluidos. 4 ed. Editora LTC, Rio de Janeiro, RJ. Por Eng. Alexandre Matos de Souza Melo. 662p.

GREGORY, J. (1981) - **Flocculation in laminar tube flow**. *Chem. Eng. Sci.* 36, 1789-1794.

GUILHERME, C. M. (2001) – **Comportamento do Decanto-Floculador de Manta de Lodo e Decantador de Alta Taxa no Tratamento de Água de Abastecimento** Utilizando Sulfato de Alumínio e Diferentes Polieletrólitos. Dissertação de Mestrado, UNESP/FEIS.

HAN, M. Y. e LAWLER, D. F. (1991) - Interactions of two settling spheres: settling rates and collision efficiencies. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 117, 1269-1289.

HAN, M. Y. e LAWLER, D. F. (1992) - **The (relative) insignificance of G in flocculation**. *J. Am. Water Works Assoc.* 84, 79-91.

HAN, M. Y. (1989) - **Mathematical Modelling of Heterogeneous Flocculant Sedimentation**. *Ph.D. thesis, University of Texas, Austin*.

HARRIS, H. S., KAUFMAN, W. J. e KRONE, R. B. (1996) - **Orthokinetic flocculation in water treatment**. *J. Sanit. Eng. Div. Proc. ASCE* 92(SA6), 95-111.

HIDY, G. M. e LILLY, D. K. (1965) - **Solutions of the equations for the kinetics of coagulation**. *J. Coll. Sci.* 20, 867-874.

HUDSON, H. E. (1965) - **Physical aspects of flocculation**. *J. Am. Water Works Assoc.* 57, 885-892.

JIANG, Q. e LOGAN, B. E. (1996) - **Fractal dimension of aggregates from shear devices**. *J. Am. Water Works Assoc.* 60, 1040-1046.

KIHIRA, H. e MATIJEVIC, E. (1992) - **An assessment of heterocoagulation theories**. *Adv. Coll.Interface Sci.* 42, 1-31.

KOH, P. L. T., ANDREWS, J. R. G. e UHLHERR, P. H. T. (1986) - **Floc-size distribution of Scheelite treated by shear flocculation**. *Int. J. Miner. Process.* 17, 45-65.

KRAMER, T. A. e CLARK, M. M. (1997) - **Influence of strain-rate on coagulation kinetics**. *J. Environ. Eng. ASCE* 123, 444-452.

KUSTERS, K. A., WIJERS, J. G. e THOENES D. (1991) - **Numerical particle tracking in a turbine agitated vessel**. In *Proceedings of the 7th European Conference on Mixing*, 2 Vol., Brugge, Belgium, pp. 429-441.

Kusters K. A., Wijers J. G. and Thoenes D. (1997) - **Aggregation kinetics of small particles in agitated vessels**. *Chem. Eng. Sci.* 52, 107-121.

LAI, F. S., FRIEDLANDER, S. K., PICH, J. e HIDY G. M. (1972) - **The self-preserving particle size distribution for Brownian coagulation in the free-molecular regime**. *J. Coll. Interface Sci.* 36, 395-405.

LAWLER, D. F. (1993) - **Physical aspects of flocculation: from microscale to macroscale**. *Water Res.* 27, 164-180.

LI, D. H. e GANCZARCZYK, J. (1989) - Fractal geometry of particle aggregates generated in water and wastewater treatment processes. *Environ. Sci. Technol.* 23, 1385-1389.

LI, X. e LOGAN, B. E. (1997a) - Collision frequencies of fractal aggregates with small particles by differential sedimentation. *Environ. Sci. Technol.* 31, 1229-1236.

LI, X. e LOGAN, B. E. (1997b) - Collision frequencies between fractal aggregates and small particles in a turbulently sheared fluid. *Environ. Sci. Technol.* 31, 1237-1242.

LIBÂNIO, M. e LOPES, V. C. (2005) - **Metodologia para avaliação da performance de Estações de Tratamento de Água** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXIII, 19 a 23 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM.

LIBÂNIO, M. *et al.* (2005) – **Avaliação das perspectivas de remoção de pesticidas organo clorados Estações de Tratamento de Água** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXIII, 19 a 23 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM.

LLEDO, F. S. (2003) - Estudo teórico – Experimental em Via de Determinação de uma Lei de Atrito em Escoamento de Fluidos Hiperconcentrados. Dissertação de mestrado, UNESP/FEIS.

LOPES, V. C. e LIBÂNIO, M. (2005b) - **Utilização da metodologia Delphi para definição dos fatores intervenientes no desempenho de Estações de Tratamento de Água** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXIII, 19 a 23 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM.

MAGALHÃES, G.(2005) – In: <http://www.cebds.org.br/cebds/noticias.asp?area=7&TD=1>, acesso em 12/07/2005.

MATSUMOTO, T. e GUILHERME, C. M. (2000) – **Comportamento do Decantador de Manta de Lodo e Decantador de Alta Taxa no Tratamento de Água de Abastecimento** Utilizando Sulfato de Alumínio e Diferentes Polieletrólitos - In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII, Porto Alegre, Brasil, Anais em CD-ROM.

MARANHÃO, N.; ASSAE, S. (2003) – **A Água no Século XXI** – In: Revista Recursos Hídricos. Associação dos Engenheiros do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo, 23p.

MACINTYRE, J. A. (1996) – **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. 3ed. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro-RJ, 739p.

MEAKIN, P. e ERNST, M. H. (1988) - Scaling in aggregation with breakup simulations and mean-field theory. *Phys. Rev. Lett.* 60, 2503-2506.

MICHEL, G. (1990) - **Programmable Logic Controllers – Architecture and Applications** - John Wiley & Sons.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (2000) - Portaria nº1469 de 29 de dezembro, Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (2005) - Portaria nº518 de 25 de março, Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

MIYAGI, P. E. (1996) - **Controle Programável**. São Paulo, Editora Edgard Blücher LTDA.

MUÈHLE, K. e DOMASCH, K. (1990) - **Floc Strength in Bridging Flocculation**. In **Chemical Water and Wastewater Treatment**, ed. H. H. Hahn and R. Klute. Springer-Verley, Berlin.

MUÈHLE, K. (1993) - In **Coagulation and Flocculation**, ed. B. Dobias. Marcel Dekker, New York, pp. 355-390.

MUNSON, B. R. *et al* (1997) – **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos** – 2ed. 1Vol. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo-SP, 415p.

MORAES, C. C. CASTRUCCI, P. L. (2001) - **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro, LTC editora.

NATALE, F. (2000) - **Automação Industrial**. São Paulo, Érica editora.

OGATA, K. (2002) - **Engenharia de Controle Moderno**. 4 ed., Prentice-Hall, in: [http://www.imakenews.com/gefanucbrazil/e\\_article000226471.cfm](http://www.imakenews.com/gefanucbrazil/e_article000226471.cfm).

O'MELIA, C. R. (1972) - Coagulation and Flocculation. In *Physicochemical Processes for Water Quality Control*, ed. W. J., Weber Jr. Wiley Interscience, New York.

PACHECO, T. (2004) – Sustentabilidade, meio ambiente e democracia no III FSM: visões e concepções. 1 ed., Rio de Janeiro. FBOMS/BSD.202p.

PANDOLFELLI, V. C. *et al.* (2000) – **Dispersão e empacotamento de partículas**. São Paulo: Fazendo Arte. 224p. ISBN 85-86425-15-X

PARKER, D. S., KAUFMAN, W. J. e JENKINS, D. (1972) - **Floc break-up in turbulent flocculation processes**. *J. Sanit. Eng. Pro. Div. Am. Soc. Civ. Eng.* 98 (SA1), 79-99.

PETRUCCI, E. G. R. (1978) – **Materiais de Construção**. 3 ed. Porto Alegre-RS, Editora Globo. 435p.

PULVERMACHER, B. e RUCKENSTEIN, E. (1974) - **Auto-similarity solutions of population balances**. *J. Coll. Interface Sci.* 46, 428-436.

PENG, S. J. e WILLIAMS, R. A. (1993) - Control and optimisation of mineral flocculation and transport processes using on-line particle size analysis. *Miner. Eng.* 6, 133-153.

RECURSOS HÍDRICOS (2003) – Revista. Associação dos Engenheiros do Departamento de **Águas e Energia Elétrica** de São Paulo, 23p.

RIBEIRO, J.M.S (2001) - **Automação Industrial**: Uma Proposta para Ensino no Curso de Engenharia Elétrica, Dissertação de Mestrado, FEIS/UNESP. InduSoft Web Studio Features, Student Workbook.

RAJAGOPALAN, R. (1993) - Stability of colloidal dispersions: a thermodynamic approach. *Water Sci. Tech.* 27, 117-129.

RITCHIE, A. R. (1955) - Certain aspects of flocculation as applied to sewage purification. *Ph.D. thesis, University of London*.

ROSEN, J. M. (1984) - **A statistical description of coagulation**. *J. Coll. Interface Sci.* 99, 9-19.

SATO, M. (2005) - In: <http://www.cebds.org.br/cebds/noticias.asp?area=7&TD=1>, acesso em 12/07/2005.

SACKS, M.D. – **Principles of dispersion of powders in liquids**. São Carlos: Departamento de Engenharia de Materiais/UFSCar, 1995. 99p. Apostila.

SANTOS, E. P. C. C. *et al.* (2005) – **Comparação entre os resultados de cor aparente e turbidez obtidos de ensaios de bancada e de ensaios em escala piloto** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXIII, 19 a 23 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM.

SANTOS, A. B. e MATSUMOTO, T. (2002a) - **Remoção de Cor da Água de Abastecimento em Diferentes Níveis de pH**. In: XXVIII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2002, Cancun - México. Anais do XXVIII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Cancun - México: FEMISCA/AIDIS, 2002. p.1-5.

SANTOS, A. B. e MATSUMOTO, T. (2002b) - **Aplicação de Polieletrólito em Flocculador de Manta de Lodo na Remoção de Cor no Tratamento de Águas Superficiais**. In: XXVIII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2002, Cancun - México. Anais do XXVIII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Cancun - México: FEMISCA/AIDIS, 2002. p. 1-7.

SCHLESINGER, S. (2004) – **Comércio, sociedade e meio ambiente na América Latina**. 1 ed., Rio de Janeiro. BSD e Fase. 64p.

SCHLESINGER, S. (2001) – **Indústria no Brasil: produção sustentável, consumo democrático**. Rio de Janeiro. Fase. 136p.

SECKLER, S.F.F.; LAGE, F.A.F.; MENDES, R.L.; FERNANDES, A.N., (2003) - **Remoção de Compostos Orgânicos Causadores de Gosto e Odor em Águas de Abastecimento: Aplicação de Carvão Ativado em Pó** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXII, Joinville, SC, Anais em CD-ROM.

SCHUMANN, T. E. W. (1940) - **Theoretical aspects of the size distribution of fog particles**. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* 66, 195-207.

SMOCZYNSKI, L. e WARDZYNSKA, R. (1996) - **Study on macroscopic aggregation of silica suspensions and sewage**. *J. Coll. Interface Sci.* 183, 309-314.

SMOLUCHOWSKI, M. (1917) - Versuch einer Mathematischen Theorie der

Koagulationskinetik Kolloider LoÈ sungen. *Z. Phys. Chem.* 92, 129-168.

SORENSEN, C. M., ZHANG, H. X. e TAYLOR, T. W. (1987) - **Cluster-size evolution in a coagulation-fragmentation system.** *Phys. Rev. Lett.* 59, 363-366.

SPICER, P. T. e PRATSINIS, S. E. (1996a) - Shear-induced flocculation: the evolution of floc structure and the shape of the size distribution at steady-state. *Water Res.* 30, 1049-1056.

SPICER, P. T. e PRATSINIS, S. E. (1996b) - Coagulation and fragmentation: universal steady-state particle-size distribution. *AIChE J.* 42, 1612-1620.

STRATTON, D. M., GANS, J. e WILLIAMS, E. (1994) - **Coagulation algorithms with size binning.** *J. Comput. Phys.* 112, 364-369.

SWIFT, D. L. e FRIEDLANDER, S. K. (1964) - The coagulation of hydrosols by Brownian motion and laminar shear flow. *J. Coll. Sci.* 19, 621.

TANGERINO, E.P., MATSUMOTO, T. e DALL'AGLIO SOBRINHO, (1998) - **Floculador de manta de lodo associado a decantador laminar em tratamento de água** - In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL (AIDIS), XXVI, 01 a 05 de novembro de 1998, Lima, Peru.

TEIXEIRA *et al.*, A. R. (2005a) – **Comparação do Tratamento de Água com baixa turbidez por filtração direta ascendente e descendente** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXIII, 19 a 23 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM.

TEIXEIRA *et al.*, A. R. (2005b) – **Atuação do meio filtrante na retenção de algas em filtros de escoamento ascendente e descendente utilizando a metodologia de filtração direta** - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXIII, 19 a 23 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM.

THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE (1999) – **Application for Stainless Steel in the Water Industry** - Silwood Park, Ascot, Berkshire SL5 7QN, Reino Unido. The Steel Construction Institute, 53 p.

THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE (2000) – **Steel Package Water and Waste Water Treatment Units** - Silwood Park, Ascot, Berkshire SL5 7QN, Reino Unido. The Steel Construction Institute, 53 p.

TAMBO, N. (1965) - **A fundamental investigation of floc growth (1).** *J. Jpn. Water Works Assoc.* 372, 10-19.



- TAMBO, N. (1991) - **Criteria of flocculator design**. *J. Water SRT Aqua*. 40, 97-102.
- TAMBO N. e HOZUMI, H. (1979) - **Physical Characteristics of Floccs-II. Strength of Floc**. *Water Res.* 13, 421.
- TAMBO N. e OGASAWARA, M. (1970) - **Pipe flocculator studies**. *J. Jpn. Water Works Assoc.* 426, 29-39.
- TAMBO, N. e WATANABE, Y. (1979) - **Physical characteristics of floccs. I. The density function and aluminium floc**. *Water Res.* 13, 409-419.
- THOMAS, D. N. *et al.* (1999) - **Flocculation modeling: a review**. *Water Res.* 33, 1579-1592.
- VIANNA, M. R., (1992) - **Hidráulica Aplicada às estações de Tratamento de Água** - 1 ed, Belo Horizonte – MG. Instituto de Engenharia Aplicada Editora, 344 p.
- VEERAPANENI, S. e WIESNER, M. R. (1996) - **Hydrodynamics of fractal aggregates with radially varying permeability**. *J. Coll.Interface Sci.* 177, 45-57.
- VERWEY, E. J. W. e OVERBEEK, J. Th. G. (1948) - **Theory of the Stability of Lyophobic Colloids**. Elsevier, Amsterdam.
- WIESNER, M. R. (1992) - **Kinetics of aggregate formation in rapid mix**. *Water Res.* 26(3), 379-387.
- WU, R. M. e LEE, D. J. (1998) - Hydrodynamic drag force exerted on a moving floc and its implication to free settling tests. *Water Res.* 32, 760-768l.

## XII - ANEXOS

001 a 018 - *Jar-test* para o MFDML fase 2

019 a 036 - Ensaio no MFDML fase 2

037 a 100 - *Jar-test* para o MFDML fase 3

101 a 104 - Gráficos do perfil de dosagem no MFDML

105 a 110 - Ensaio no MFDML fase 3

111 a 158 - *Jar-test* para o SFML

159 e 160 - Gráficos do perfil de dosagem no SFML

161 a 178 - Planilhas e gráficos de análise da altura da manta no MFDML

179 a 190 - Planilhas de análise da quantidade de argila na manta sem ajuste no MFDML

191 a 202 - Planilhas de análise da quantidade de argila na manta com ajuste no MFDML

203 Ensaio - de granulometria conjunta da argila utilizada para preparo de água bruta

204 a 206 - *Jar-test* para o SFML com água do Ipê

207 a 209 - Ensaio no SFML

## **APÊNDICES**

AP01 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MEIO AMBIENTE

AP02 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE AUTOMAÇÃO

AP03 - PROPOSTA DE UMA ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO

AP04 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

As referências bibliográficas dos apêndices estão dispostas junto ao item Referências Bibliográficas no corpo do trabalho.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP-Ilha Solteira

C377a Cavazzana, Tarso Luis  
Ampliação de escala de um floco decantador de manta de lodo no tratamento de água de abastecimento / Tarso Luis Cavazzana. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2006  
122 p. : il. + anexo  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2006  
Orientador: Tsunao Matsumoto  
Bibliografia: p. 110-120  
1. Floco-Decantador. 2. Tratamento de água. 3. Ampliação de escala. 4. *Manta de lodo.*



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Ampliação de Escala de um Floco Decantador de Manta de Lodo no Tratamento de Água de Abastecimento

**AUTOR:** TARSO LUIS CAVAZZANA  
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. EDSON PEREIRA TANGERINO  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO LIBÂNIO  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos/Universidade Federal de Minas Gerais

Data da realização: 26 de maio de 2006.



---

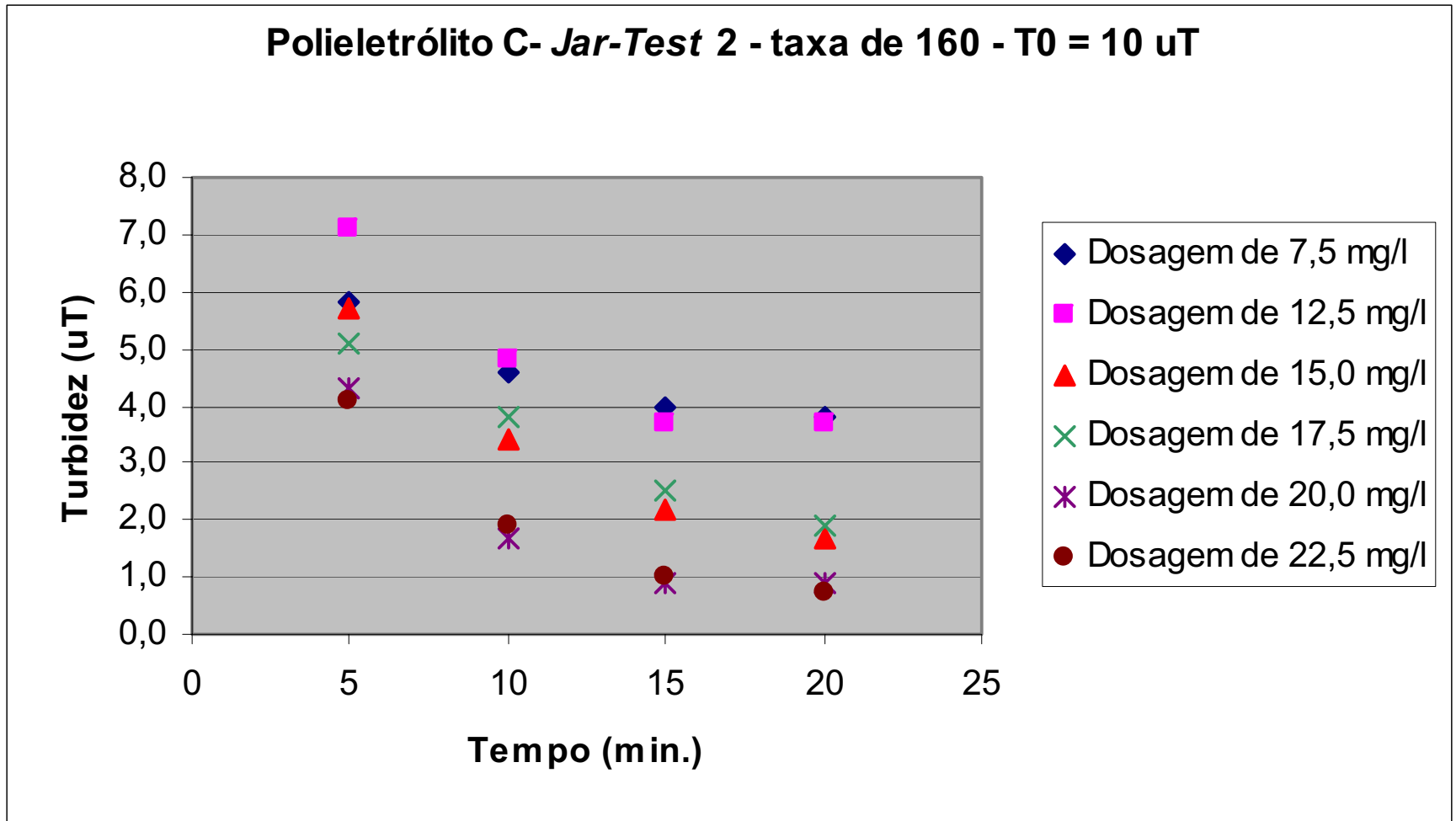
Presidente da Comissão Examinadora  
Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO

ANEXO 001

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 15 /07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 10 uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 24 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0		
5		5,8	7,1	5,7	5,1	4,3	4,1		
10		4,6	4,8	3,4	3,8	1,7	1,9		
15		4,0	3,7	2,2	2,5	0,9	1,0		
20		3,8	3,7	1,7	1,9	0,9	0,7		
Dosagem (mg/l)		7,5	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5		

**Formulário 01:** Jar-test para o MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 002



**Figura 33:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 10uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

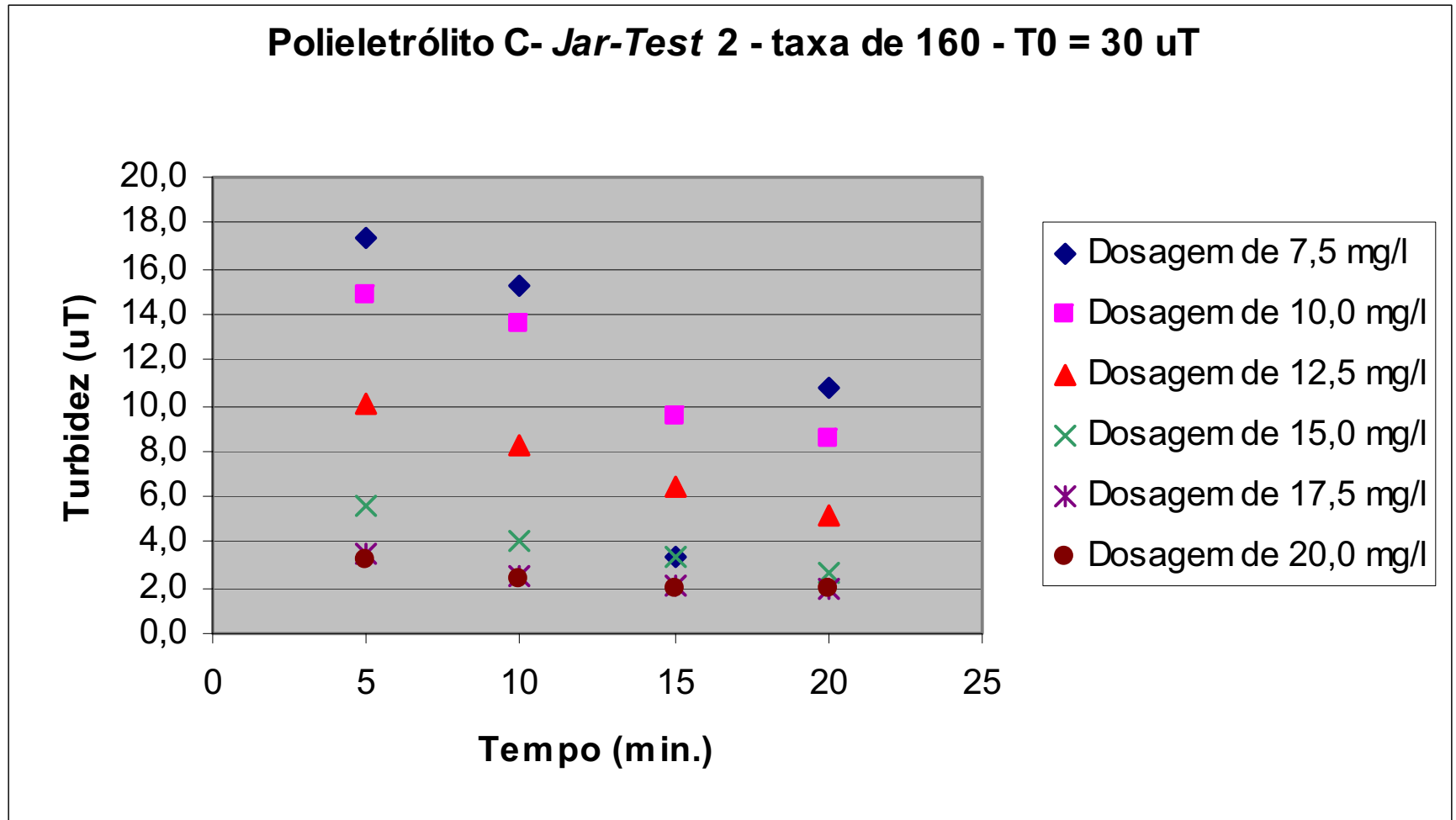


ANEXO 003

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 15/ /07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 30 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,5					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm	Temperatura: 22 °C					
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		17,3	14,8	10,1	5,6	3,5	3,2		
10		15,2	13,6	8,3	4,0	2,5	2,4		
15		3,3	9,5	6,4	3,3	2,1	2,0		
20		10,7	8,6	5,2	2,7	2,0	1,9		
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 02:** *Jar-test* para o MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 004



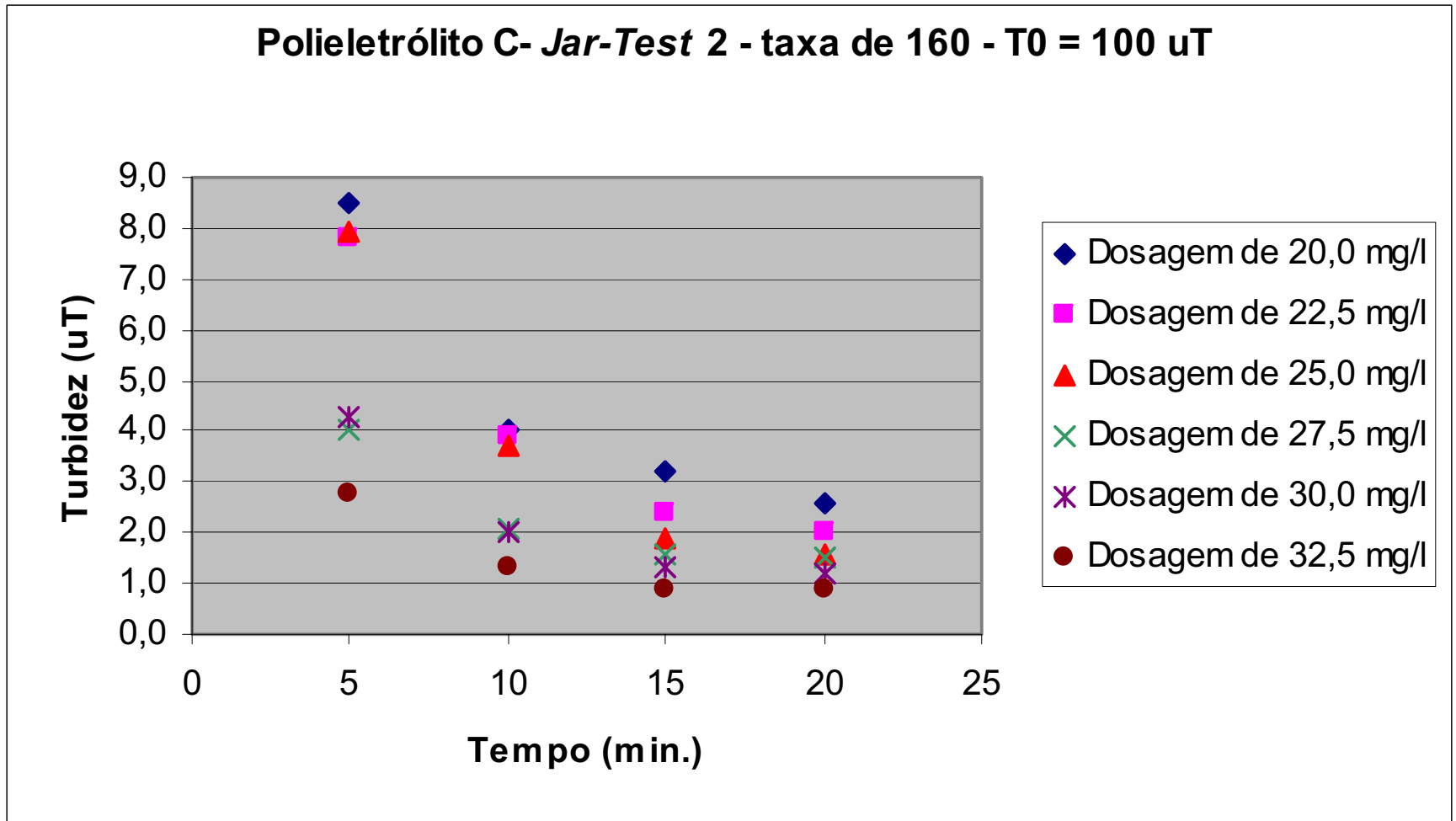
**Figura 34:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 30uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 005

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 16 /07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 9,0 ml.	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 100 uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 23 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0		
5		8,5	7,8	7,9	4,0	4,3	2,8		
10		4,0	3,9	3,7	2,1	2,0	1,3		
15		3,2	2,4	1,9	1,6	1,3	0,9		
20		2,6	2,0	1,6	1,5	1,2	0,9		
Dosagem (mg/l)		20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5		

**Formulário 03:** *Jar-test* para o MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 006



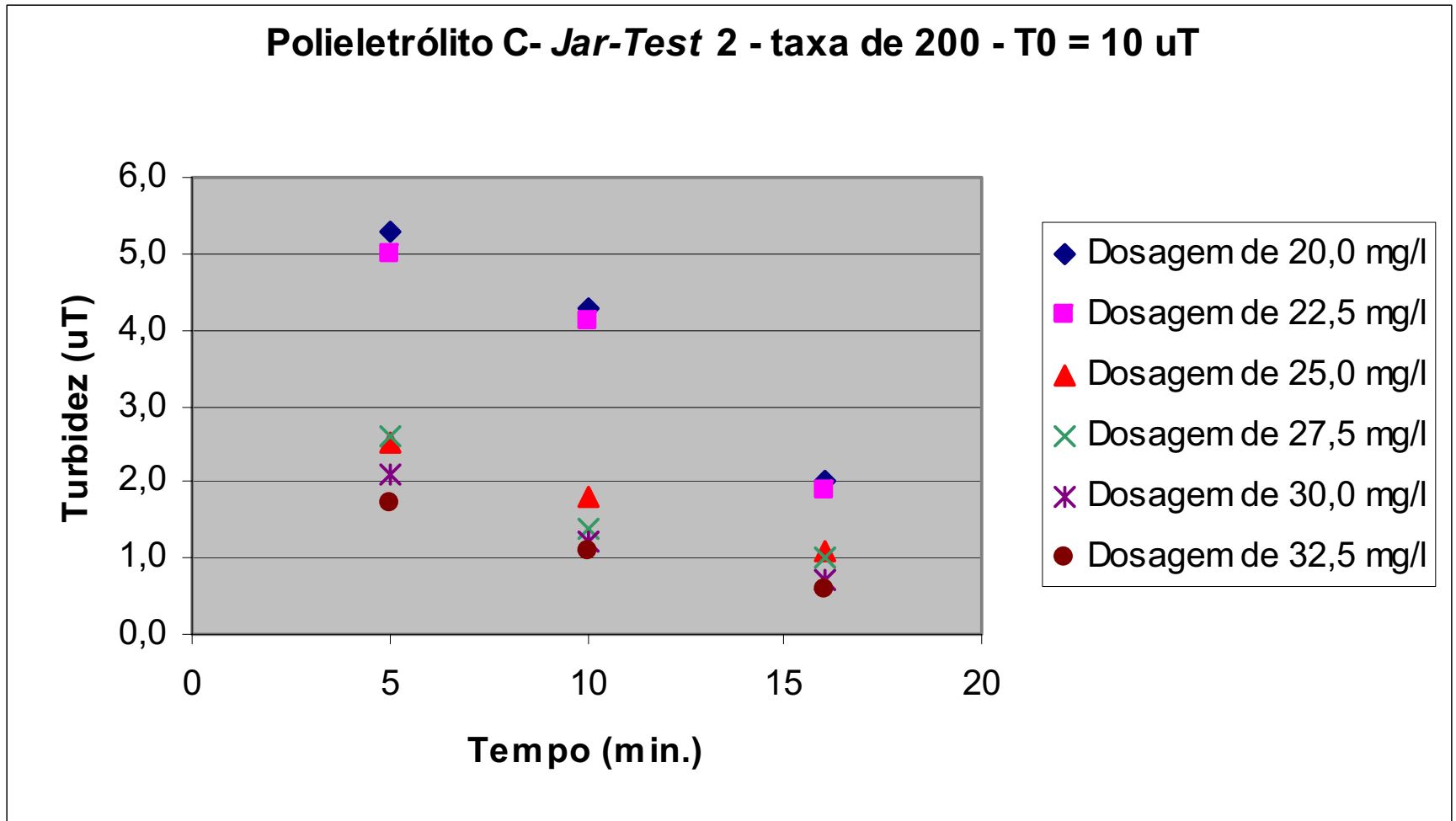
**Figura 35:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 007

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 15/07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 8,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 10 uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 23 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0		
5		5,3	5,0	2,5	2,6	2,1	1,7		
10		4,3	4,1	1,8	1,4	1,2	1,1		
16		2	1,9	1,1	1,0	0,7	0,6		
Dosagem (mg/l)		20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5		

**Formulário 04:** *Jar-test* para o MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 008





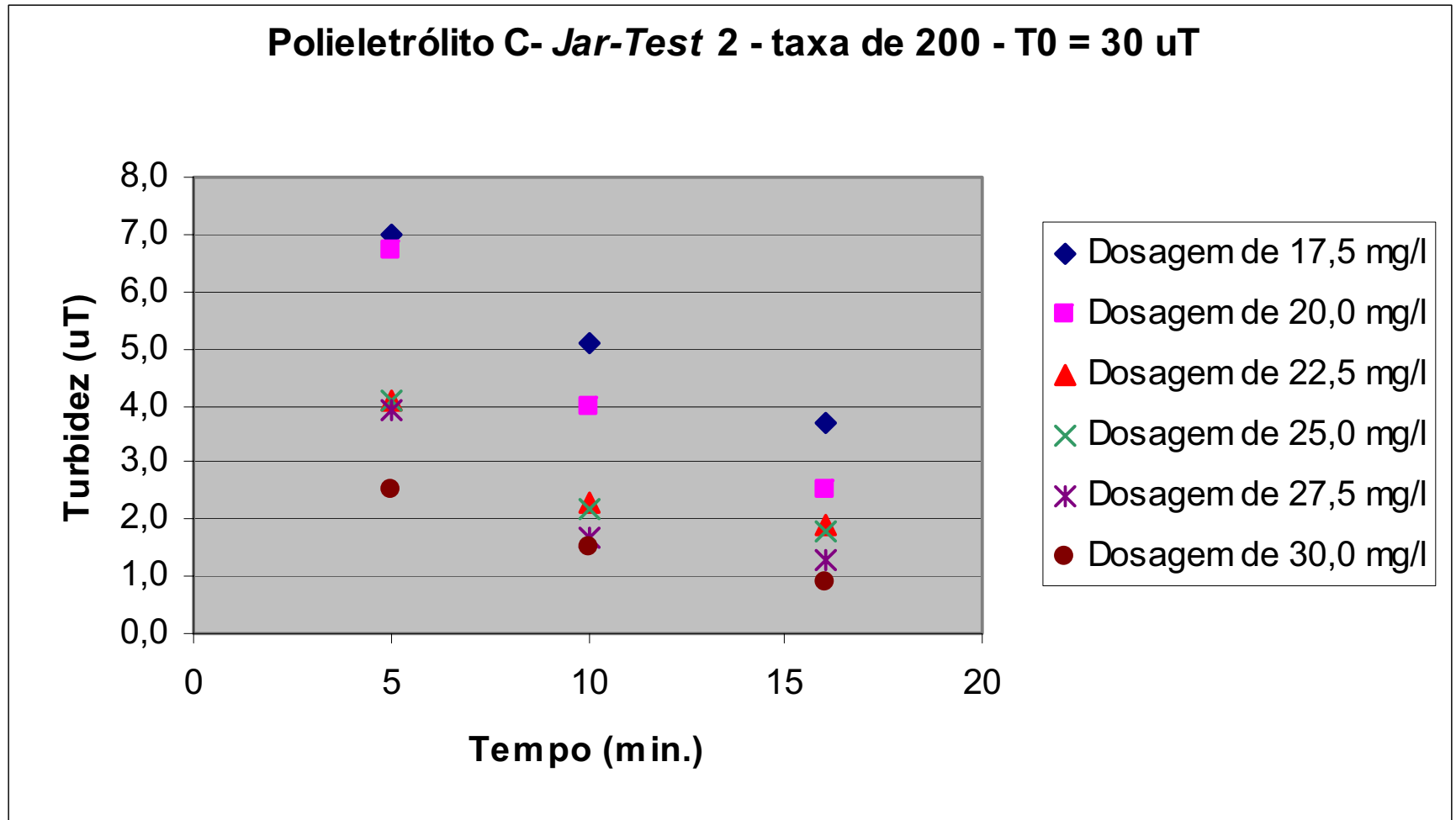
**Figura 36:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 009

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 16 /07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 9,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 30 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,5					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm	Temperatura: 22 °C					
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0		
5		7,0	6,7	4,1	4,1	3,9	2,5		
10		5,1	4,0	2,3	2,2	1,7	1,5		
16		3,7	2,5	1,9	1,8	1,3	0,9		
Dosagem (mg/l)		17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0		

**Formulário 05:** *Jar-test* para o MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 010



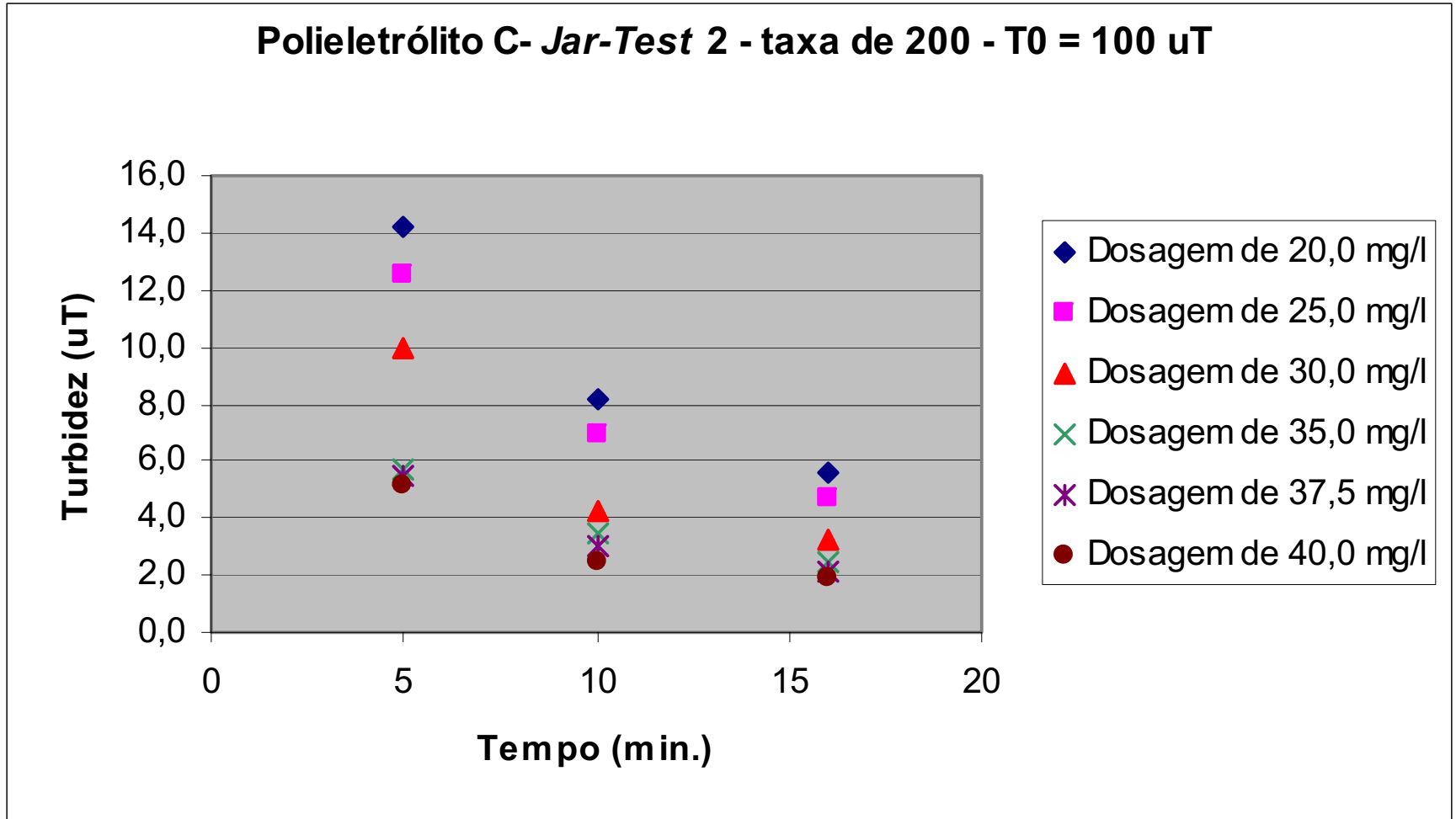
**Figura 37:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 011

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 16 /07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose =15,0 ml.	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 100 uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 23 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	8,0	10,0	12,0	14,0	15,0	16,0		
5		14,2	12,5	10,0	5,7	5,5	5,1		
10		8,2	6,9	4,3	3,5	3,0	2,5		
16		5,6	4,7	3,3	2,5	2,1	1,9		
Dosagem (mg/l)		20,0	25,0	30,0	35,0	37,5	40,0		

**Formulário 06:** Jar-test para o MFDML - Turbidez 100 uTe taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 012



**Figura 38:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

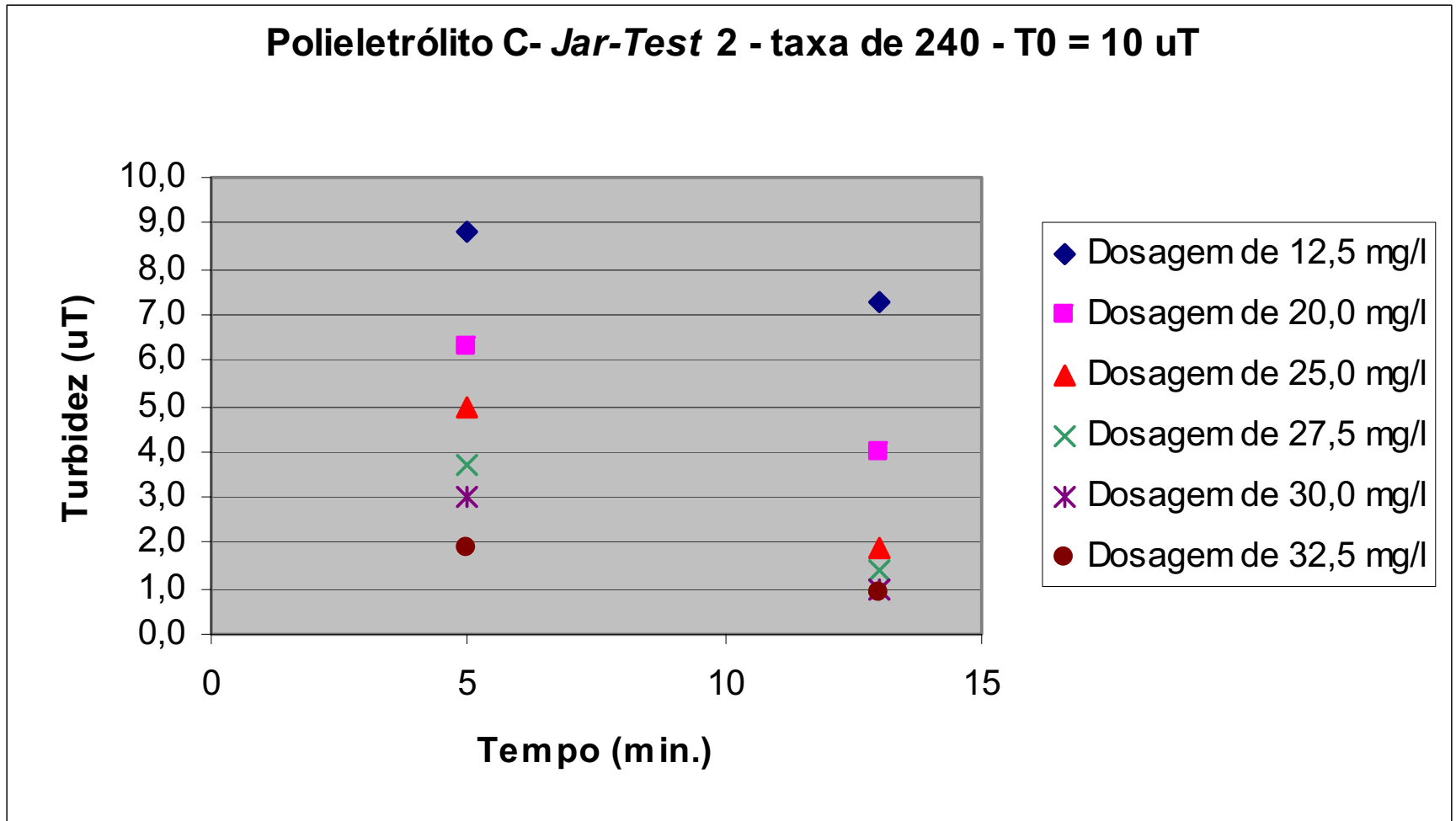
## ANEXO 013

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 16 /07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 10 uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 22 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm						
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	5,0	8,0	10,0	11,0	12,0	13,0		
5		8,8	6,3	5,0	3,7	3,0	1,9		
13		7,3	4,0	1,9	1,4	1,0	0,9		
Dosagem (mg/l)		12,5	20,0	25,0	27,5	30,0	32,5		

**Formulário 07:** *Jar-test* para o MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



ANEXO 014



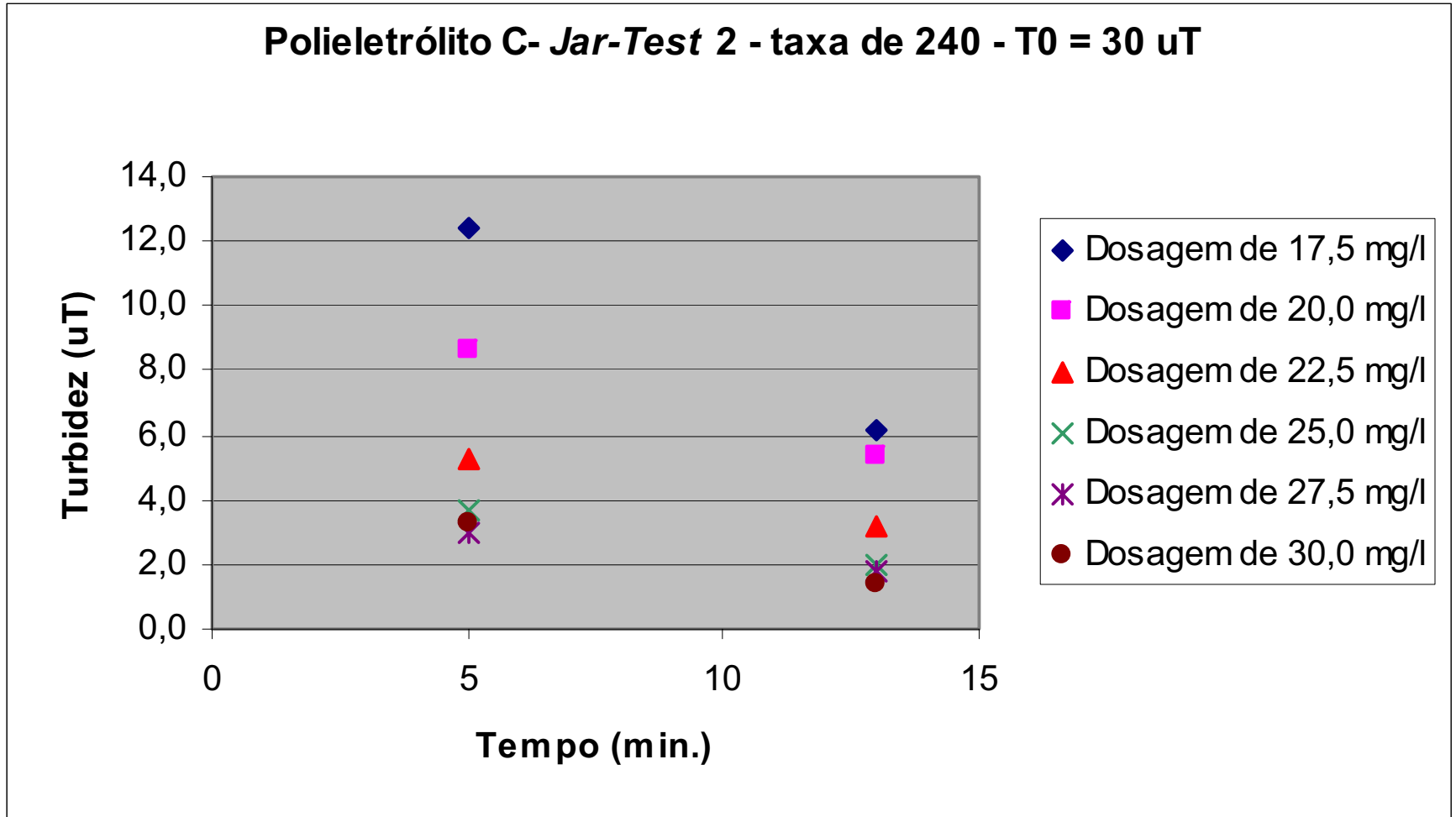
**Figura 39:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 015

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 16 /07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 30 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,1					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm	Temperatura: 25 °C					
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0		
5		12,4	8,6	5,3	3,7	3,0	3,3		
13		6,2	5,4	3,2	2,0	1,8	1,4		
Dosagem (mg/l)		17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0		

**Formulário 08:** *Jar-test* para o MFDML - Turbidez 30 uTe taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 016



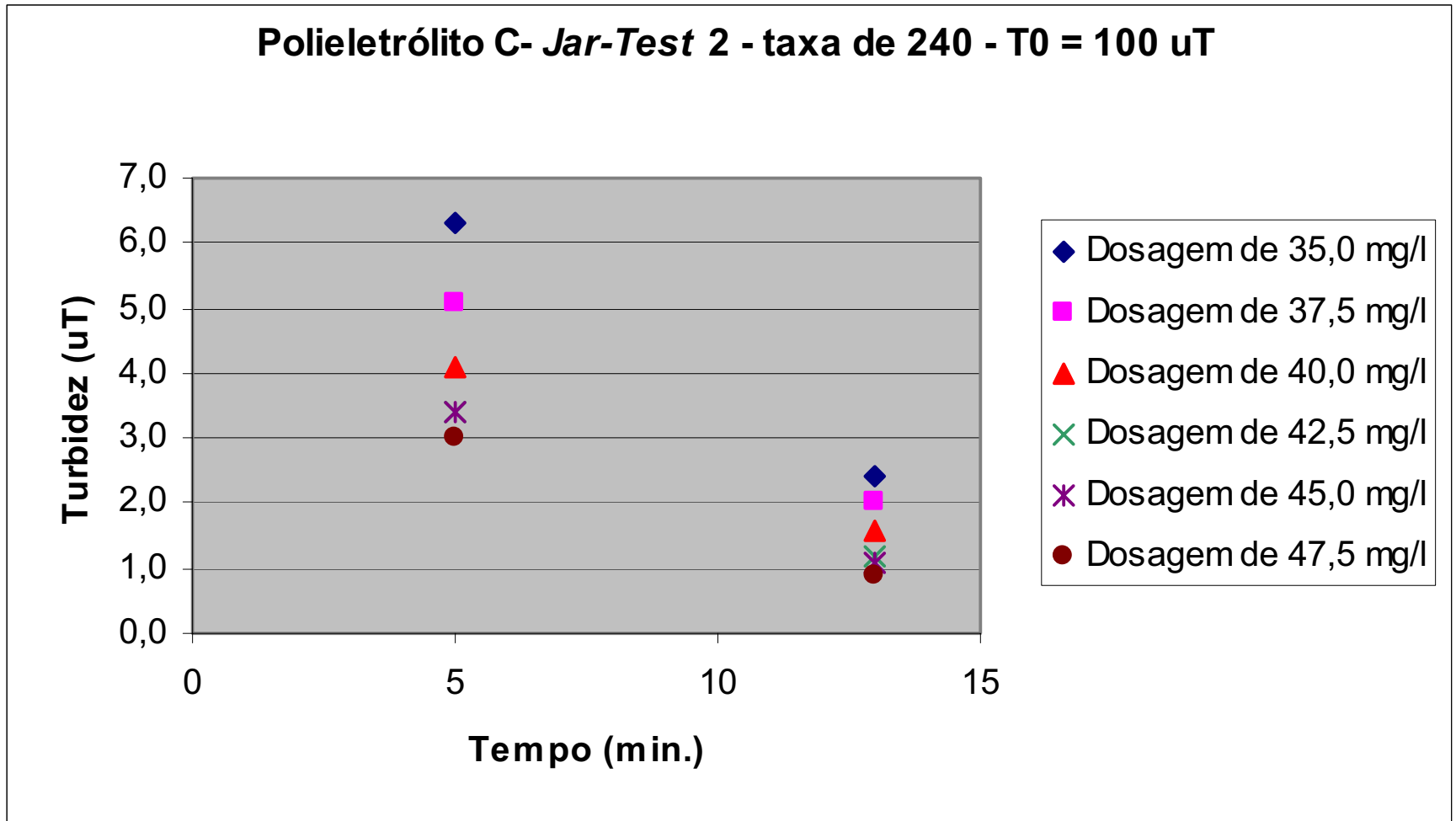
**Figura 40:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 017

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 16 /07/03				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose=15,0 ml.	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 100 uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 23 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm						
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0		
5		6,3	5,1	4,1	3,4	3,4	3,0		
13		2,4	2,0	1,6	1,2	1,1	0,9		
Dosagem (mg/l)		35,0	37,5	40,0	42,5	45,0	47,5		

**Formulário 09:** *Jar-test* para o MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 018



**Figura 41:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

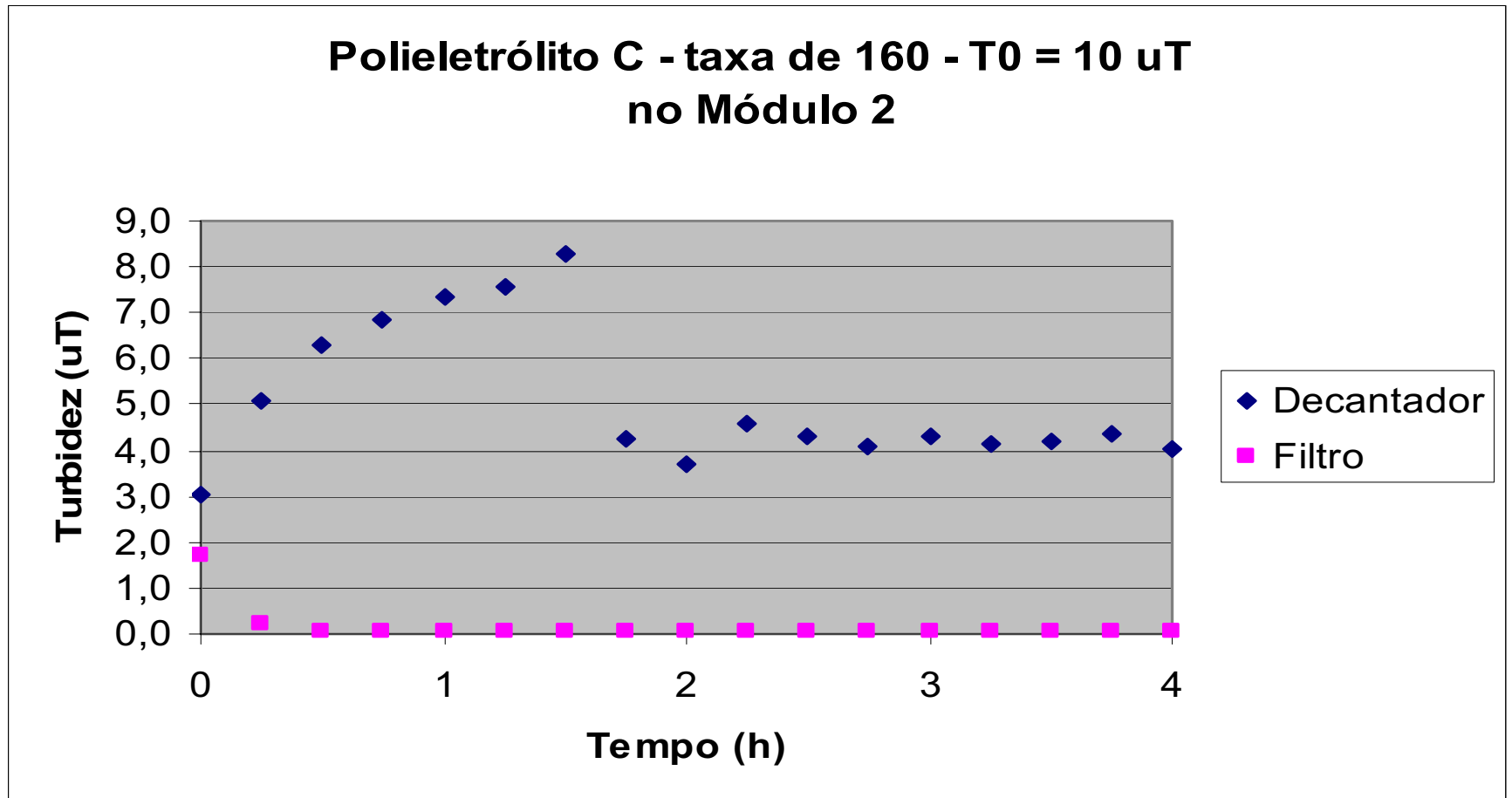


## ANEXO 019

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 18/07/2003 Local: Ilha Solteira Início: 13:00 h término: 17:00 h Turbidez: 10 uT pH: 7,3 Temperatura: 24 °C	Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C					Teve-se dificuldades de formação da manta, em função da baixa turbidez da água bruta e, conseqüentemente, uma água decantada de baixa qualidade. Na tentativa de melhoras no desempenho do tratamento, fez-se adição de argila na entrada do floculador. De início formou-se uma manta densa, de 90 cm, a qual se desfez rapidamente, aumentando a turbidez da água decantada para mais de 8 UT. Somente após a estabilidade da manta e de seu aumento natural, é que os níveis de turbidez no decantador ficaram melhores.	
Solução 0,50% em massa						
	Gradiente	tempo	rotação			
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5 s	300 rpm			
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm			
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo						
Dosagem: 15 mg/l						
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia						
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)			
	Decantador	Filtro				
0,5	6,275	0,060	0,55			
1	7,355	0,041	0,55			
1,5	8,285	0,037	0,80			
2	3,718	0,042	0,70			
2,5	4,304	0,034	0,75			
3	4,297	0,051	0,80			
3,5	4,187	0,033	0,90			
4	4,051	0,050	1,00			

**Formulário 10:** Ensaio no MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 020



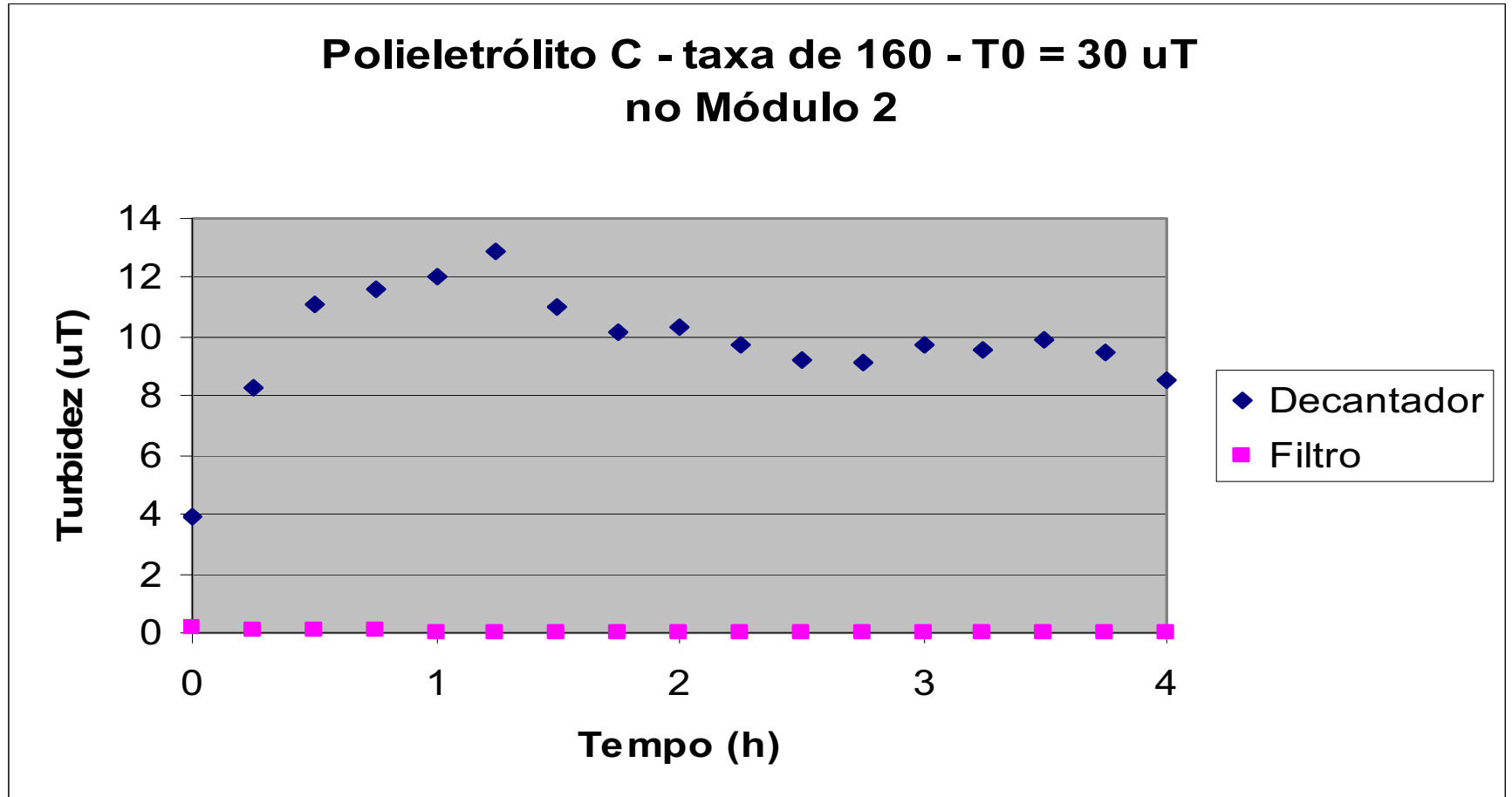
**Figura 42:** Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 021

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 13/08/2003		Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito				Local: Ilha Solteira		A alta turbidez observada aconteceu porque não foram feitas intervenções (adição de argila ou flocos já formados). Assim, pretendeu-se verificar resultados em função de um andamento simples do ensaio.	
Solução 0,50% em massa				Início: 10:00 h			
				término: 14:00 h			
				Turbidez: 30 uT			
				pH: 7,4			
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo				Temperatura: 22,5°C			
Dosagem: 17,5 mg/l							
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia							
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)				
	Decantador	Filtro					
0,5	11,08	0,047	0,40				
1	12,01	0,041	0,45				
1,5	10,97	0,039	0,50				
2	10,29	0,036	0,60				
2,5	9,259	0,034	0,70				
3	9,77	0,034	0,75				
3,5	9,938	0,033	0,80				
4	8,576	0,034	0,85				

Formulário 11: Ensaio no MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 022



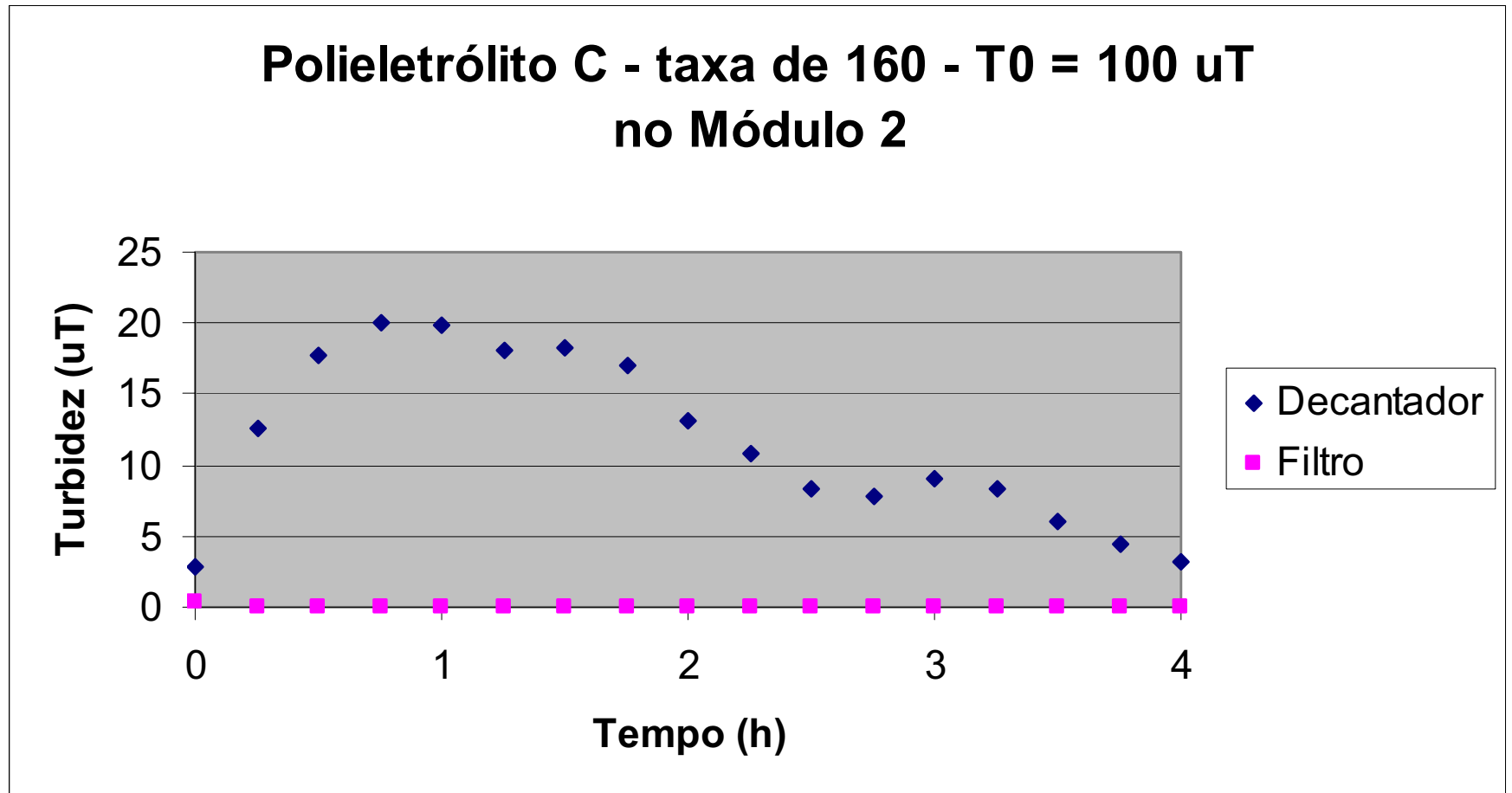
**Figura 43:** Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 023

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 13/08/2003 Local: Ilha Solteira Início: 15:30 h término: 19:30 h Turbidez: 100 uT pH: 7,5 Temperatura: 23°C	Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C					Observou-se melhores resultados para a água decantada somente a partir de uma melhor formação da manta de lodo, para uma altura de 90cm. Essa condição foi conseguida a partir do momento em que o jato de coagulante fora direcionado para o vórtice formado na saída da caixa de nível constante (aproveitando, de fato, o gradiente de mistura ali existente.	
Solução 0,50% em massa						
	Gradiente	tempo	rotação			
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5 s	300 rpm			
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm			
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo						
Dosagem: 22,5 mg/l						
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia						
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)			
	Decantador	Filtro				
0,5	17,72	0,045	0,65			
1	19,84	0,042	0,70			
1,5	18,25	0,043	0,75			
2	13,18	0,043	0,80			
2,5	8,248	0,037	0,85			
3	9,099	0,035	0,90			
3,5	5,983	0,038	0,95			
4	3,244	0,034	1,05			

**Formulário 12:** Ensaio no MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 024



**Figura 44:** Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 025

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 02/09/2003 Local: Ilha Solteira Início: 11:30 h término: 15:30 h Turbidez: 10 uT pH: 7,5 Temperatura: 24 °C	Observações Esse ensaio foi feito com parte da manta (60cm) já formada - desde o início. Com isso obteve-se melhores resultados de água decantada.
COAGULANTE: Polieletrólito C					
Solução 0,50% em massa					
	Gradiente	tempo	rotação		
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm		
floculação	36 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	47 rpm		
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo					
Dosagem: 20 mg/l					
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia					
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)		
	Decantador	Filtro			
0	4,697	1,459	0,60		
0,5	3,346	0,044	0,70		
1	2,183	0,041	0,85		
1,5	1,937	0,039	0,95		
2	2,067	0,035	1,05		
2,5	2,379	0,035	1,15		
3	2,37	0,034	1,25		
3,5	2,184	0,034	1,30		
4	2,488	0,055	1,40		

Formulário 13: Ensaio no MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 026

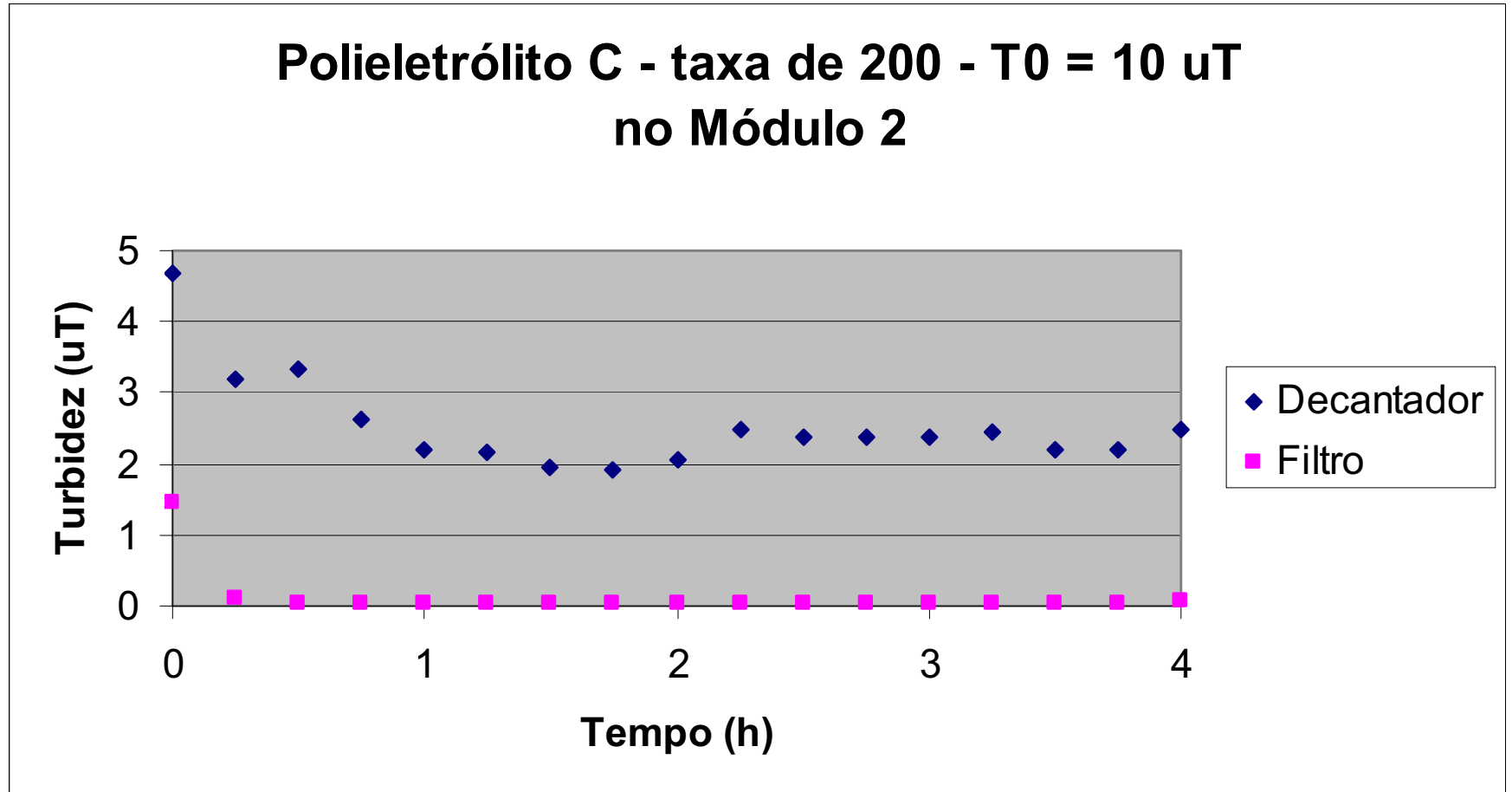


Figura 45: Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

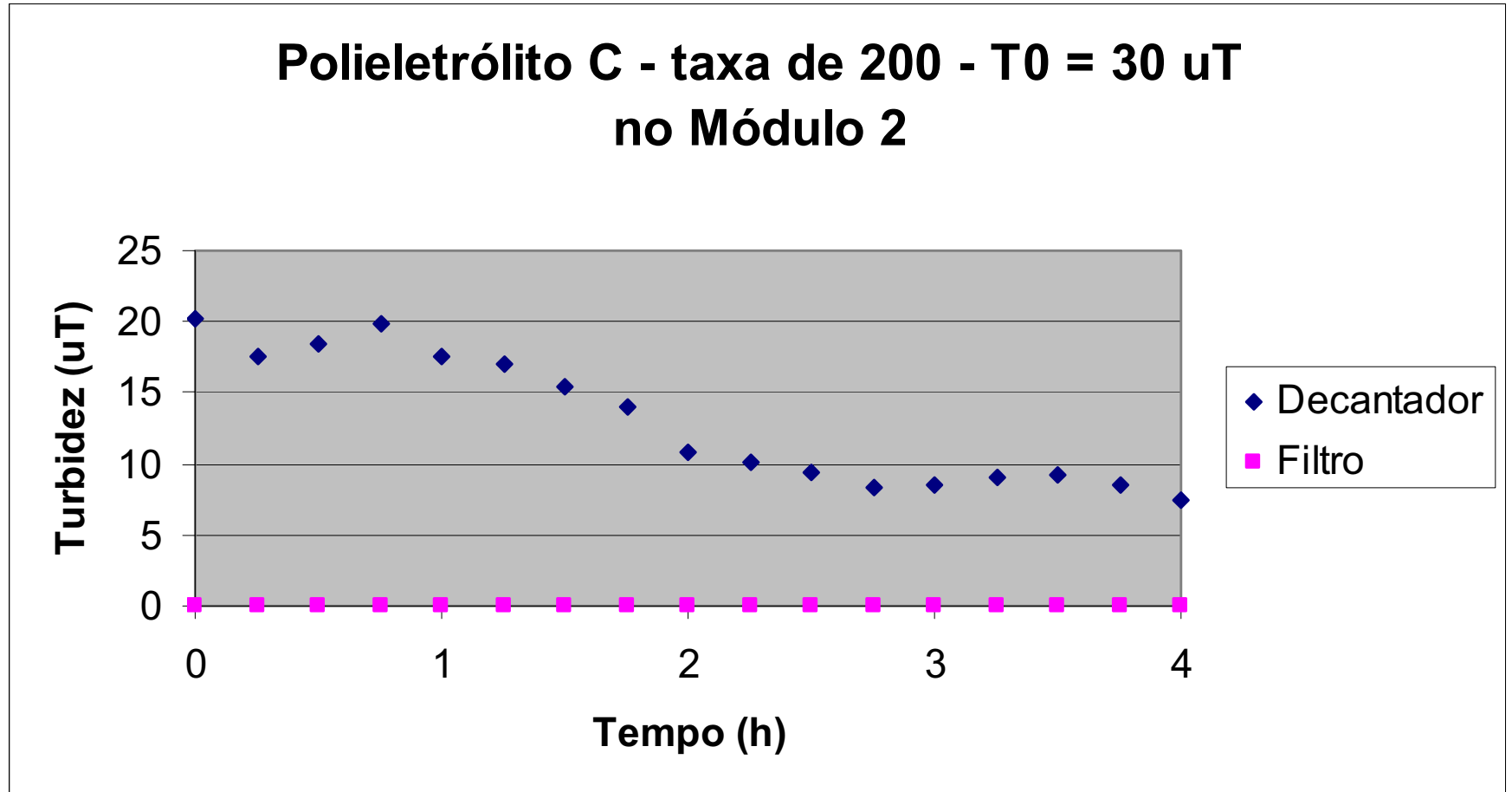


## ANEXO 027

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 28/08/2003 Local: Ilha Solteira Início: 9:30 h término: 13:30 h Turbidez: 30 uT pH: 7,5 Temperatura: 22 °C	Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito					Devido à dificuldade de formação da manta, a turbidez no início do ensaio é alta. Como após 0,5 h de ensaio a turbidez da água decantada era alta, fez-se a adição de flocos já formados - colhidos de ensaios anteriores - na entrada do floclador para que se formasse uma manta maior. No entanto, somente após 2 horas de ensaio foi que a manta ficou mais densa, proporcionando melhores resultados para a água decantada.	
Solução 0,50% em massa						
	Gradiente	tempo	rotação			
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm			
floculação	36 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	47 rpm			
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo						
Dosagem: 22,5 mg/l						
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia						
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)			
	Decantador	Filtro				
0,5	18,51	0,046	0,40			
1	17,47	0,036	0,75			
1,5	15,37	0,034	0,80			
2	10,87	0,033	0,85			
2,5	9,421	0,032	0,95			
3	8,587	0,031	1,05			
3,5	9,225	0,032	1,10			
4	7,374	0,032	1,15			

**Formulário 14:** Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 028



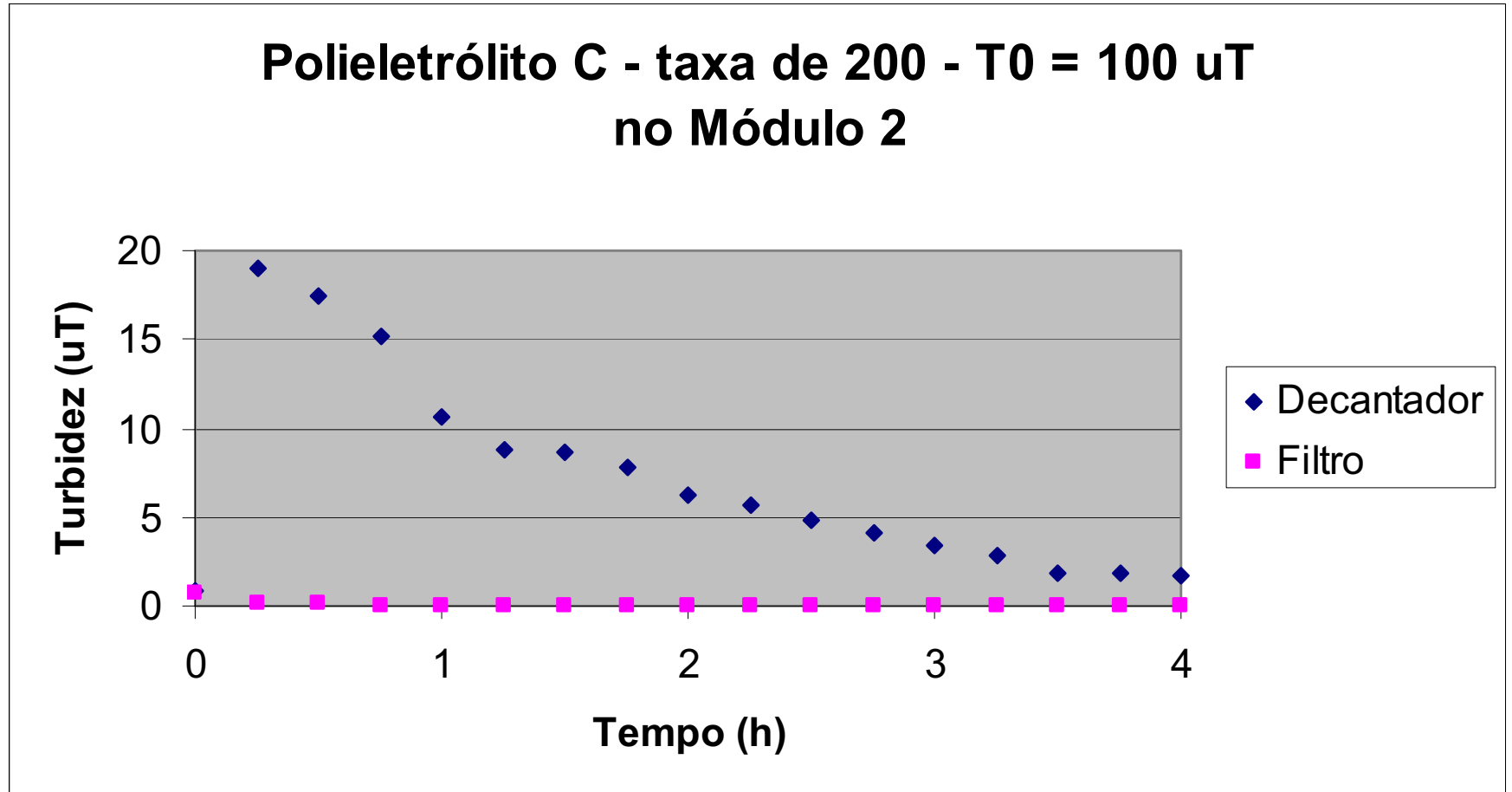
**Figura 46:** Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 029

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 20/08/2003	Observações
COAGULANTE: Polieletrólito					
Solução 0,50% em massa				Local: Ilha Solteira	Nos primeiros instantes a turbidez elevada ocorreu por o dosador de polieletrólito ter apresentado problemas com entupimento. A partir de seu reajuste a turbidez aba
	Gradiente	tempo	rotação		
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm	Início: 10:00 h	Este ensaio não foi realizado com a manta já formada.
floculação	36 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	47 rpm	término: 14:00 h	
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo				Turbidez: 100 uT	A partir da formação da manta, especialmente após atingir 1m, a turbidez diminuiu mais intensamente.
Dosagem: 37,5 mg/l				pH: 7,5	
				Temperatura: 21 °C	
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia					
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)		
	Decantador	Filtro			
0,5	17,38	0,076	0,85		
1	10,64	0,044	0,95		
1,5	8,647	0,038	1,05		
2	6,268	0,037	1,20		
2,5	4,76	0,035	1,30		
3	3,4	0,036	1,45		
3,5	1,833	0,034	1,65		
4	1,719	0,033	1,85		

**Formulário 15:** Ensaio no MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 030



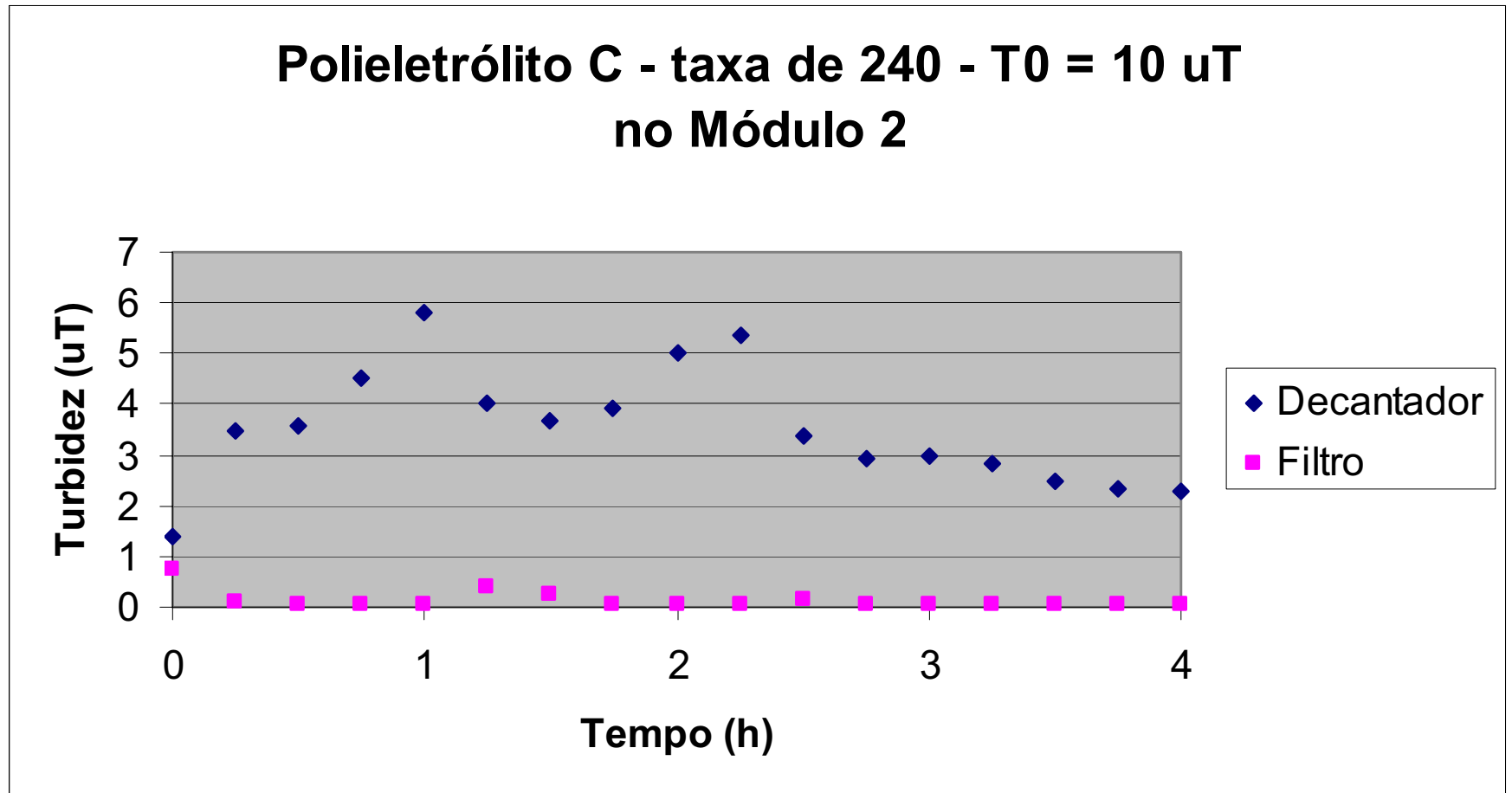
**Figura 47:** Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 100uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 031

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 08/10/2003 Local: Ilha Solteira Início: 10:00 h término: 14:00 h Turbidez: 10 uT pH: 7,5 Temperatura: 21 °C	Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito					Ensaio realizado com uma manta de 90 cm já formada desde o início do ensaio. A dosagem de plieletrólito foi cortada das 10:30 h às 11:00 h, período este em que a turbidez no decantador aumentou e a manta diminuiu na mesma proporção de s Das 12:00 h às 12:10 a bomba dosadora de polímero ficou desligada, percebendo-se, nesse período, uma redução de 10 cm na manta. Dessa forma, para manta maior, há também maior perda da mesma quando da passagem de água bruta sem coagulante. Uma observação importante, é que o filtro continuou fornecendo água com turbidez abaixo de 0,1 UT.	
Solução 0,50% em massa						
	Gradiente	tempo	rotação			
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm			
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm			
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo						
Dosagem: 25,0 mg/l						
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia						
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)			
	Decantador	Filtro				
0	1,374	0,736	0,90			
0,5	3,581	0,051	1,10			
1	5,821	0,065	1,00			
1,5	3,683	0,232	1,10			
2	5,034	0,043	1,30			
2,5	3,364	0,141	1,20			
3	2,961	0,047	1,30			
3,5	2,506	0,038	1,40			
4	2,298	0,039	1,50			

**Formulário 16:** Ensaio no MFDML – Turbidez 10uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 032



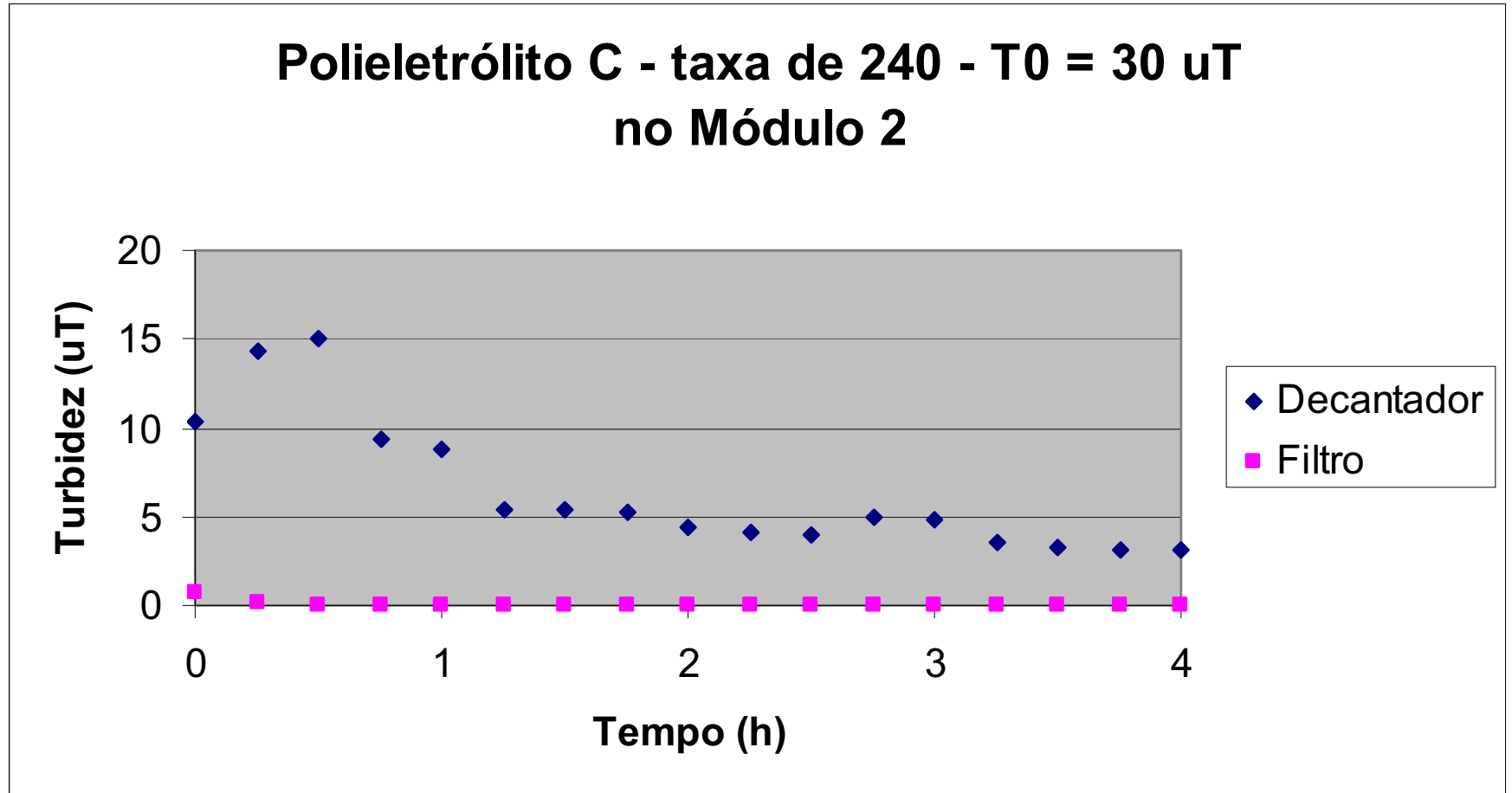
**Figura 48:** Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 10uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 033

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 09/10/2003		Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito				Local: Ilha Solteira		Início do ensaio com a manta já formada de 1,05, porém dispersa.	
Solução 0,50% em massa				Início: 9:30 h			
	Gradiente	tempo	rotação	término: 13:30 h			
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm	Turbidez: 30 uT			
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm	pH: 7,5			
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo				Temperatura: 21 °C			
Dosagem: 25,0 mg/l							
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia							
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)				
	Decantador	Filtro					
0	10,41	0,708	1,05				
0,5	15	0,053	1,00				
1	8,746	0,036	1,05				
1,5	5,345	0,037	1,10				
2	4,436	0,034	1,15				
2,5	3,977	0,033	1,25				
3	4,762	0,034	1,35				
3,5	3,316	0,033	1,45				
4	3,098	0,032	1,60				

**Figura 17:** Ensaio no MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 034



**Figura 49:** Gráfico do Ensaio no MFDML - Turbidez 30uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

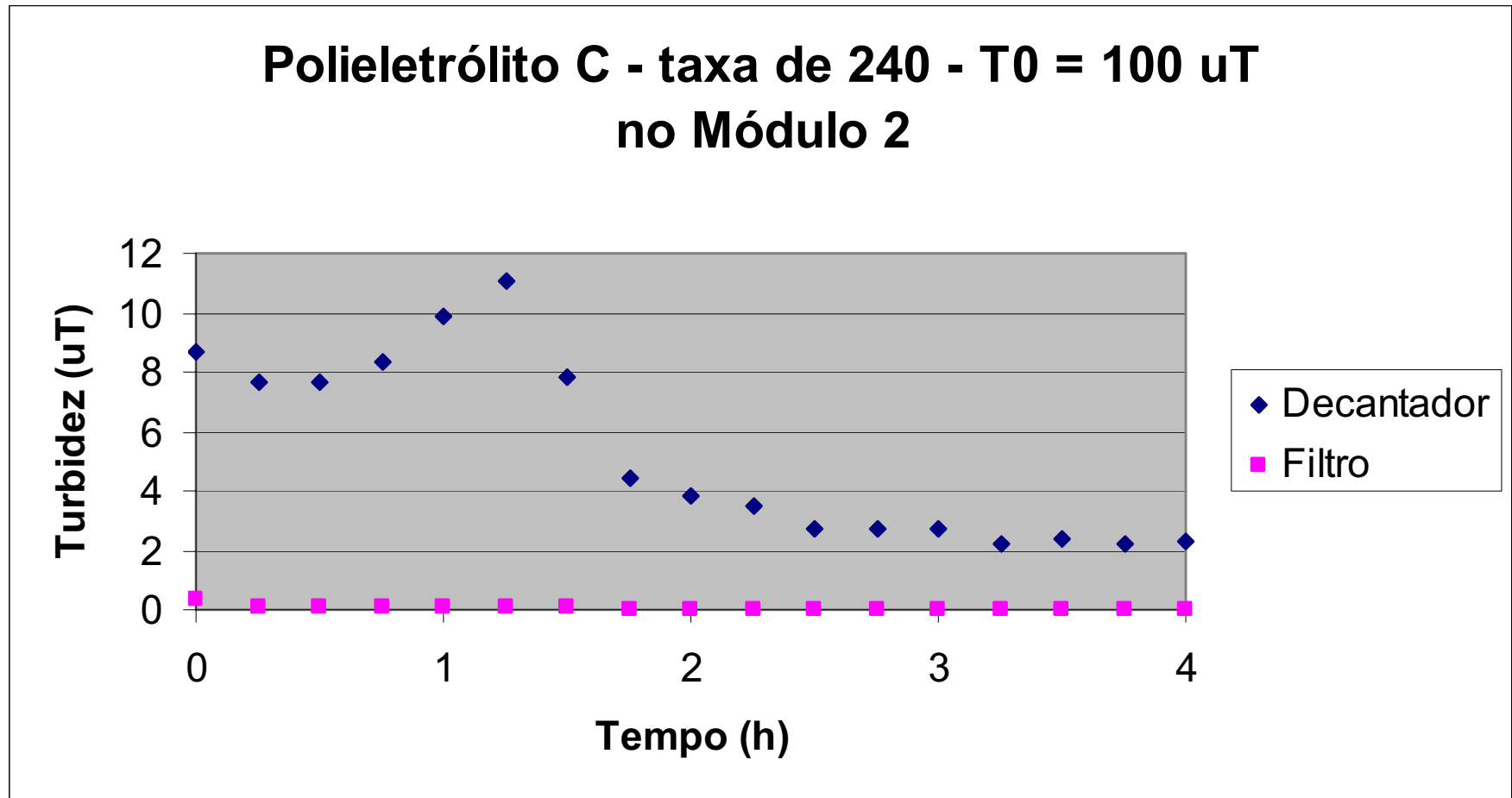


## ANEXO 035

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 15/10/2003	Observações
COAGULANTE: Polieletrólito					
Solução 0,50% em massa				Local: Ilha Solteira	Iniciou-se o teste com 1,15 m de manta já formada.
	Gradiente	tempo	rotação		
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm	Início: 12:30 h	As altas turbidezes no início do ensaio ocorreram devido à uma falha no sistema de dosagem de coagulante (a qual estava menor). Isso também influenciou na manta, fazendo com que ficasse estável em 1,45m durante 0,5 h.
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm		
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo				término: 16:30 h	Turbidez: 100 uT
Dosagem: 37,5 mg/l					
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia				pH: 7,5	Temperatura: 26 °C
Tempo (h)	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)		
	Decantador	Filtro			
0			1,15		
0,5	17,38	0,076	0,85		
1	10,64	0,044	0,95		
1,5	8,647	0,038	1,05		
2	6,268	0,037	1,20		
2,5	4,76	0,035	1,30		
3	3,4	0,036	1,45		
3,5	1,833	0,034	1,65		
4	1,719	0,033	1,85		

Formulário 18: Ensaio no MFDML – Turbidez 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 036



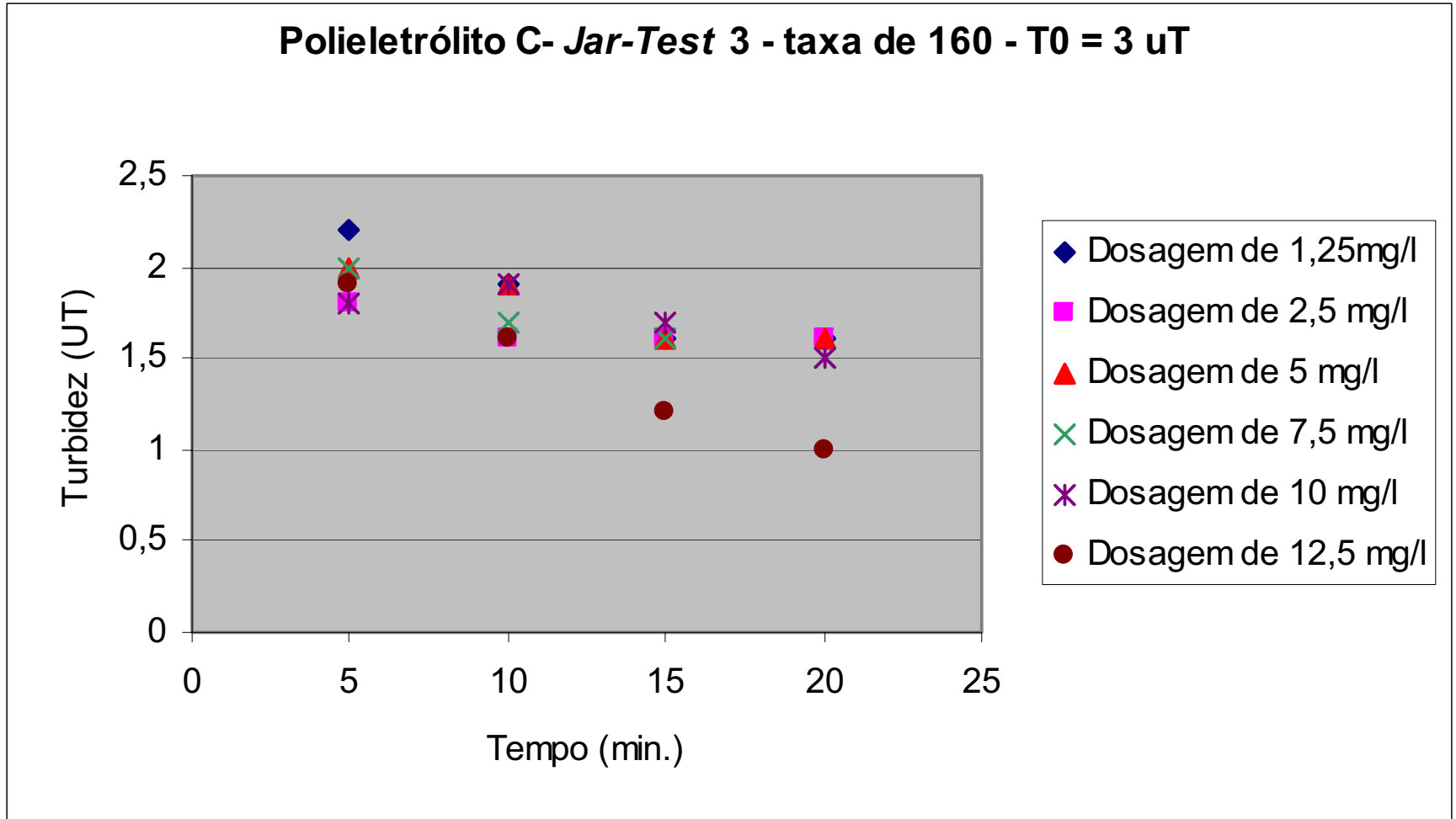
**Figura 50:** Gráfico do Ensaio no MFDML – Turbidez 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 037

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 01/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 0,5ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 3uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 31°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		2,2	1,8	2,0	2,0	1,8	1,9		
10		1,9	1,6	1,9	1,7	1,9	1,6		
15		1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,2		
20		1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,0		
Dosagem (mg/l)			1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	

**Formulário 19:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 3uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 038



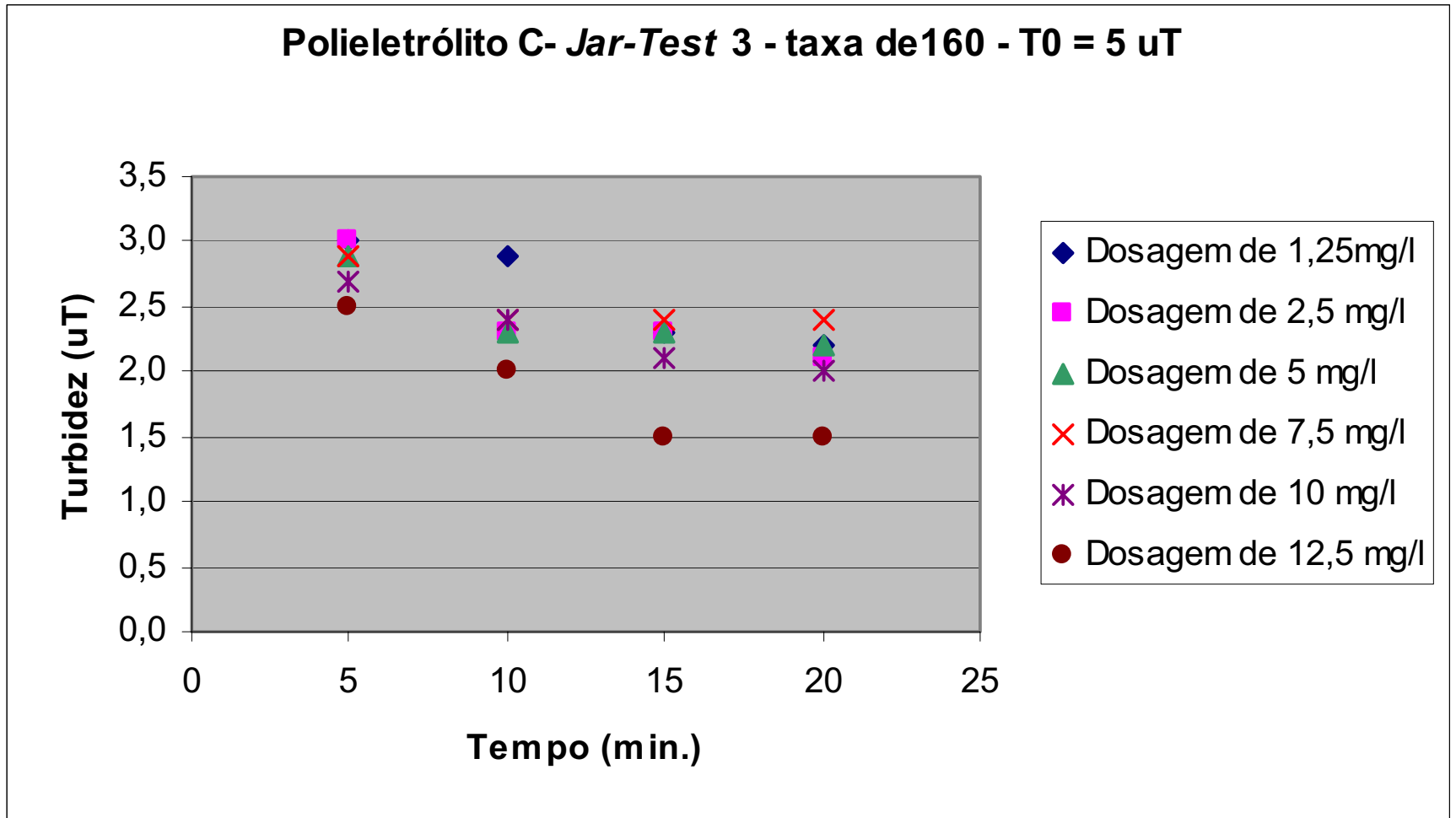
**Figura 51:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 3uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 039

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 01/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 5uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 31 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		3,0	3,0	2,9	2,9	2,7	2,5		
10		2,9	2,3	2,3	2,4	2,4	2,0		
15		2,3	2,3	2,3	2,4	2,1	1,5		
20		2,2	2,1	2,2	2,4	2,0	1,5		
Dosagem (mg/l)		1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

Formulário 20: *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 5uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 040



**Figura 52:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 5uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

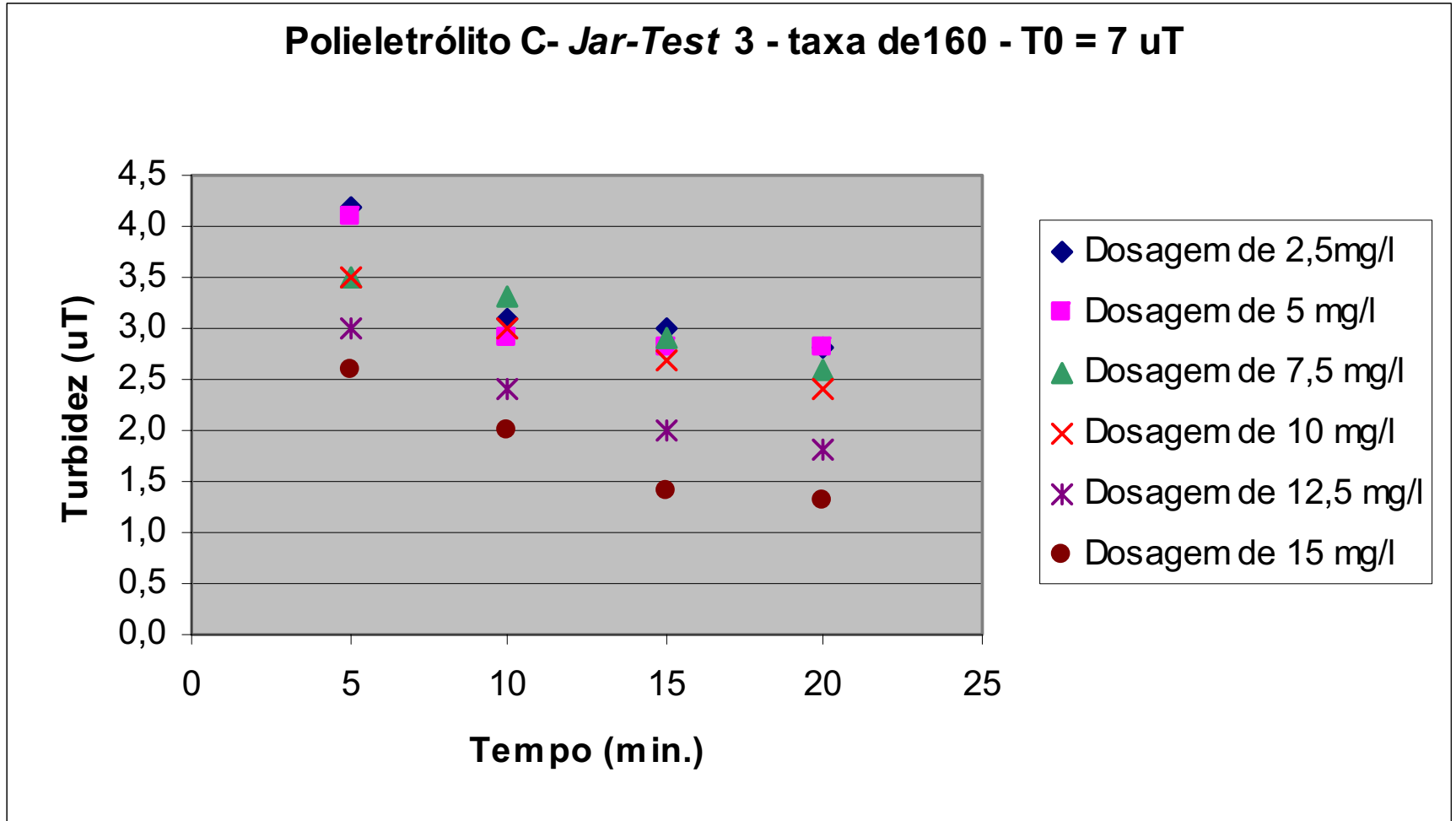


ANEXO 041

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 01/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 5,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 7uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 31°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		
5		4,2	4,1	3,5	3,5	3,0	2,6		
10		3,1	2,9	3,3	3,0	2,4	2,0		
15		3,0	2,8	2,9	2,7	2,0	1,4		
20		2,8	2,8	2,6	2,4	1,8	1,3		
Dosagem (mg/l)		2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		

**Formulário 21:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 7uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 042



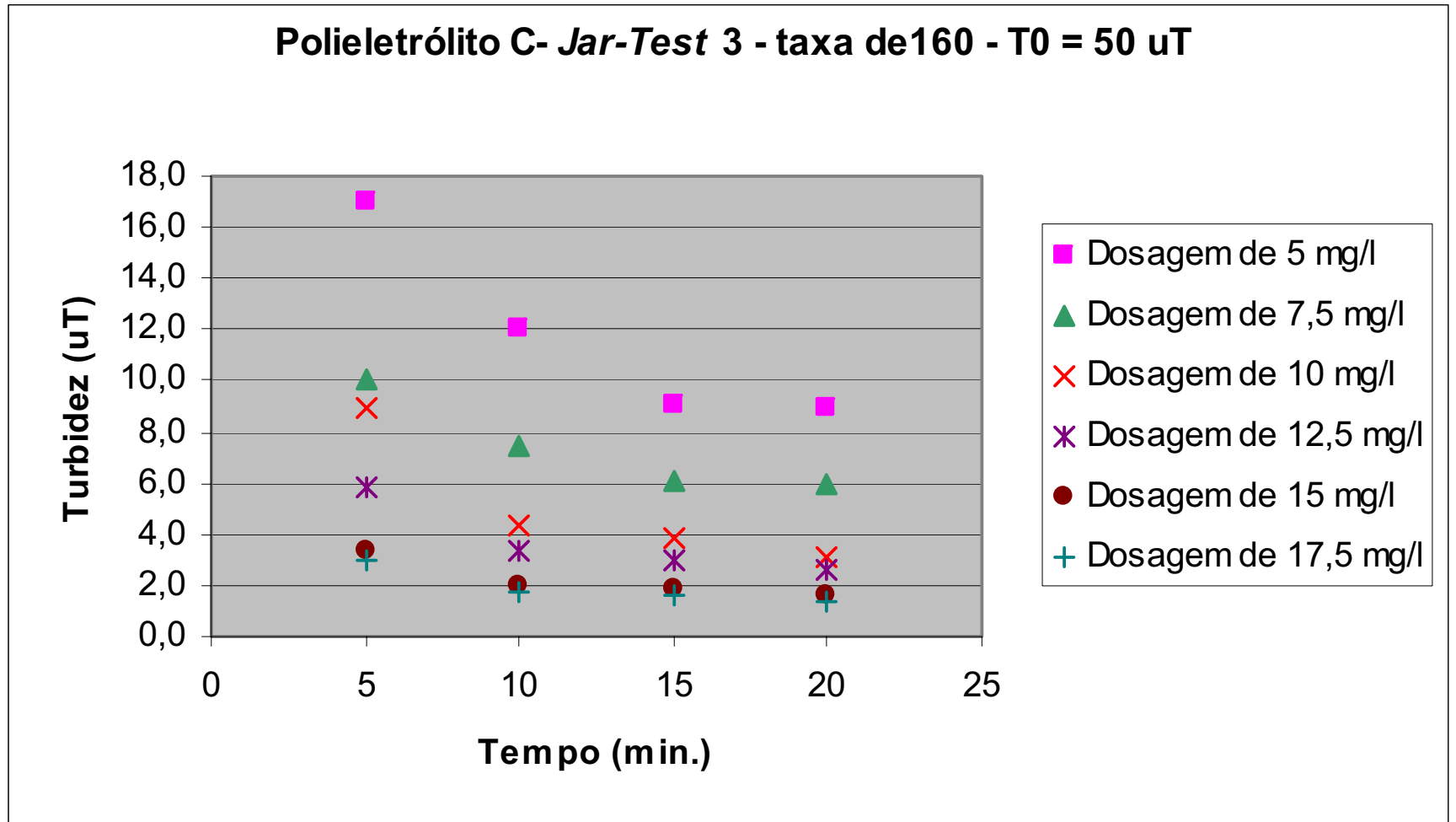
**Figura 53:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 7uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 043

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 01/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 50uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 31°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		17,0	10,0	9,0	5,8	3,4	3,0		
10		12,0	7,5	4,3	3,4	2,0	1,7		
15		9,1	6,1	3,9	3,0	1,9	1,6		
20		9,0	6,0	3,1	2,6	1,6	1,4		
Dosagem (mg/l)		5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 22:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 50uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 044



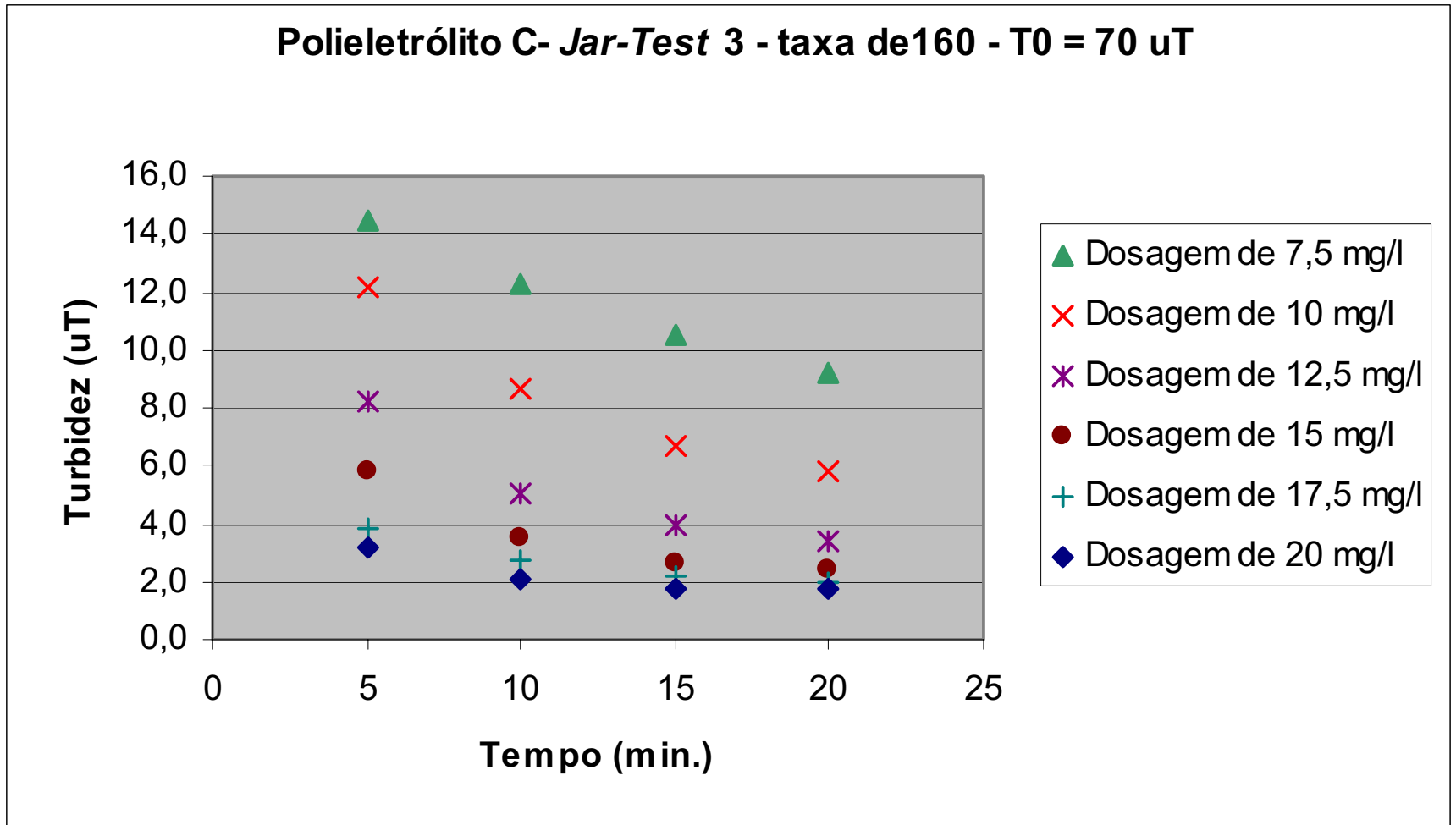
**Figura 54:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 50uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 045

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 70uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		14,5	12,2	8,2	5,8	3,8	3,2		
10		12,3	8,7	5,0	3,5	2,7	2,1		
15		10,5	6,7	4,0	2,6	2,2	1,7		
20		9,2	5,8	3,4	2,4	2,0	1,7		
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 23:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 70 uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 046





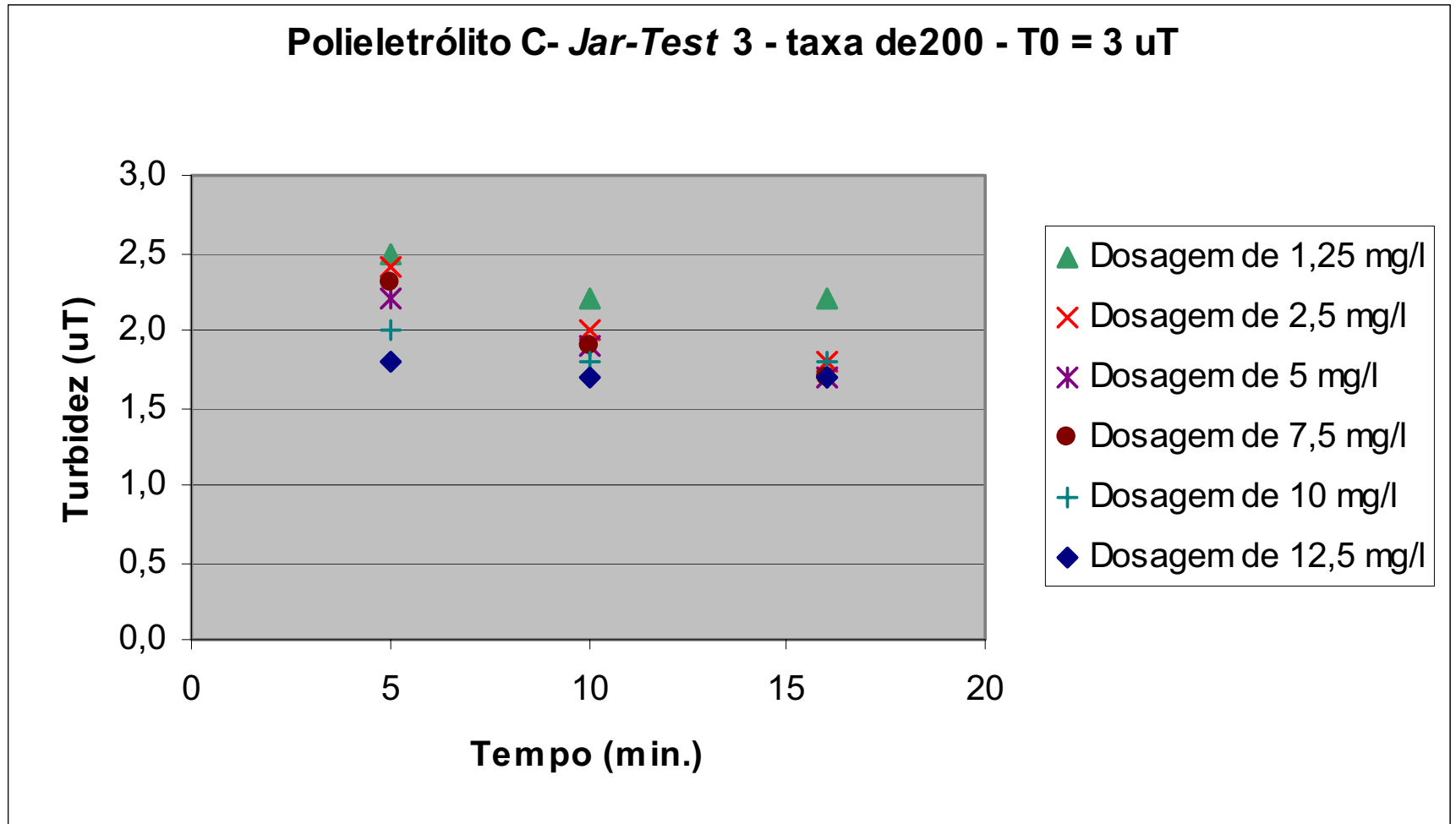
**Figura 55:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 70uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 047

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 1,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 3uT					
				pH: 7,6					
				Temperatura: 28°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		2,5	2,4	2,2	2,3	2,0	1,8		
10		2,2	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7		
16		2,2	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7		
Dosagem (mg/l)		1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

**Formulário 24:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 3uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 048



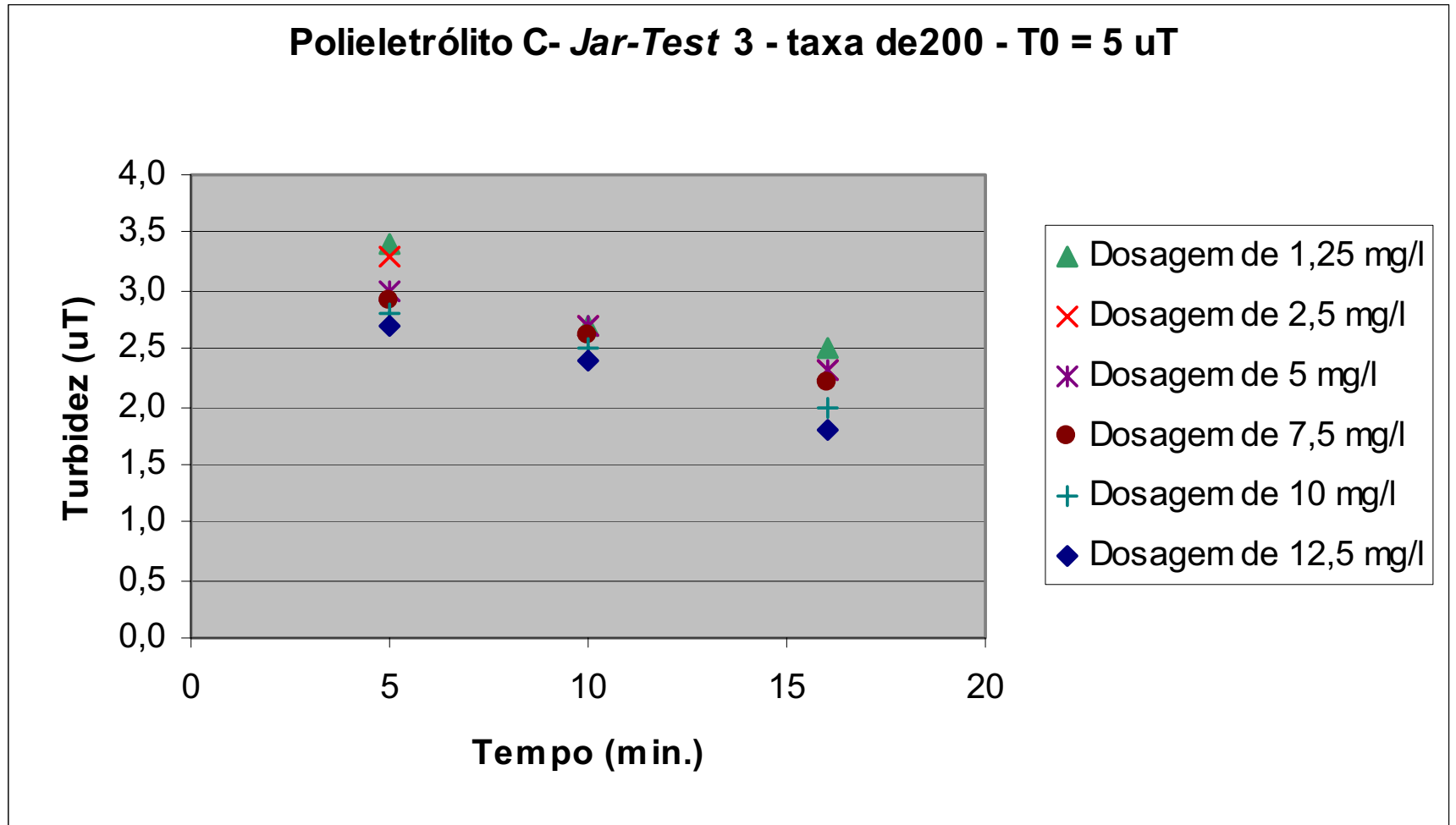
**Figura 56:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 3 uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 049

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 5uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 28°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		3,4	3,3	3,0	2,9	2,8	2,7		
10		2,7	2,7	2,7	2,6	2,5	2,4		
16		2,5	2,3	2,3	2,2	2,0	1,8		
Dosagem (mg/l)		1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

**Formulário 25:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 5uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 050



**Figura 57:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 5uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

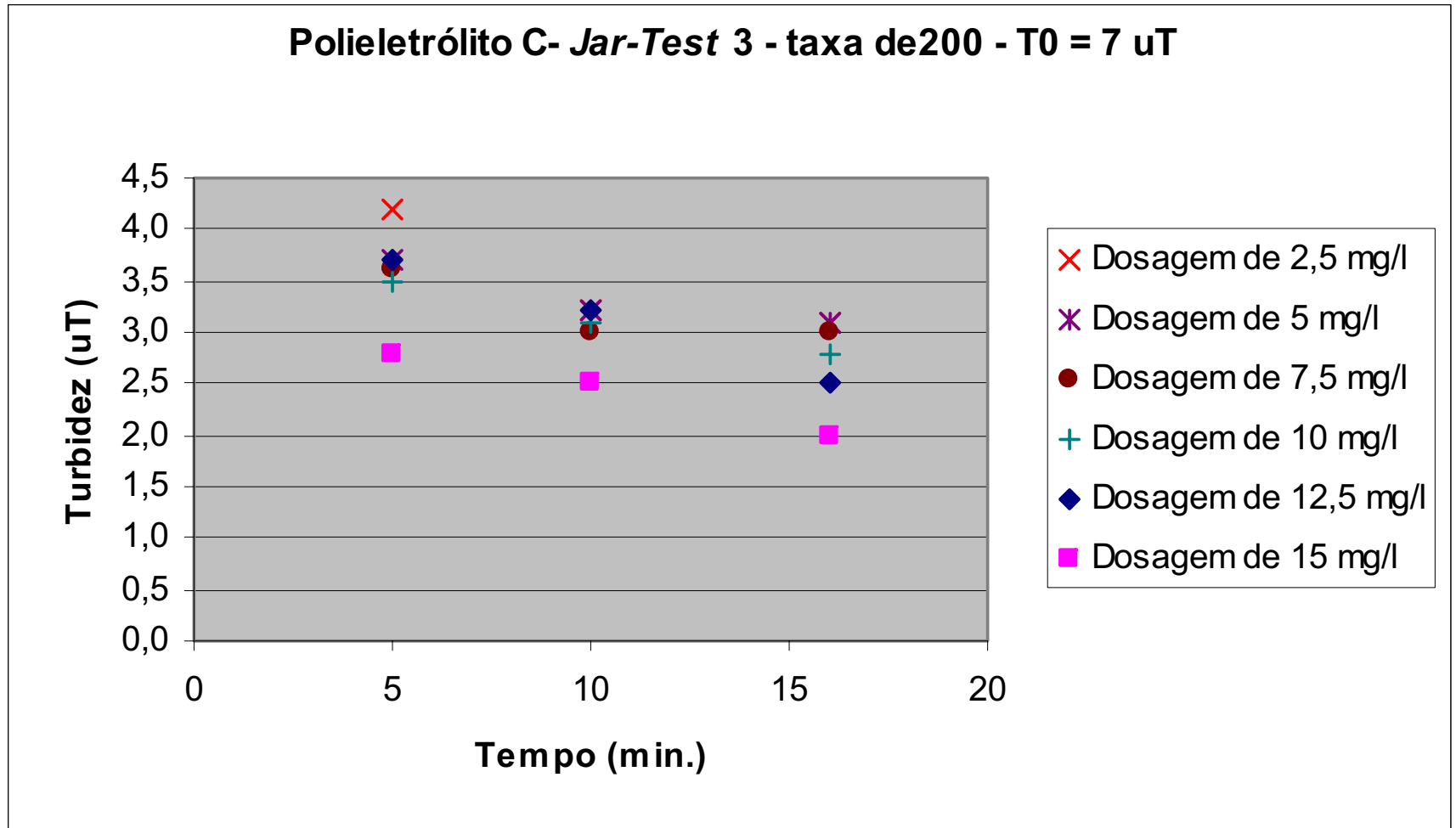
ANEXO 051

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 7uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 29°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		
5		4,2	3,7	3,6	3,5	3,7	2,8		
10		3,2	3,2	3,0	3,1	3,2	2,5		
16		3,1	3,1	3,0	2,8	2,5	2,0		
Dosagem (mg/l)		2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		

**Formulário 26:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 7uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



ANEXO 052



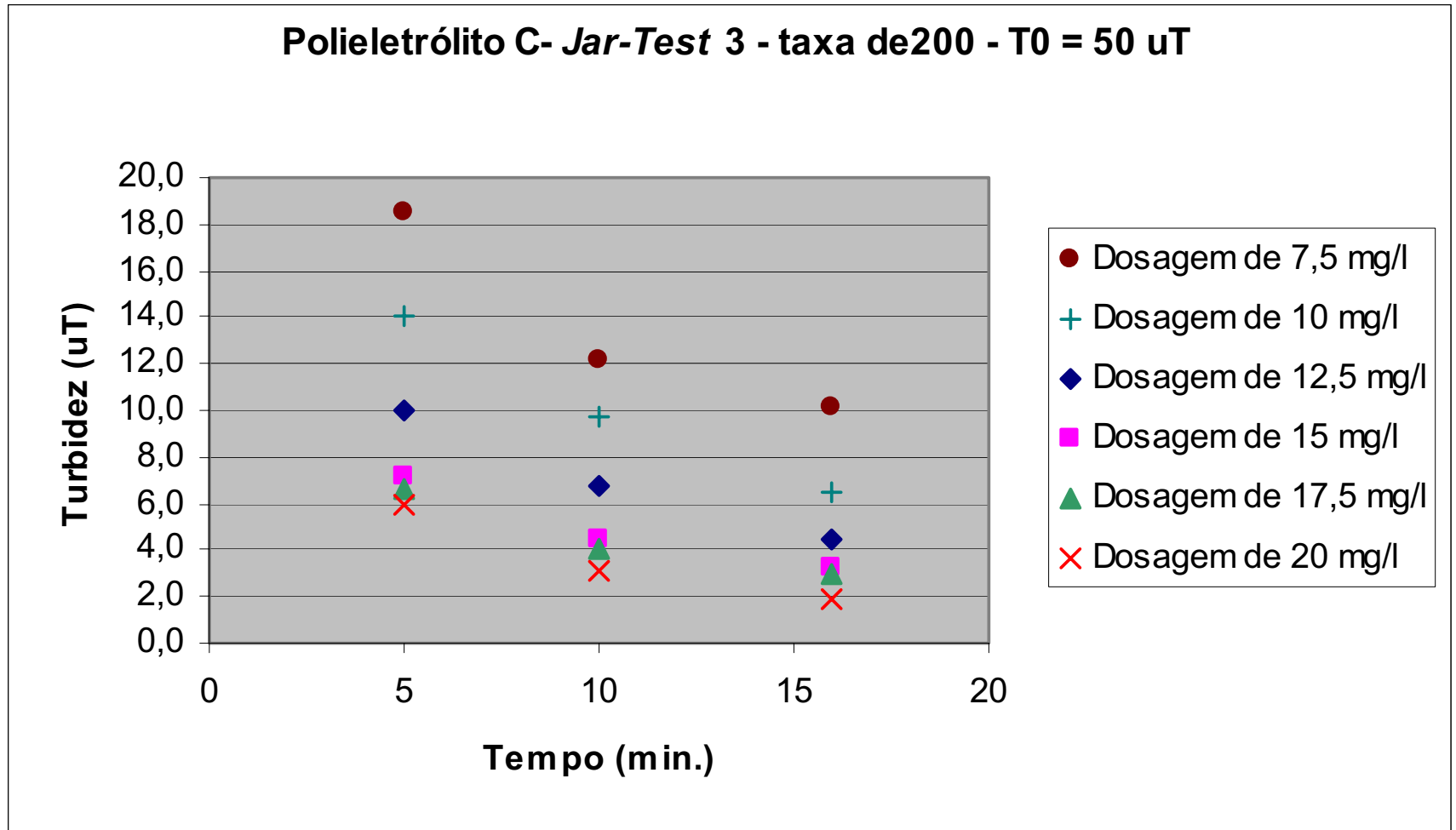
**Figura 58:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 7uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 053

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 8,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 50uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 29°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		18,5	14,1	10,0	7,1	6,6	6,0		
10		12,1	9,7	6,7	4,5	4,1	3,1		
16		10,1	6,5	4,5	3,3	3,0	1,9		
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 27:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 50uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 054



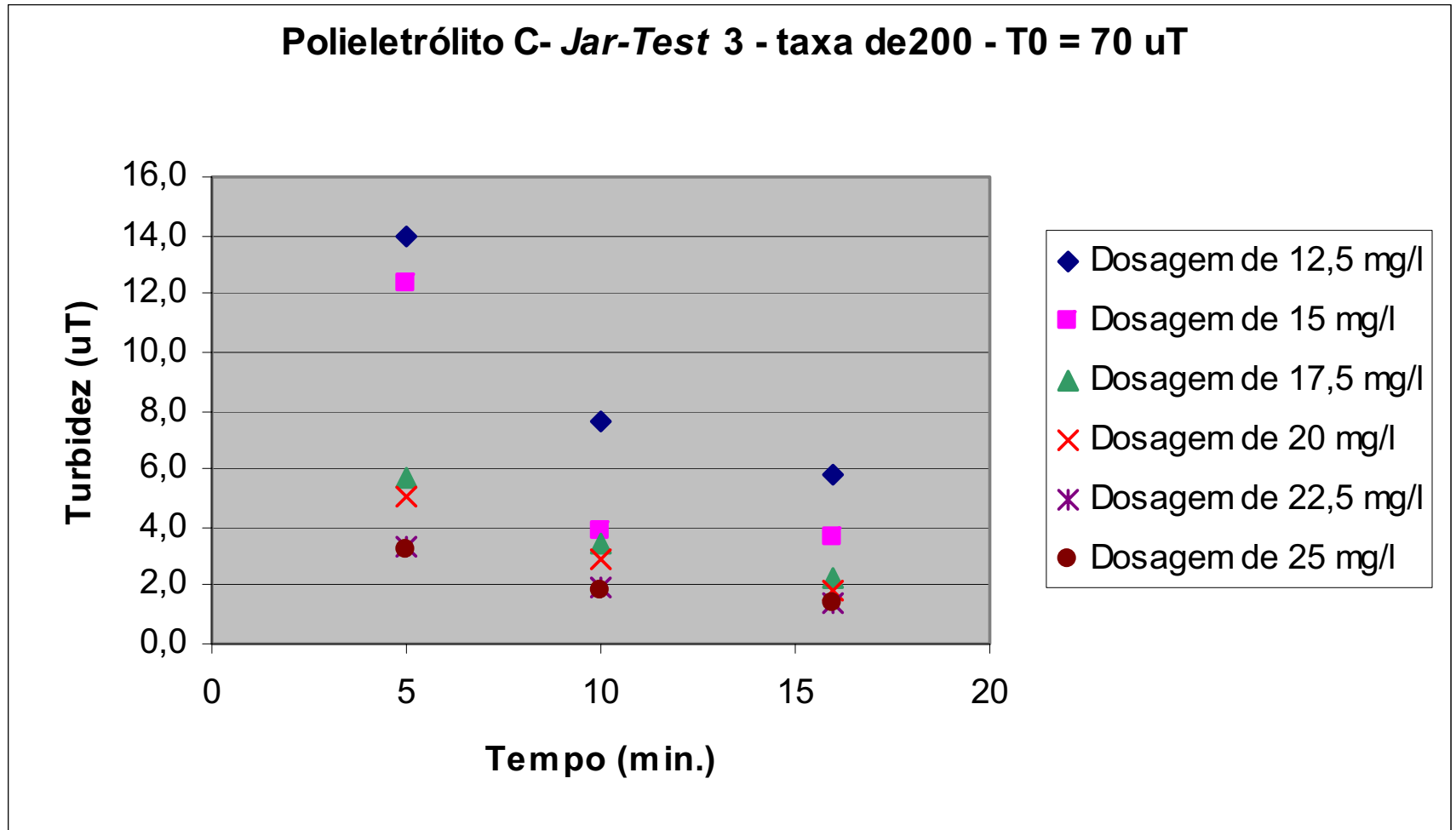
**Figura 59:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 50 uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 055

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 8,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 70uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 29°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0		
5		14,0	12,4	5,7	5,0	3,3	3,2		
10		7,6	3,9	3,4	2,9	1,9	1,8		
16		5,8	3,7	2,3	1,8	1,4	1,4		
Dosagem (mg/l)		12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0		

**Formulário 28:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 70uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 056



**Figura 60:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 70uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

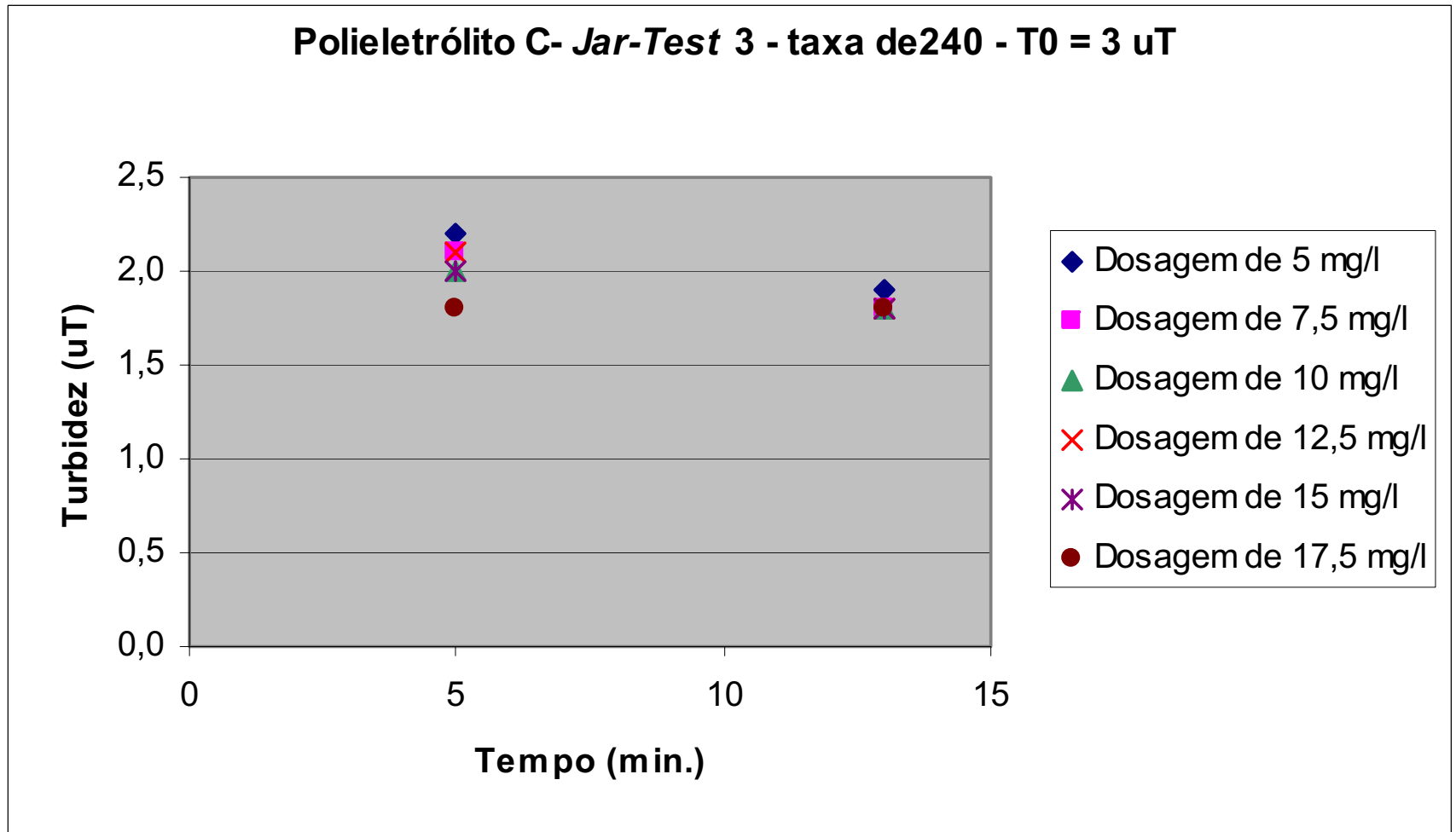


ANEXO 057

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 2,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 3uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm						
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		2,2	2,1	2,0	2,1	2,0	1,8		
13		1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8		
Dosagem (mg/l)		5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 29:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 3uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 058



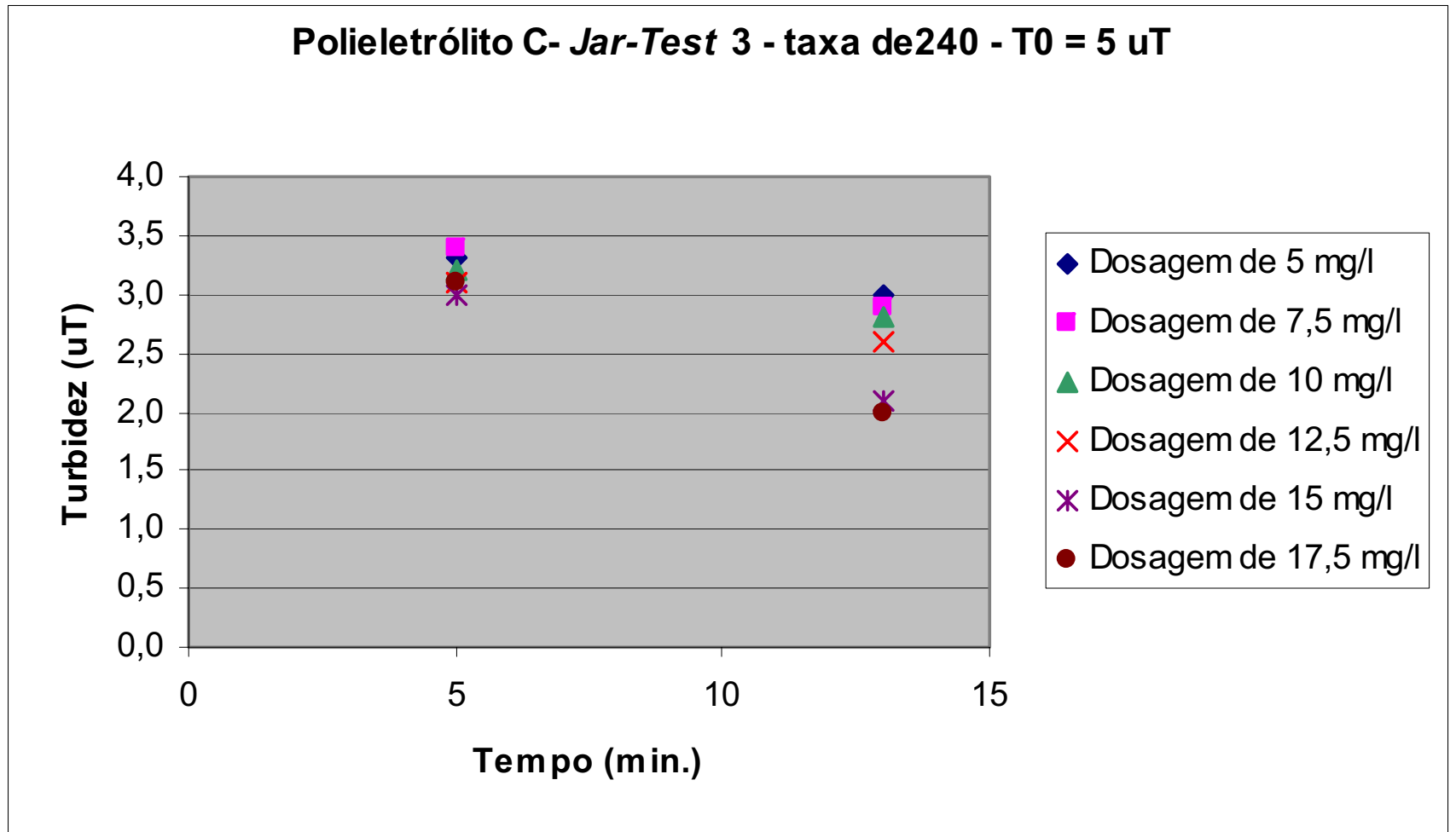
**Figura 61:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 3uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 059

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 5uT					
				pH: 7,6					
				Temperatura: 29°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm						
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		3,3	3,4	3,2	3,1	3,0	3,1		
13		3,0	2,9	2,8	2,6	2,1	2,0		
Dosagem (mg/l)		5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 30:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 5uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 060



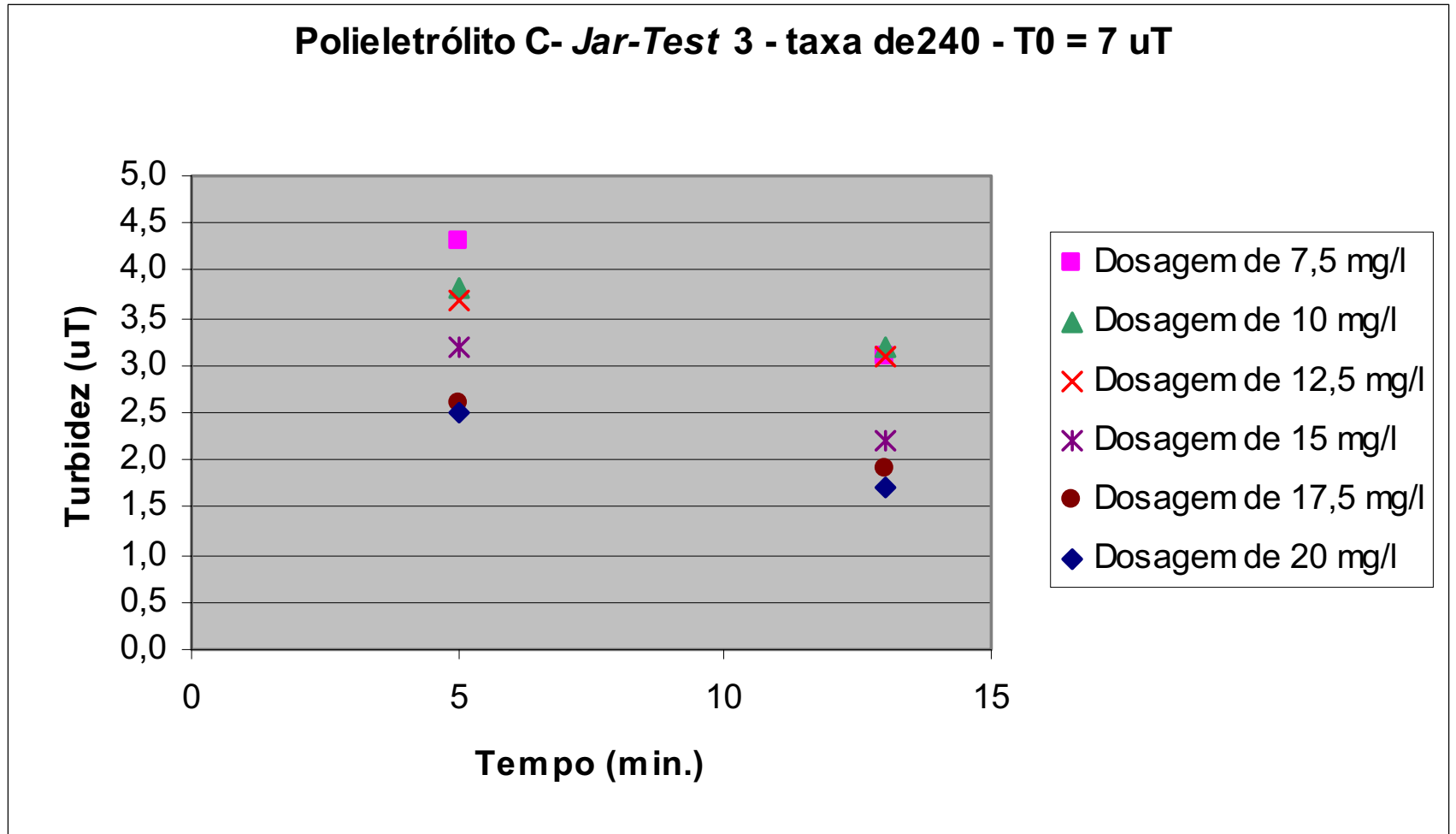
**Figura 62:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 5uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 061

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 7uT					
				pH: 7,6					
				Temperatura: 29°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm						
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		4,3	3,8	3,7	3,2	2,6	2,5		
13		3,1	3,2	3,1	2,2	1,9	1,7		
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 31:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 7uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 062





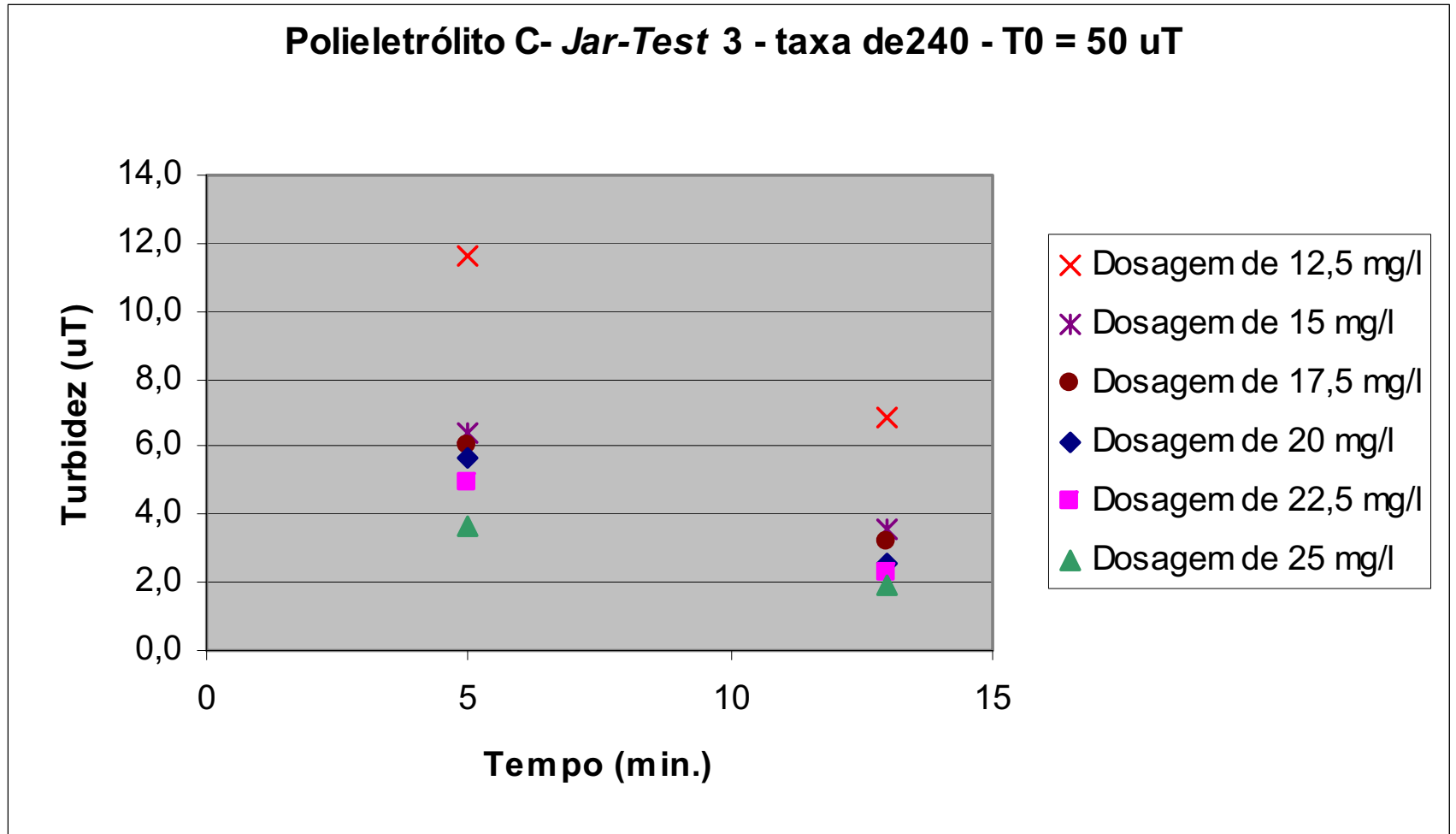
**Figura 63:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 7uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 063

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 50uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 29°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm						
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0		
5		11,6	6,4	6,0	5,7	4,9	3,7		
13		6,9	3,6	3,2	2,6	2,3	1,9		
Dosagem (mg/l)		12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0		

**Formulário 32:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 50uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 064



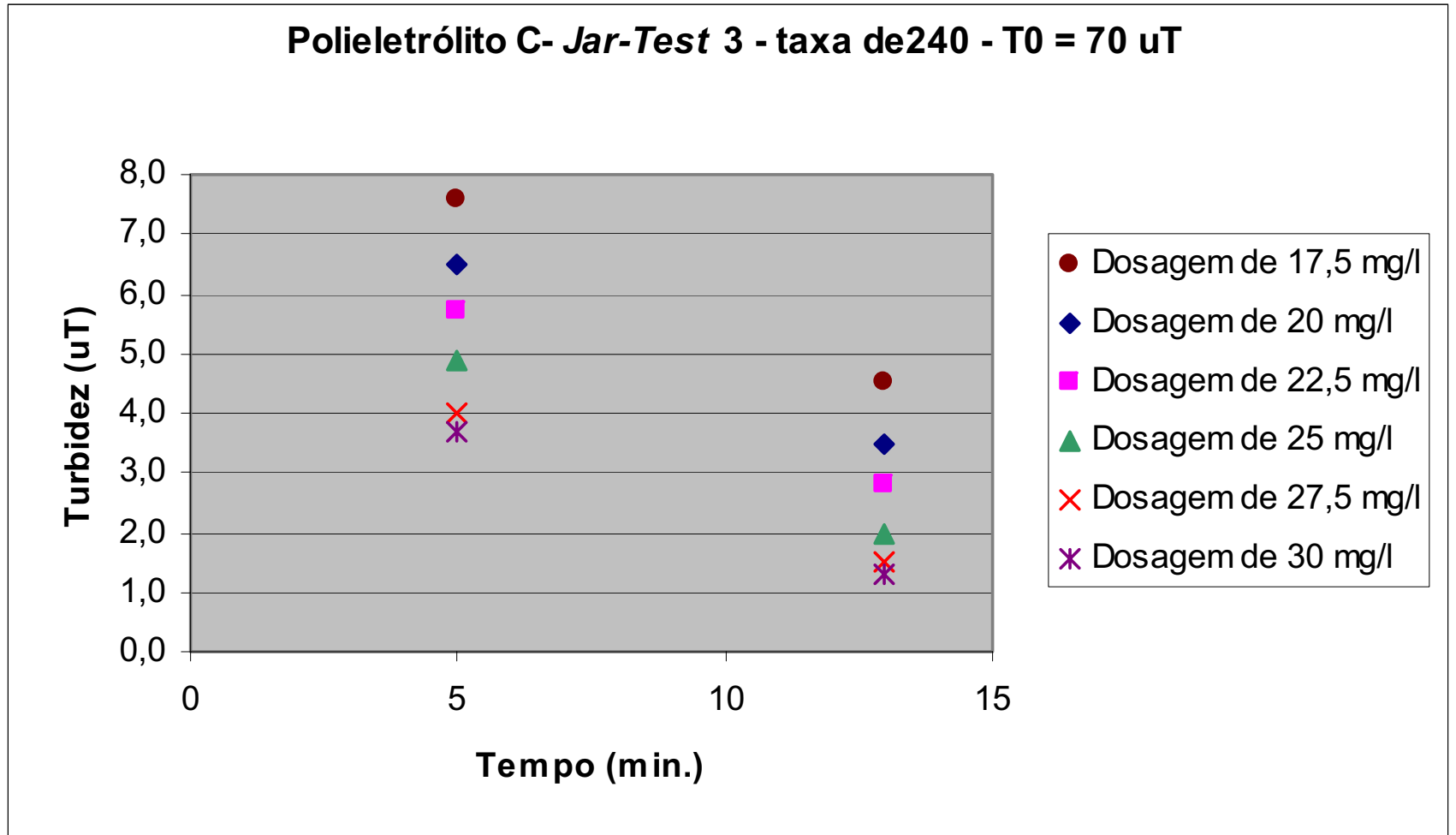
**Figura 64:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 50uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 065

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 70uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm						
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0		
5		7,6	6,5	5,7	4,9	4,0	3,7		
13		4,5	3,5	2,8	2,0	1,5	1,3		
Dosagem (mg/l)		17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0		

**Formulário 33:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 70uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 066



**Figura 65:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 70uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

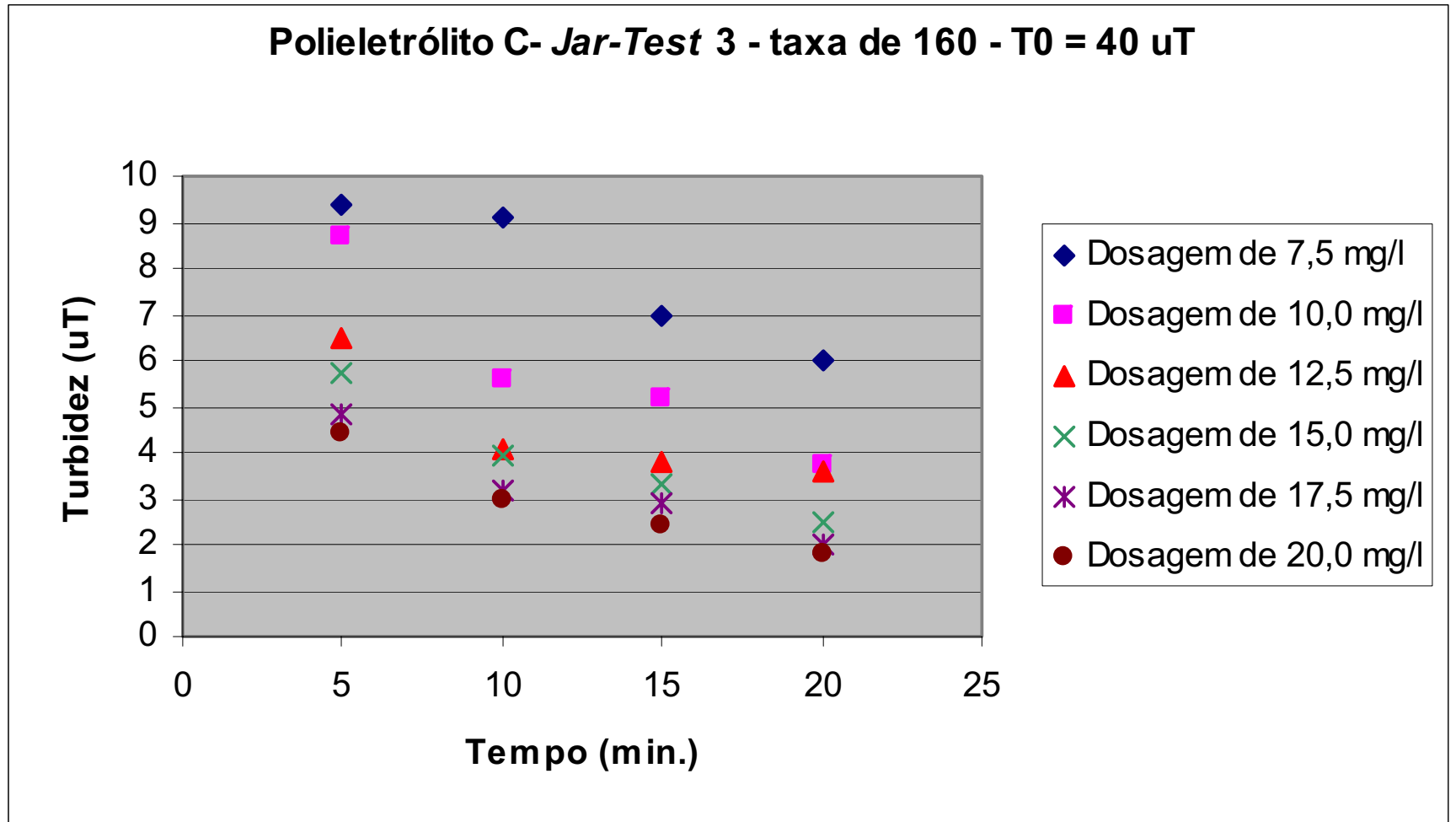
## ANEXO 067

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 15/05/05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 40 UT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,5					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm	Temperatura: 22 °C					
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		9,4	8,7	6,5	5,7	4,8	4,4		
10		9,1	5,6	4,1	3,9	3,2	3,0		
15		7,0	5,2	3,8	3,3	2,9	2,4		
20		6,0	3,7	3,6	2,5	2,0	1,8		
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 34:** Jar-test para o MFDML – Turbidez 40uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



ANEXO 068



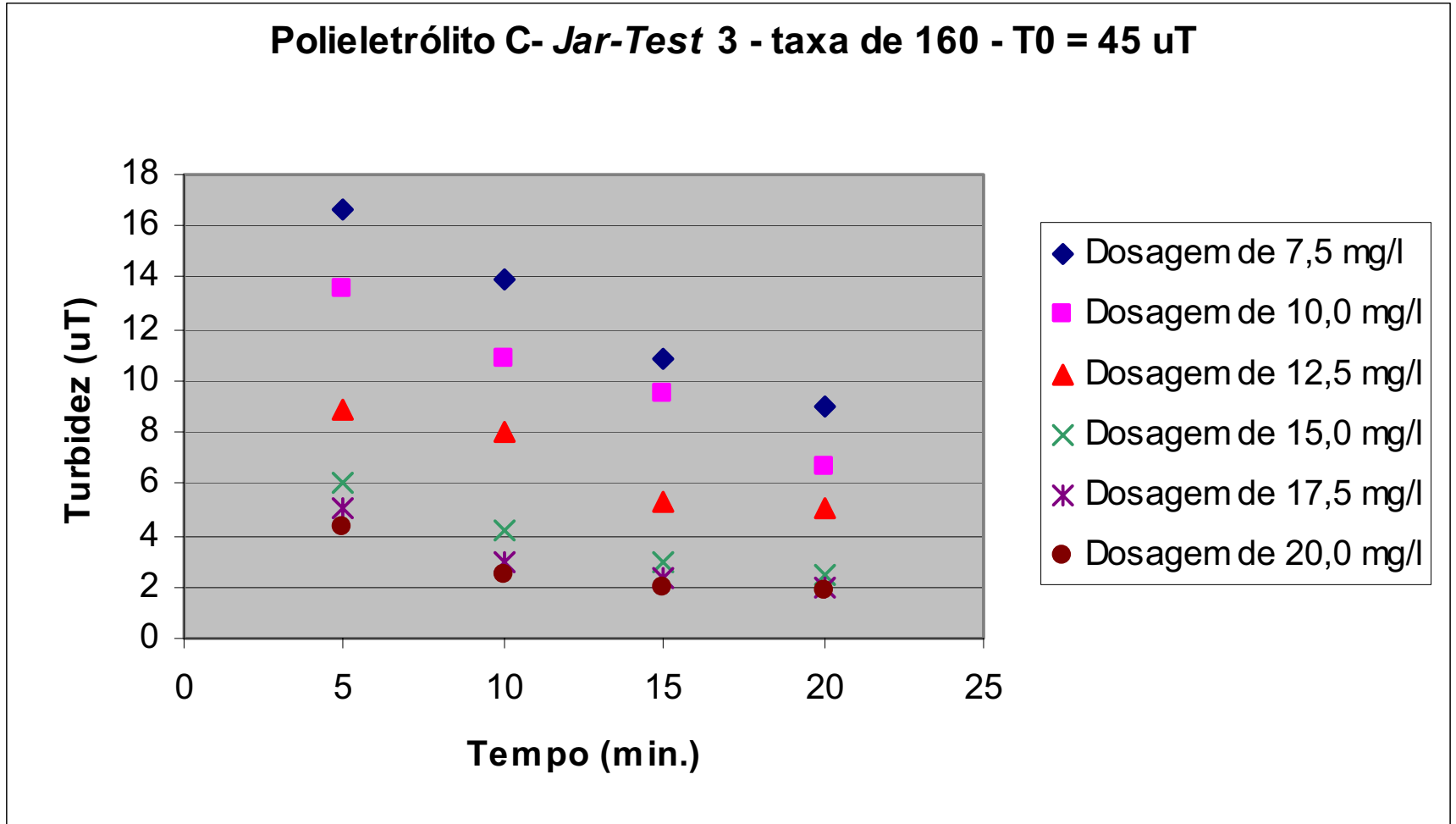
**Figura 66:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 40uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 069

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 15/05/05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 45 UT					
				pH: 7,8					
				Temperatura: 26,6 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		16,6	13,6	8,9	6,0	5,0	4,3		
10		13,9	10,8	8,0	4,2	2,9	2,5		
15		10,8	9,5	5,3	2,9	2,3	2,0		
20		9,0	6,6	5,0	2,5	2,0	1,8		
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 35:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 45uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 070



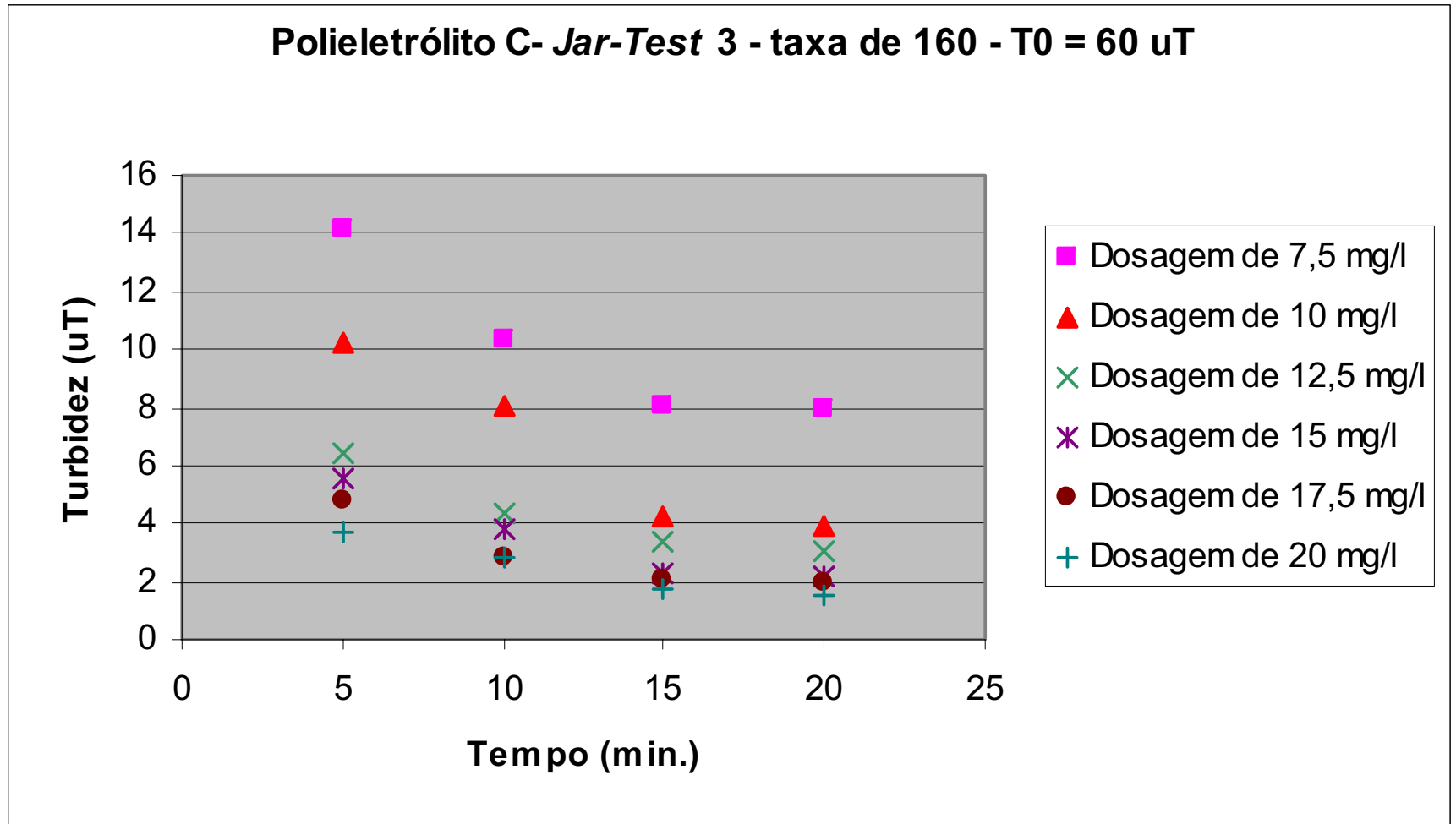
**Figura 67:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 45uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 071

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 15/05/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 60uT					
				pH: 7,3					
				Temperatura: 29°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		14,1	10,2	6,4	5,6	4,8	3,7		
10		10,3	8,1	4,4	3,8	2,8	2,8		
15		8,1	4,2	3,4	2,3	2,1	1,7		
20		7,9	3,9	3,0	2,2	2,0	1,5		
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 36:** Jar-test para o MFDML – Turbidez 60uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 072



**Figura 68:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 60uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

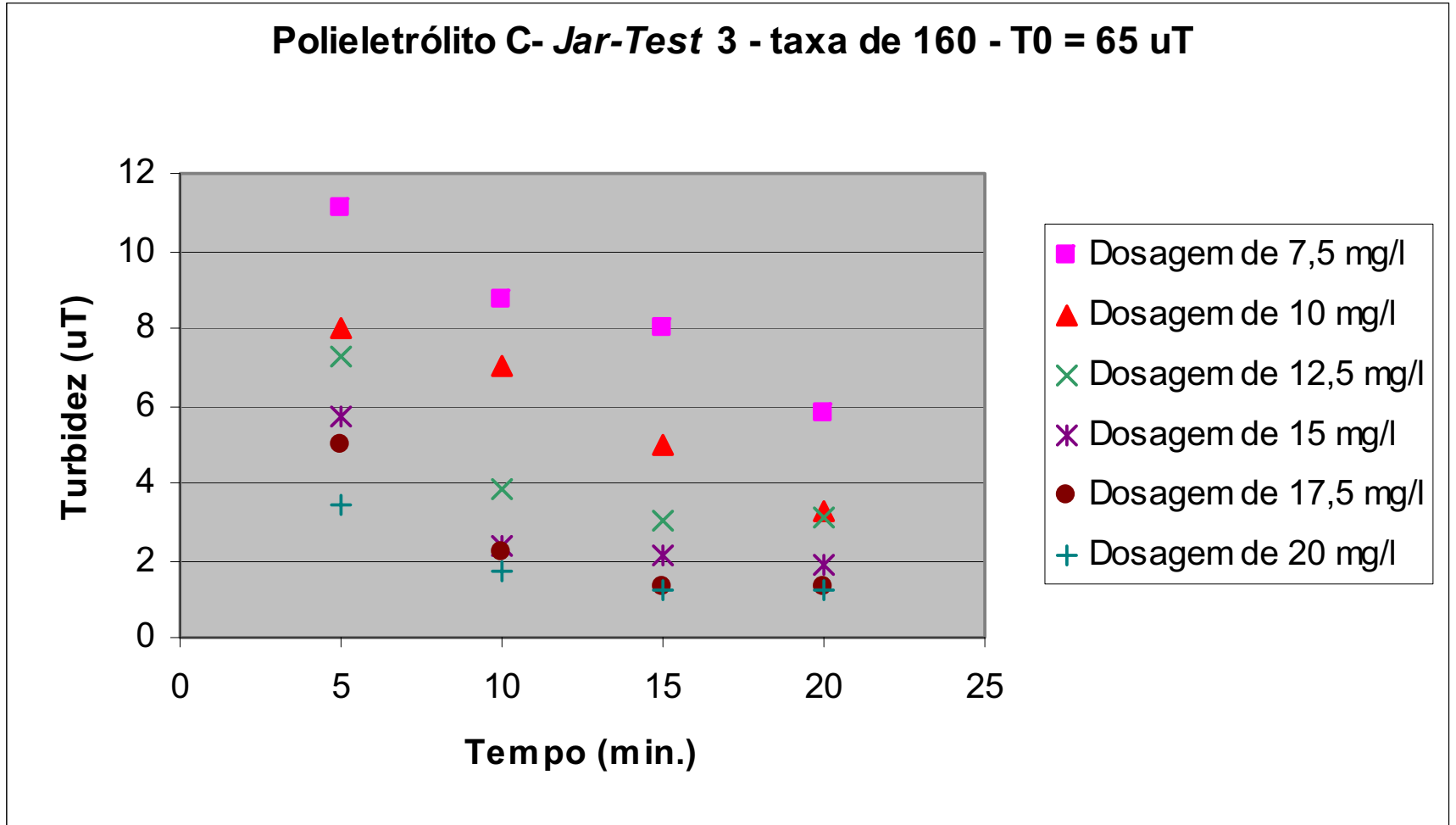


ANEXO 073

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 15/05/2005				Observações		
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0ml		
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 65uT						
				pH: 7,4						
				Temperatura: 27°C						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo										
				Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia						
				Decantação						
Tempo (min.)		Turbidez								
		Cubas	1	2	3	4	5	6		
		dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5			11,1	8,0	7,3	5,7	5,0	3,4		
10			8,7	7,0	3,8	2,4	2,2	1,7		
15			8,0	5,0	3,0	2,1	1,3	1,2		
20			5,8	3,3	3,1	1,9	1,3	1,2		
Dosagem (mg/l)			7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 37:** Jar-test para o MFDML – Turbidez 65uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 074



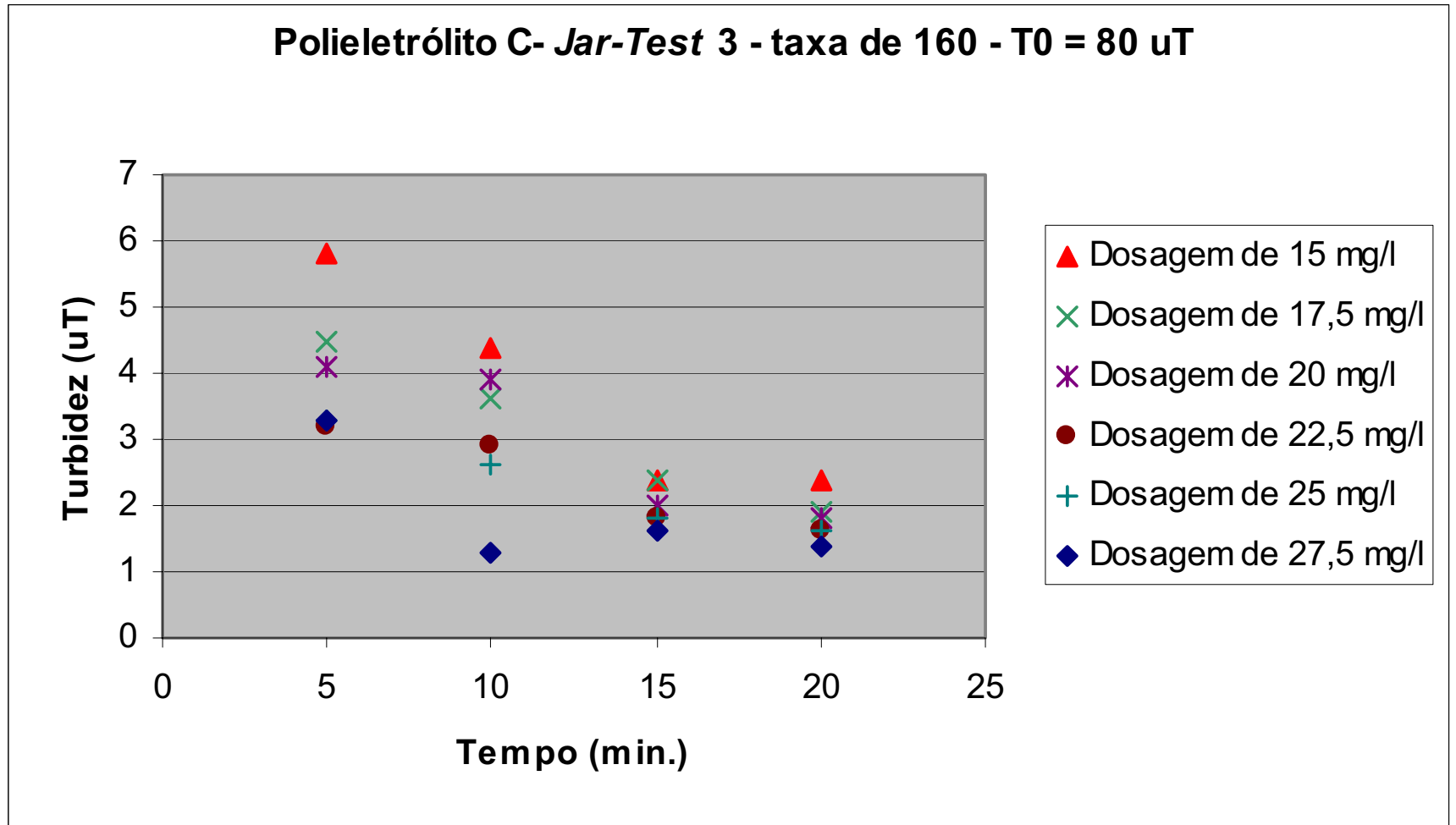
**Figura 69:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 65uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 075

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 18/05/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 80uT					
				pH: 7,2					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm						
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0		
5		5,8	4,5	4,1	3,2	3,3	3,3		
10		4,4	3,6	3,9	2,9	2,6	1,3		
15		2,4	2,4	2,0	1,8	1,8	1,6		
20		2,4	1,9	1,8	1,6	1,6	1,4		
Dosagem (mg/l)		15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5		

**Formulário 38:** Jar-test para o MFDML – Turbidez 80uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 076



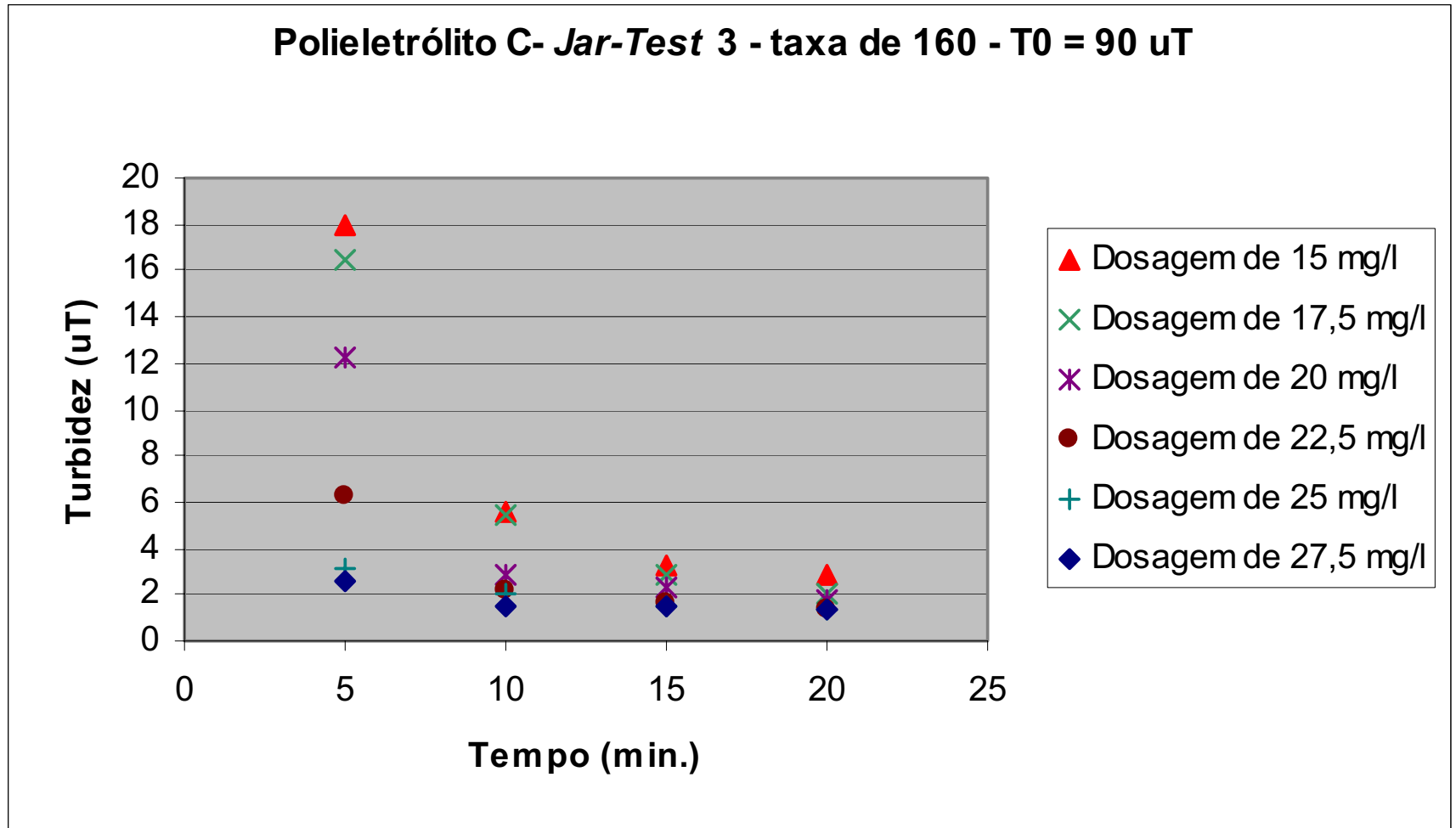
**Figura 70:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 80uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 077

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 18/05/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 90uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,1					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm	Temperatura: 28°C					
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm						
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0		
5		17,9	16,4	12,2	6,2	3,1	2,6		
10		5,6	5,5	2,8	2,2	2,0	1,5		
15		3,2	2,9	2,3	1,6	1,5	1,5		
20		2,8	2,0	1,8	1,4	1,4	1,4		
Dosagem (mg/l)		15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5		

**Formulário 39:** Jar-test para o MFDML – Turbidez 90uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 078





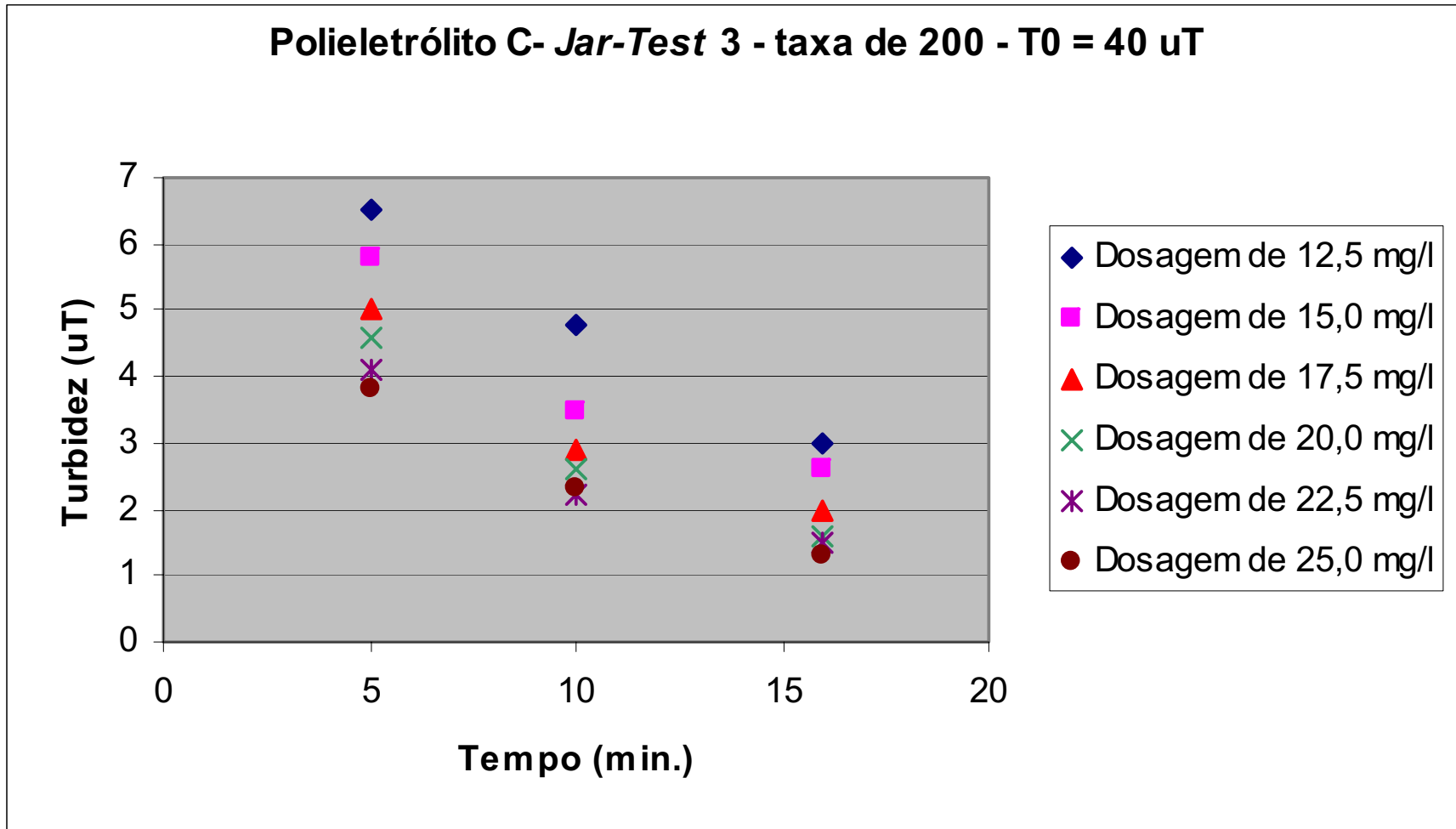
**Figura 71:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 90uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 079

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 16 /05/05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 7,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 40 UT					
				pH: 7,2					
				Temperatura: 26 °C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0		
5		6,5	5,8	5,0	4,6	4,1	3,8		
10		4,8	3,5	2,9	2,6	2,2	2,3		
16		3,0	2,6	2,0	1,6	1,5	1,3		
Dosagem (mg/l)		12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0		

**Formulário 40:** Jar-test para o MFDML – Turbidez 40uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 080



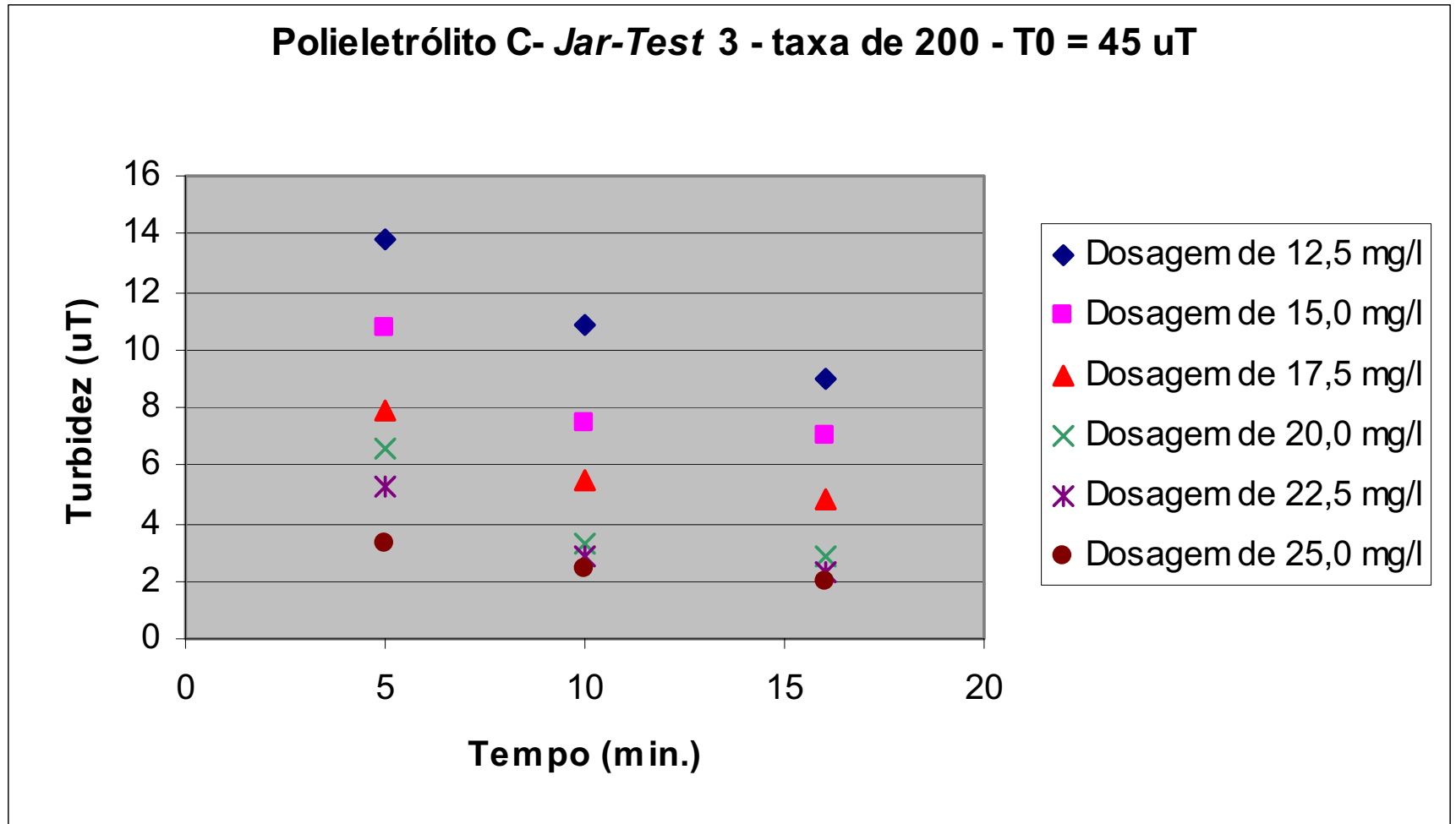
**Figura 72:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 40uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 081

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 16 /05/05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 45 UT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,4					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm	Temperatura: 26 °C					
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0		
5		13,8	10,7	7,9	6,6	5,3	3,3		
10		10,9	7,5	5,5	3,3	2,8	2,4		
16		9,0	7,0	4,8	2,8	2,3	2,0		
Dosagem (mg/l)		12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0		

**Formulário 41:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 45 uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 082



**Figura 73:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 45uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

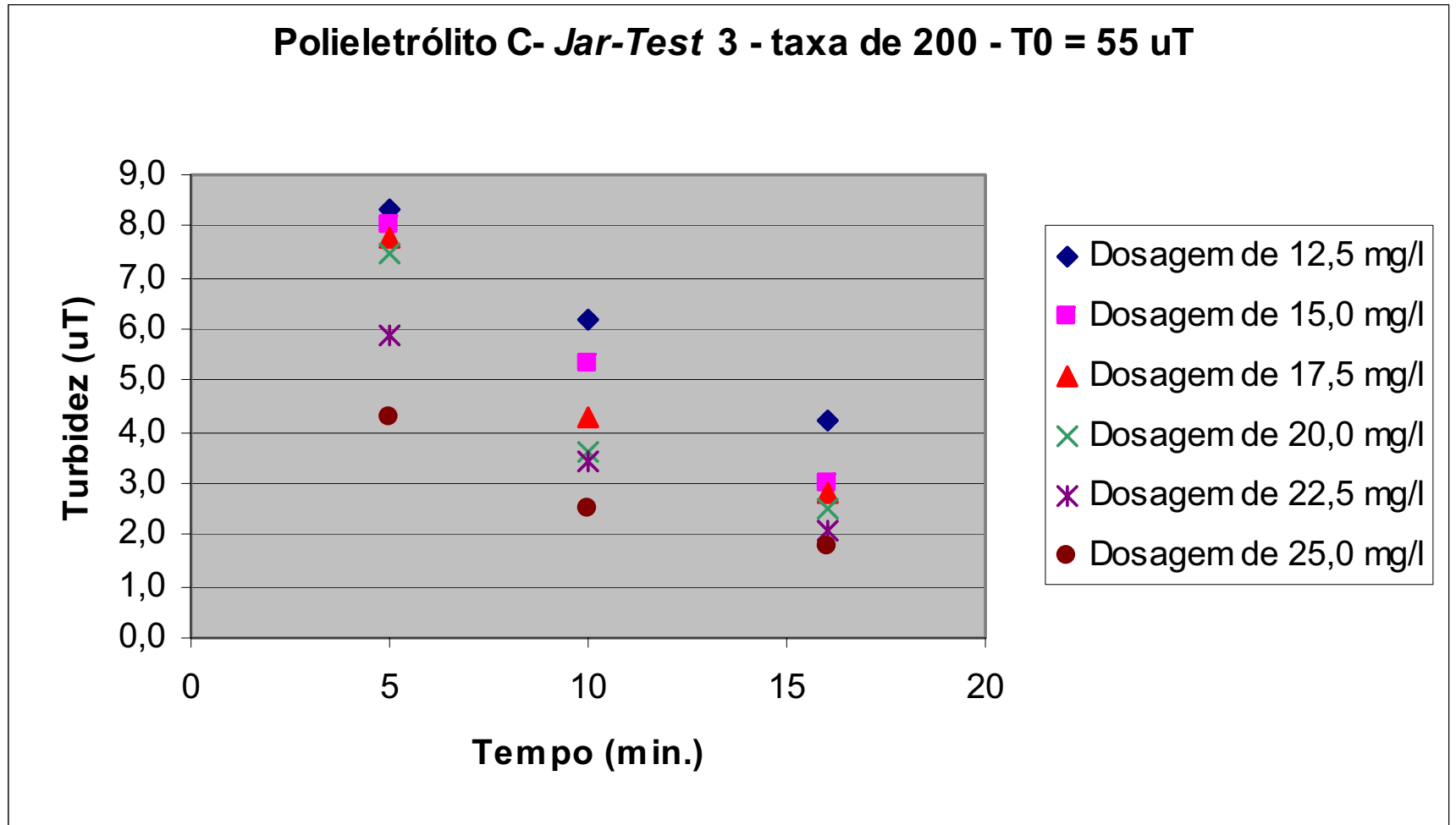
## ANEXO 083

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 55 uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Cubas	Turbidez							
		1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0		
5		8,3	8,0	7,8	7,5	5,9	4,3		
10		6,2	5,3	4,3	3,6	3,4	2,5		
16		4,2	3,0	2,8	2,5	2,1	1,8		
Dosagem (mg/l)		12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0		

**Formulário 42:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 55uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



ANEXO 084



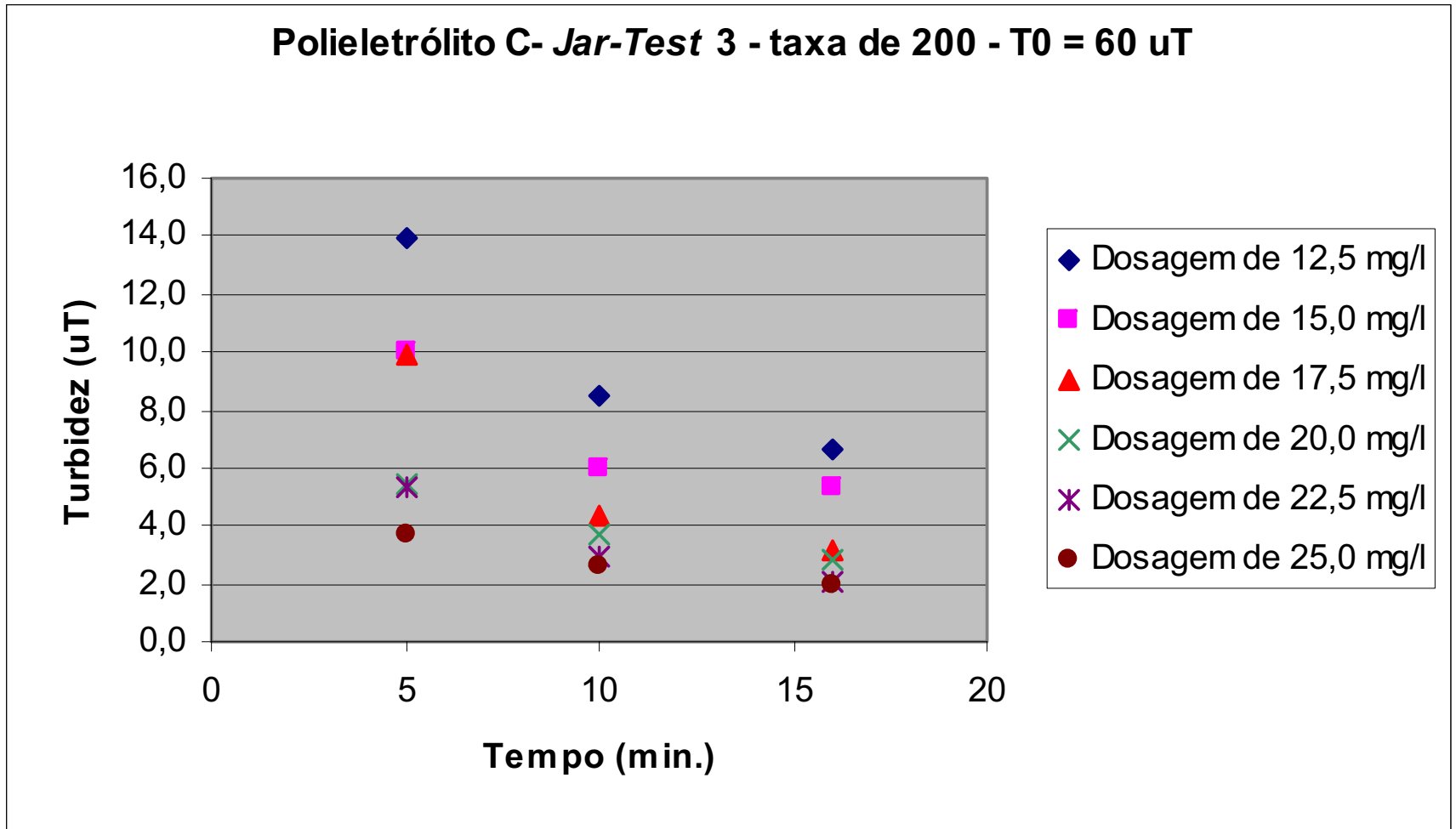
**Figura 74:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 55uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 085

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 60 uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0		
5		13,9	10,0	9,9	5,4	5,3	3,7		
10		8,5	6,0	4,3	3,7	2,9	2,6		
16		6,6	5,3	3,2	2,8	2,1	2,0		
Dosagem (mg/l)		12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0		

**Formulário 43:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 60 uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 086



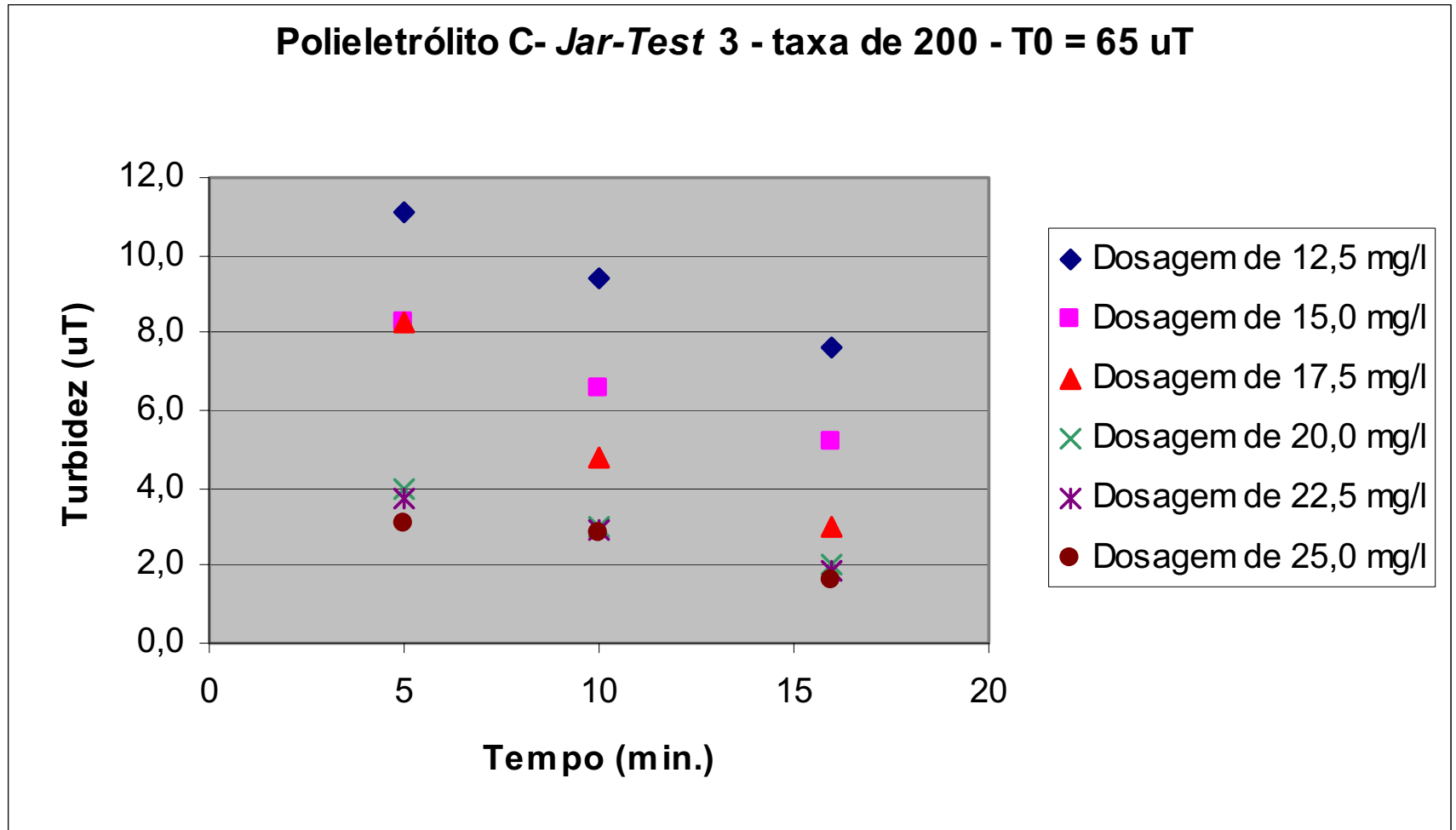
**Figura 75:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 60uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 087

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 8,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 65 uT					
				pH: 7,2					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0		
5		11,1	8,3	8,3	4,0	3,7	3,1		
10		9,4	6,6	4,8	3,0	2,9	2,8		
16		7,6	5,2	3,0	2,0	1,9	1,6		
Dosagem (mg/l)		12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0		

**Formulário 44:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 65uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 088



**Figura 76:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 65uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

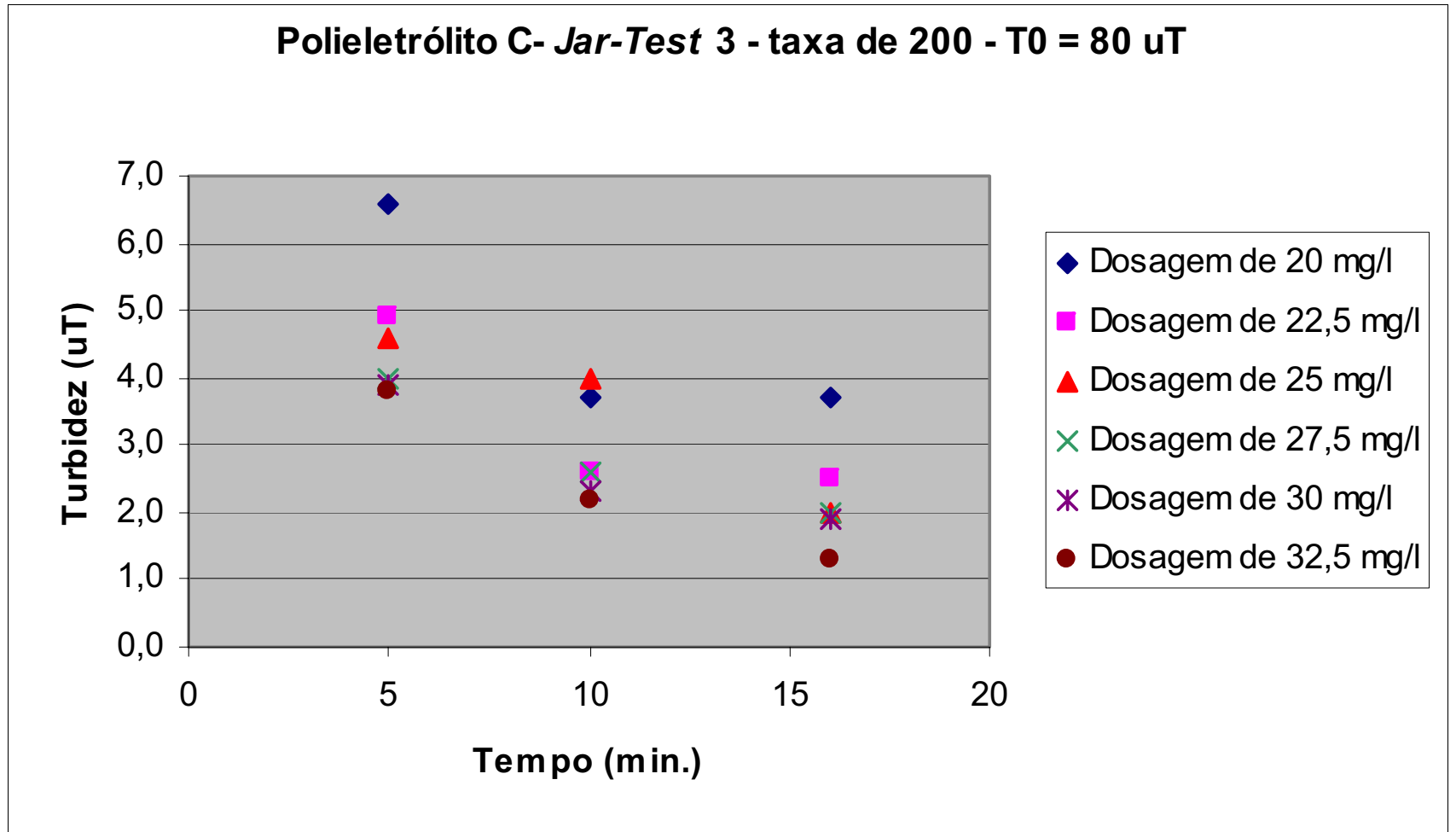


ANEXO 089

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 11,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 80uT					
				pH: 7,4					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0		
5		6,6	4,9	4,6	4,0	3,9	3,8		
10		3,7	2,6	4,0	2,6	2,3	2,2		
16		3,7	2,5	2,0	2,0	1,9	1,3		
Dosagem (mg/l)		20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5		

**Formulário 45:** Jar-test para o MFDML – Turbidez 80uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 090



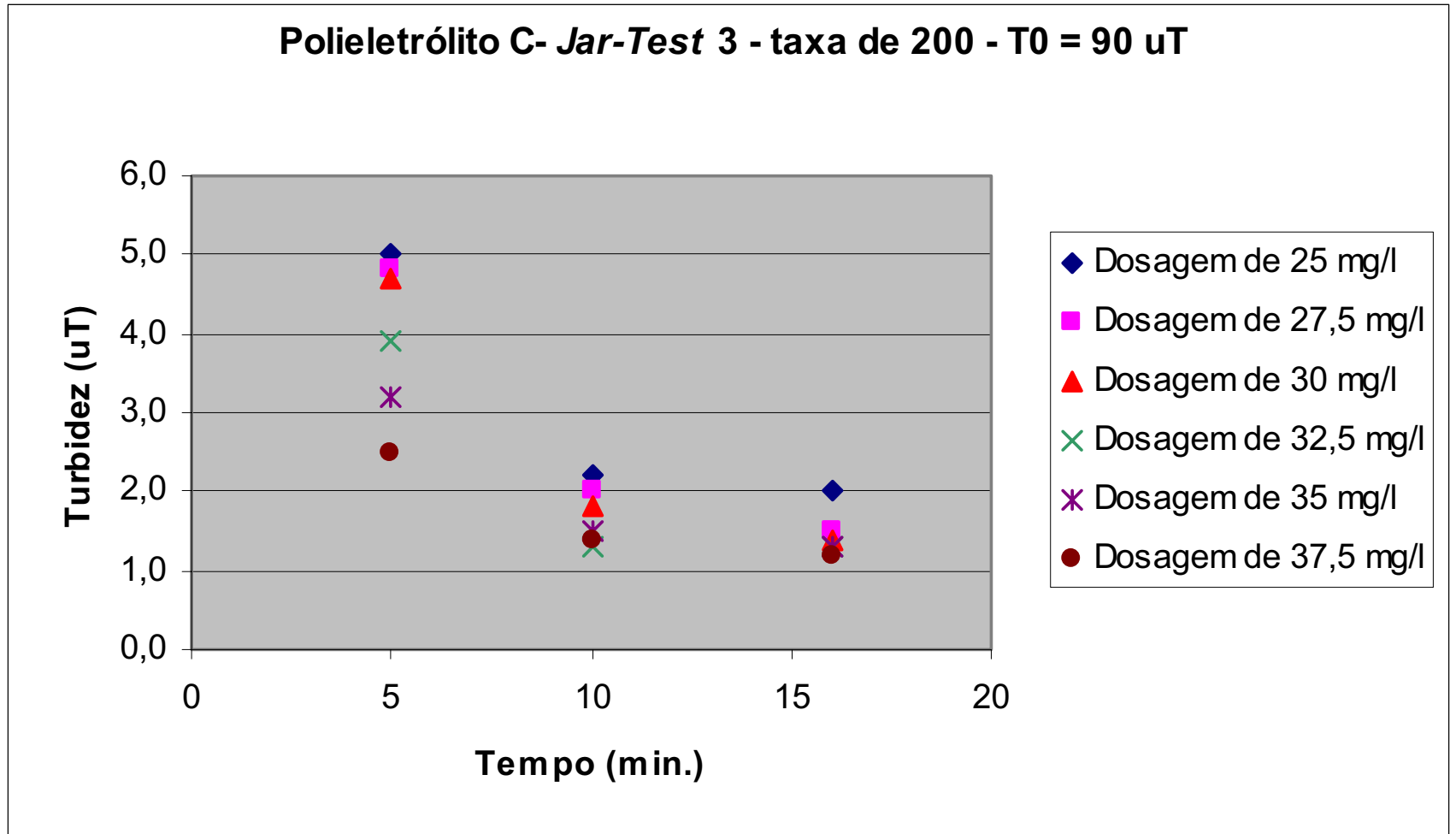
**Figura 77:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 80uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 091

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 90uT					
				pH: 7,3					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm						
floculação	36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm						
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0		
5		5,0	4,8	4,7	3,9	3,2	2,5		
10		2,2	2,0	1,8	1,3	1,5	1,4		
16		2,0	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2		
Dosagem (mg/l)		25,0	27,5	30,0	32,5	35,0	37,5		

**Formulário 46:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 90uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 092



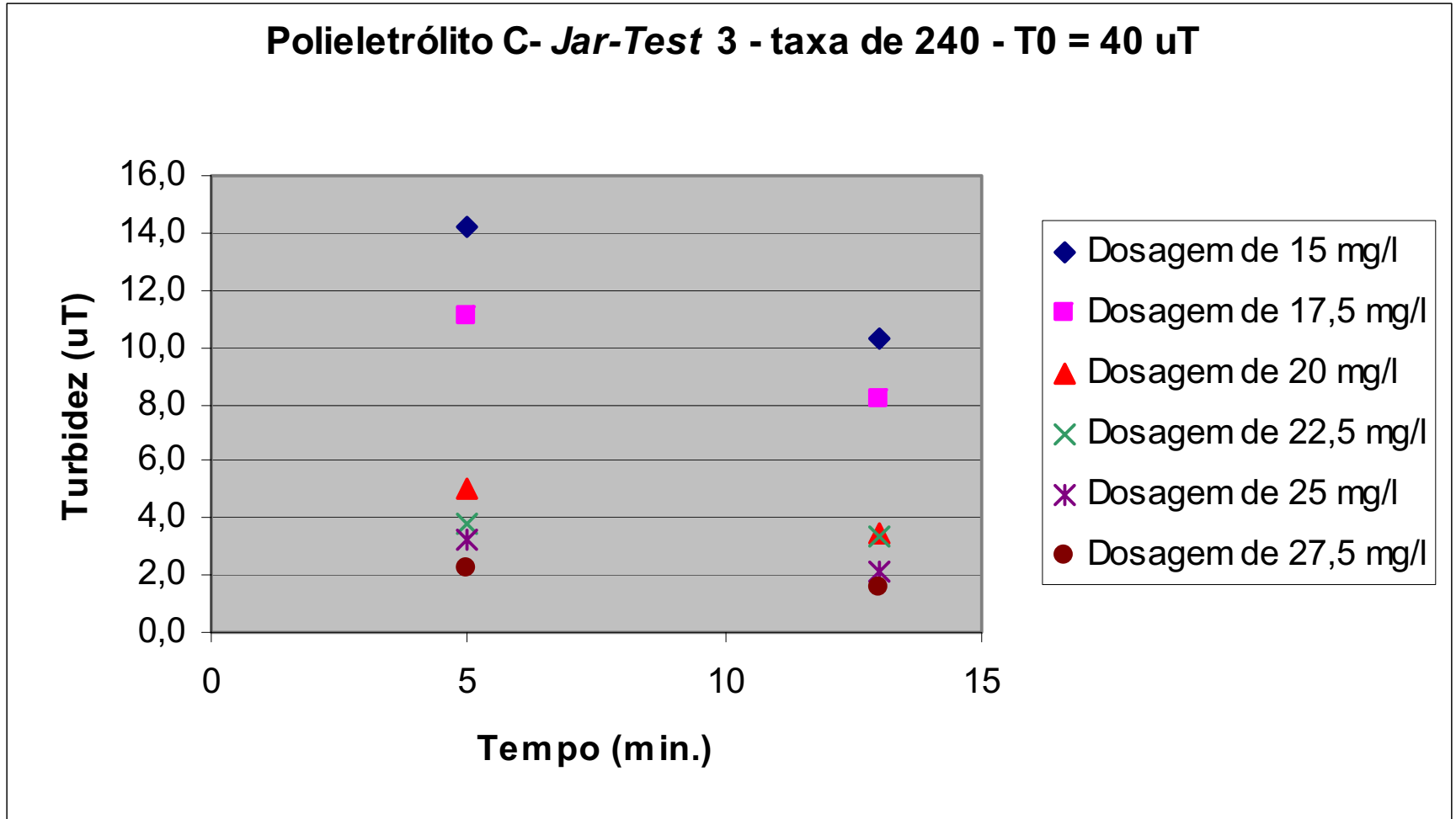
**Figura 78:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 90uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 093

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 18 /05/05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 40 UT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,1					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm	Temperatura: 28 °C					
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0		
5		14,2	11,1	5,0	3,8	3,2	2,2		
13		10,3	8,2	3,5	3,4	2,1	1,6		
Dosagem (mg/l)		15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5		

**Formulário 47:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 40uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 094





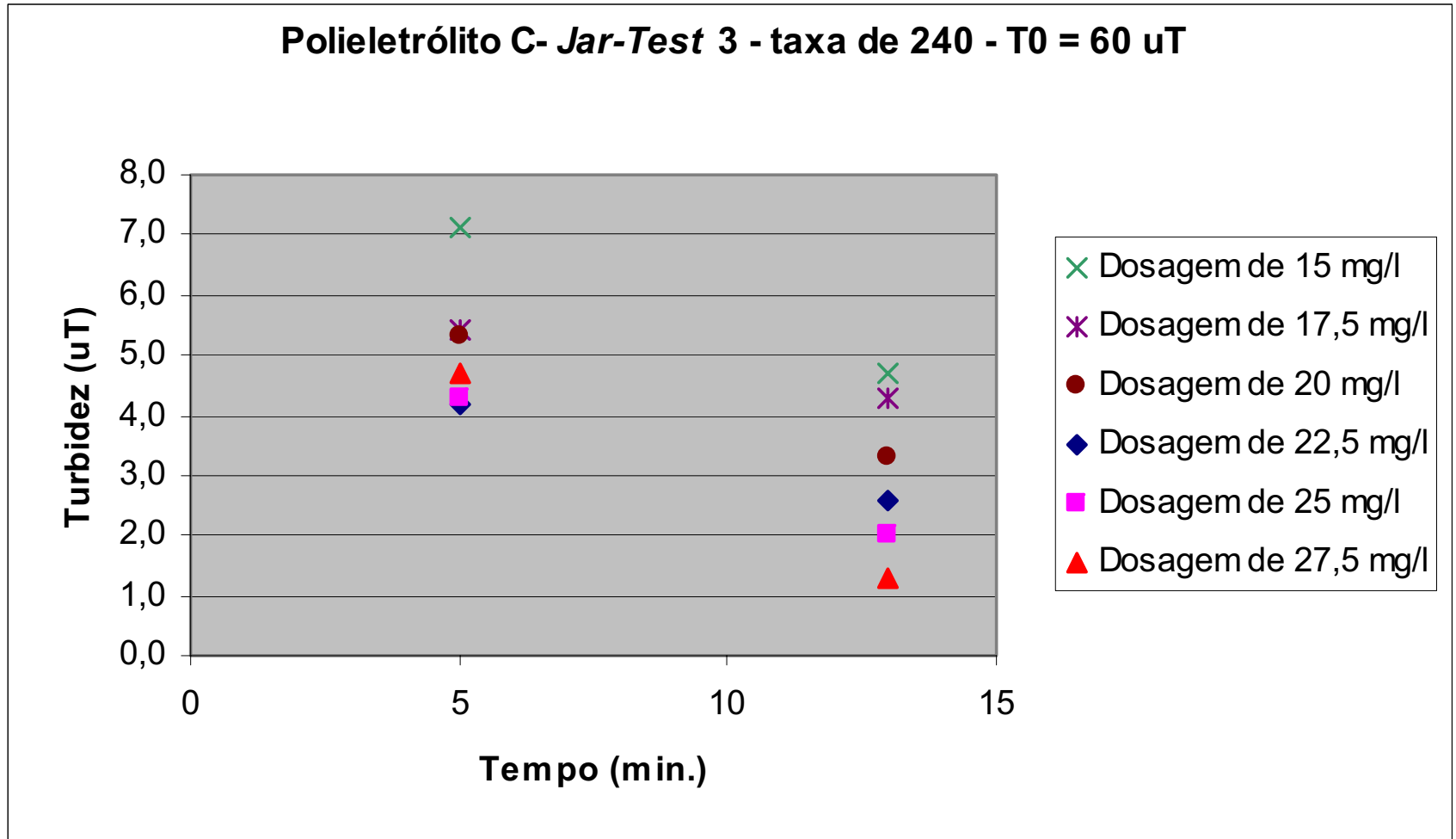
**Figura 79:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 40uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 095

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/03/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 60uT					
				pH: 7,2					
				Temperatura: 20°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm						
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0		
5		7,1	5,4	5,3	4,2	4,3	4,7		
13		4,7	4,3	3,3	2,6	2,0	1,3		
Dosagem (mg/l)		15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5		

**Formulário 48:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 60uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 096



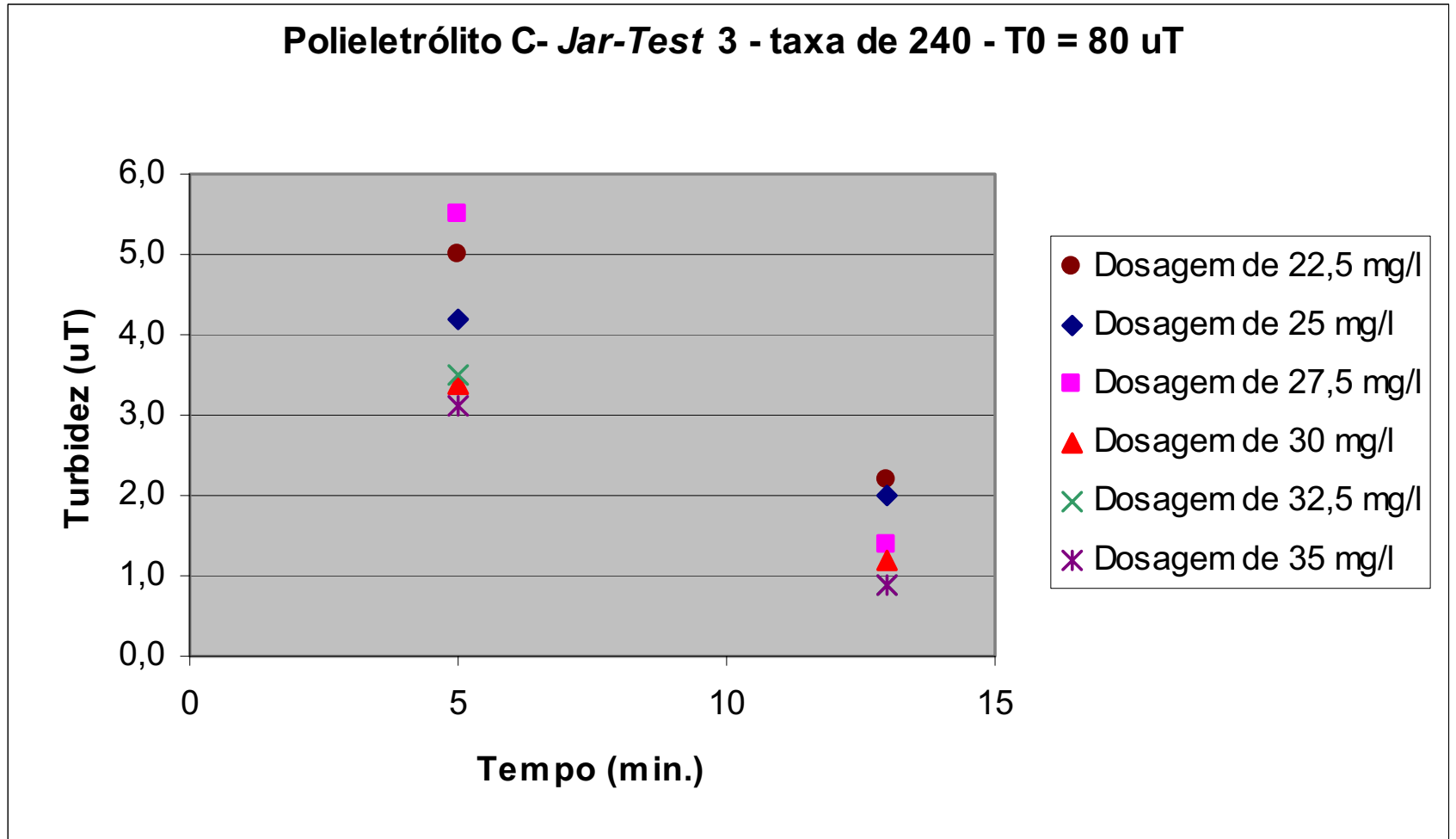
**Figura 80:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 60uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 097

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/05/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 10,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 80uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,1					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0		
5		5,0	4,2	5,5	3,4	3,5	3,1		
13		2,2	2,0	1,4	1,2	0,9	0,9		
Dosagem (mg/l)		22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0		

**Formulário 49:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 80uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 098



**Figura 81:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 80uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

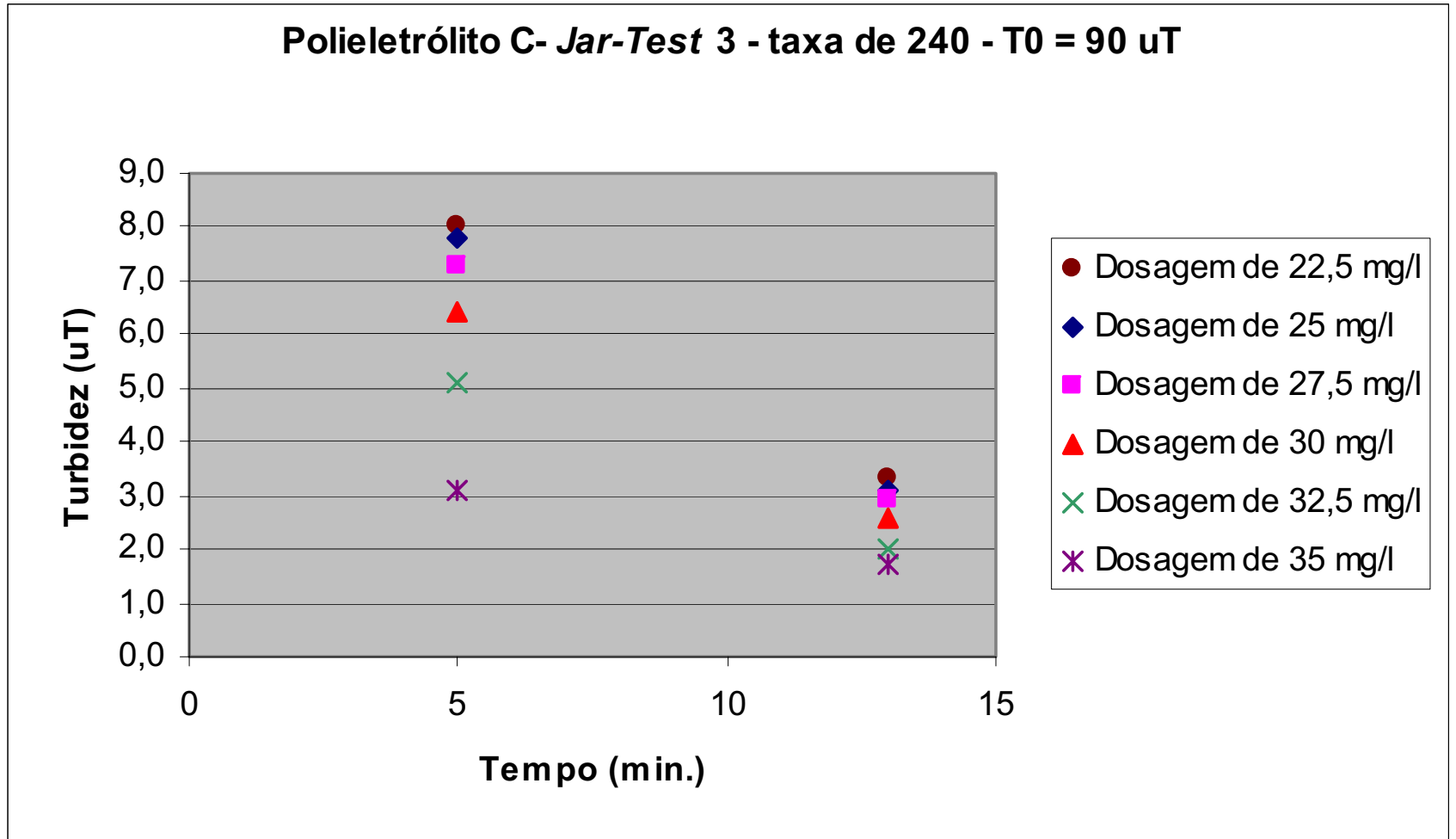
## ANEXO 099

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 02/05/2005				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 13,0ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 90uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,1					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5,0 s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	43 s <sup>-1</sup>	4,0 min.	53 rpm						
Para vazão de 0,0000873 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0		
5		8,0	7,8	7,3	6,4	5,1	3,1		
13		3,3	3,1	2,9	2,6	2,0	1,7		
	Dosagem (mg/l)	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0		

**Formulário 50:** *Jar-test* para o MFDML – Turbidez 90uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



ANEXO 100



**Figura 82:** Gráfico do *jar-test* para o MFDML – Turbidez 90uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 101

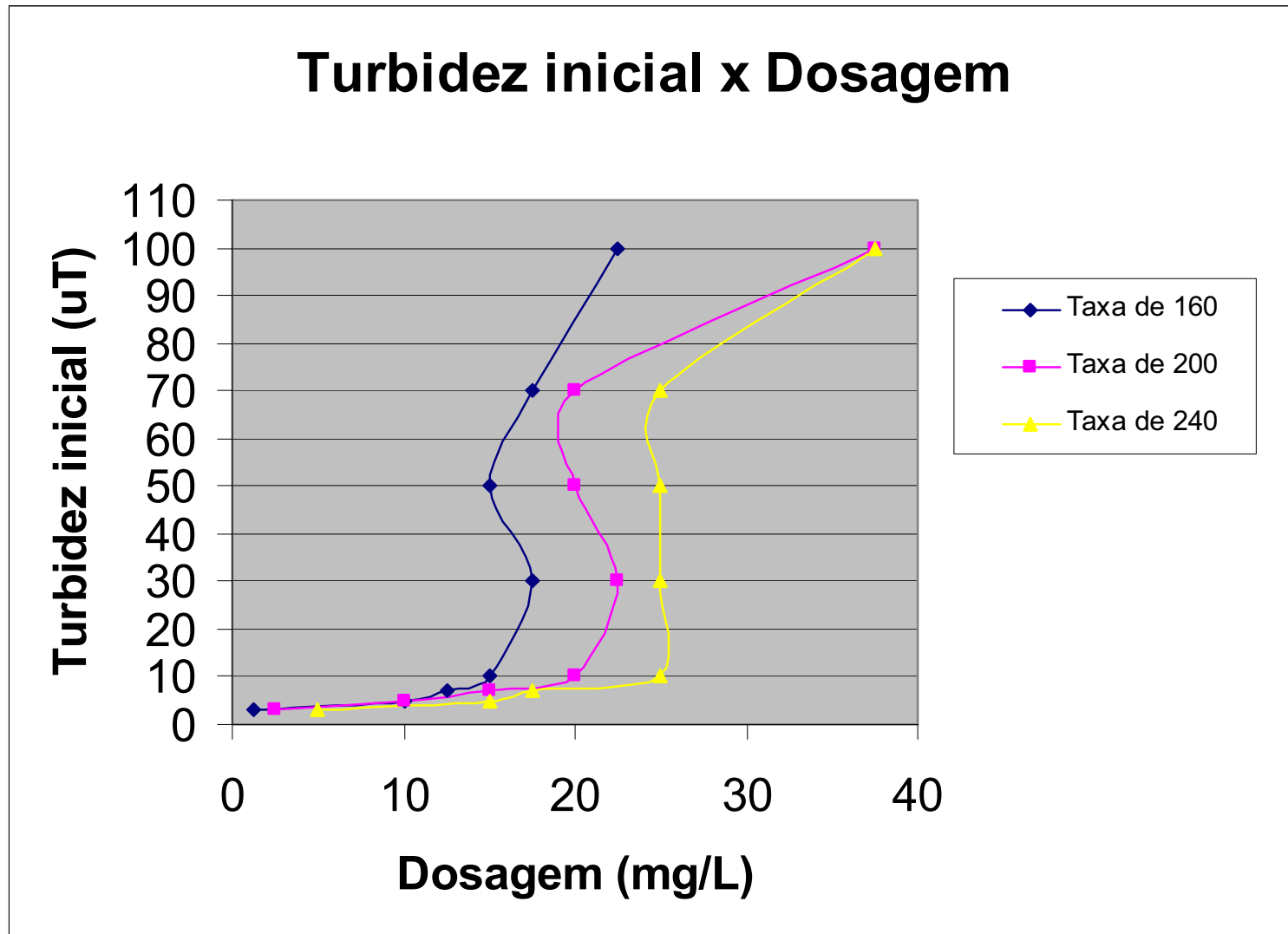


Figura 83: Gráfico indicativo do perfil de dosagens no MFDML a partir da turbidez inicial

## ANEXO 102

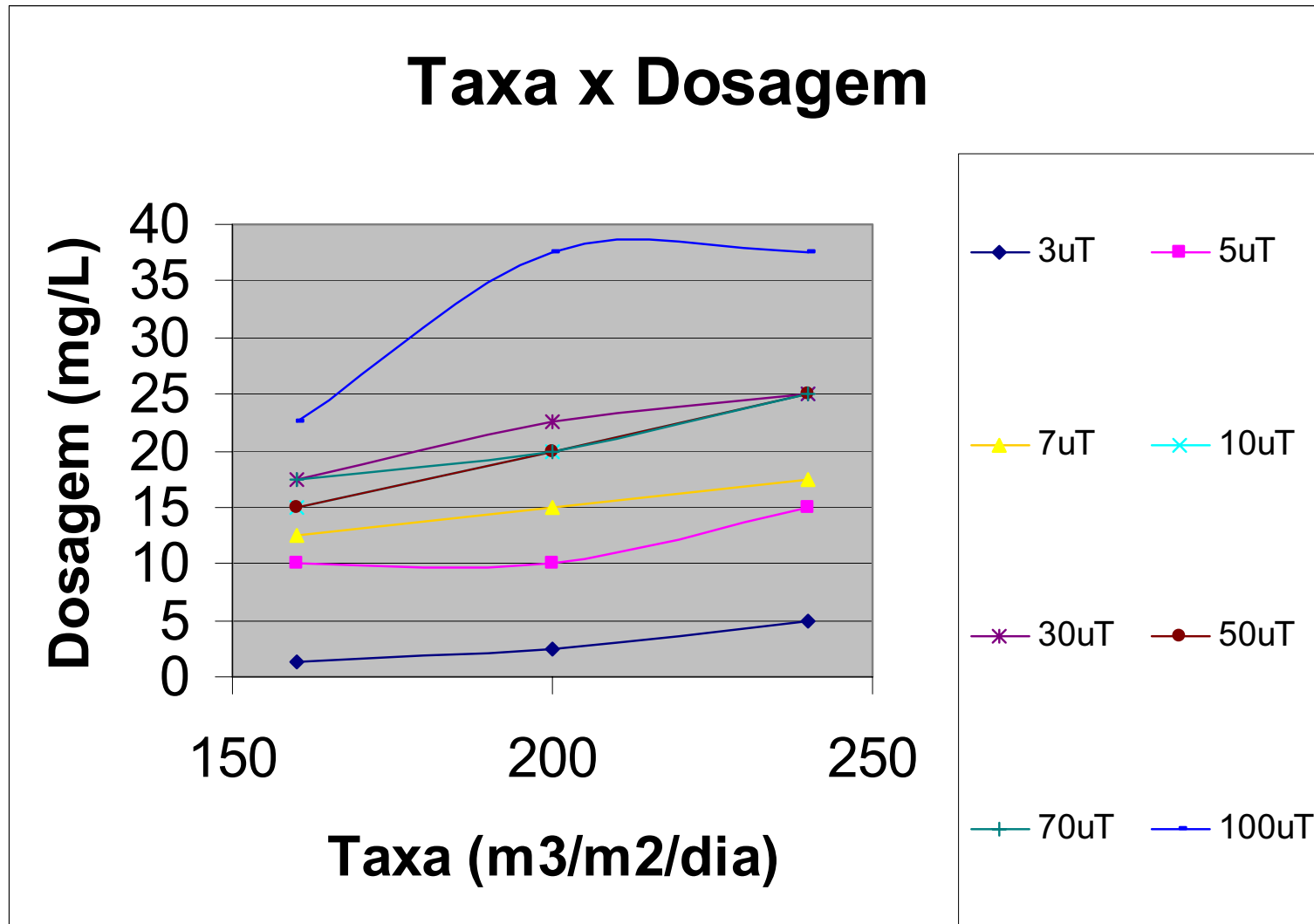


Figura 84: Gráfico indicativo do perfil de dosagens no MFDML a partir da taxa de aplicação

## ANEXO 103

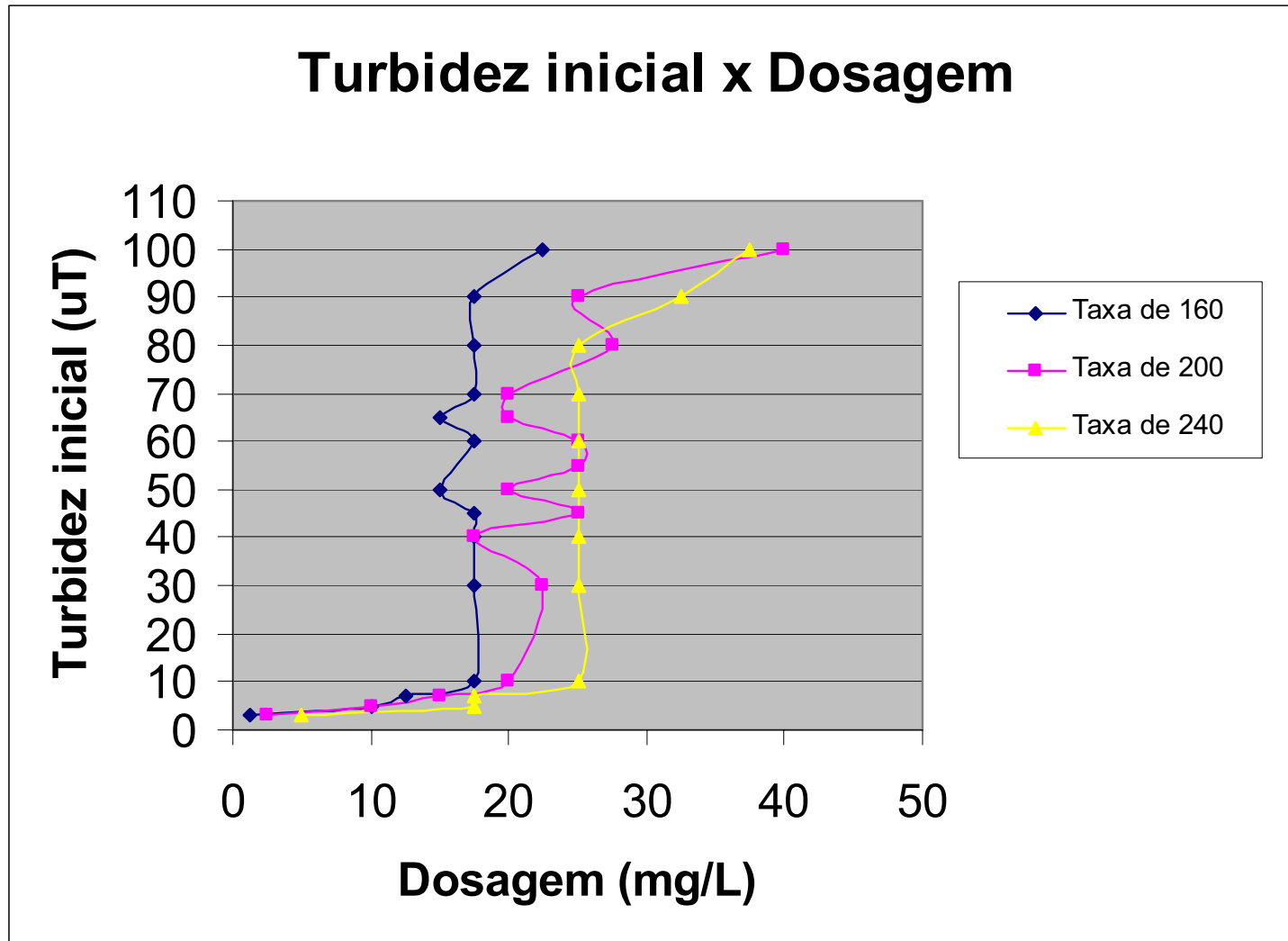


Figura 85: Gráfico indicativo do perfil de dosagens no MFDML a partir da turbidez inicial, complementado



ANEXO 104

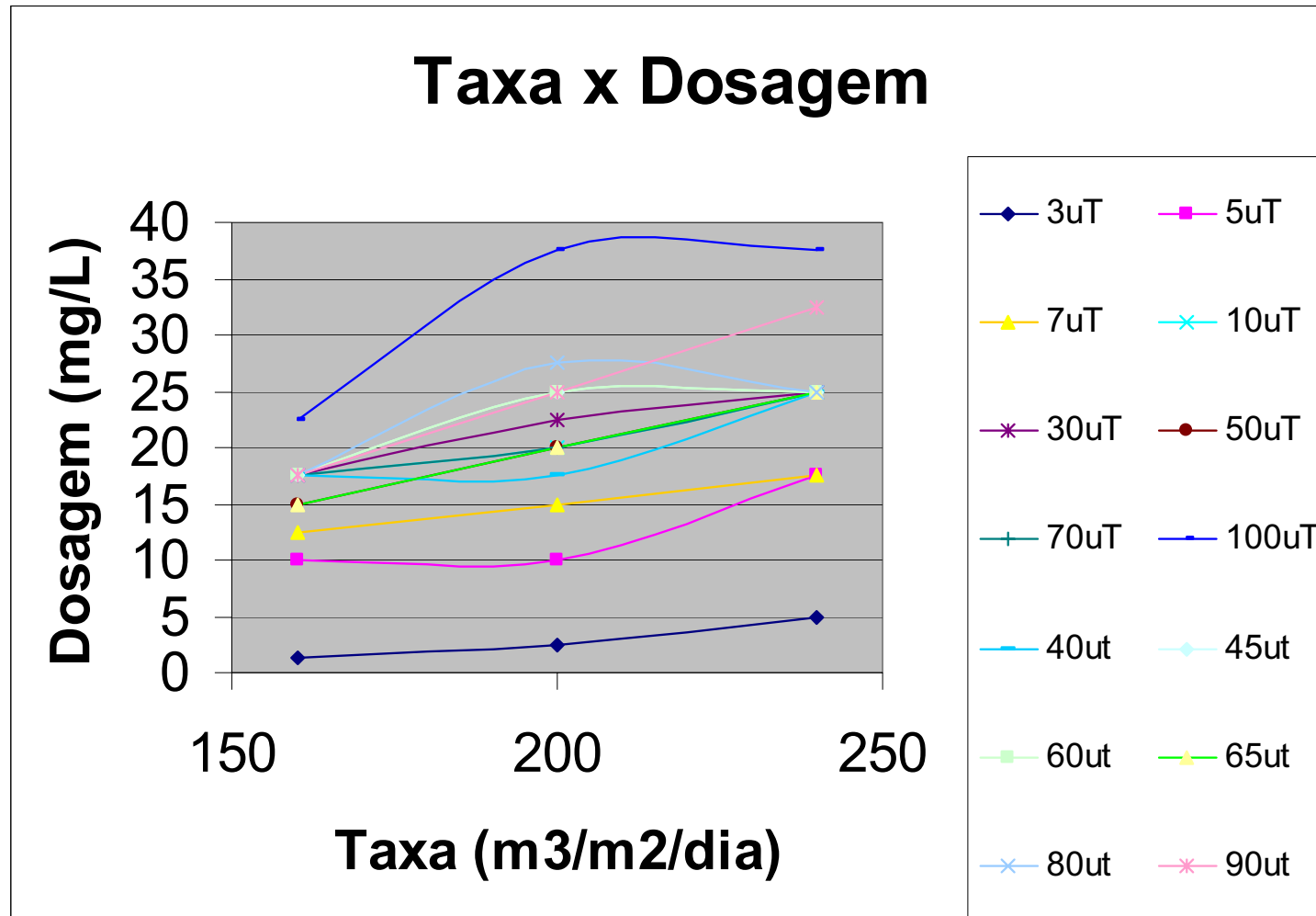


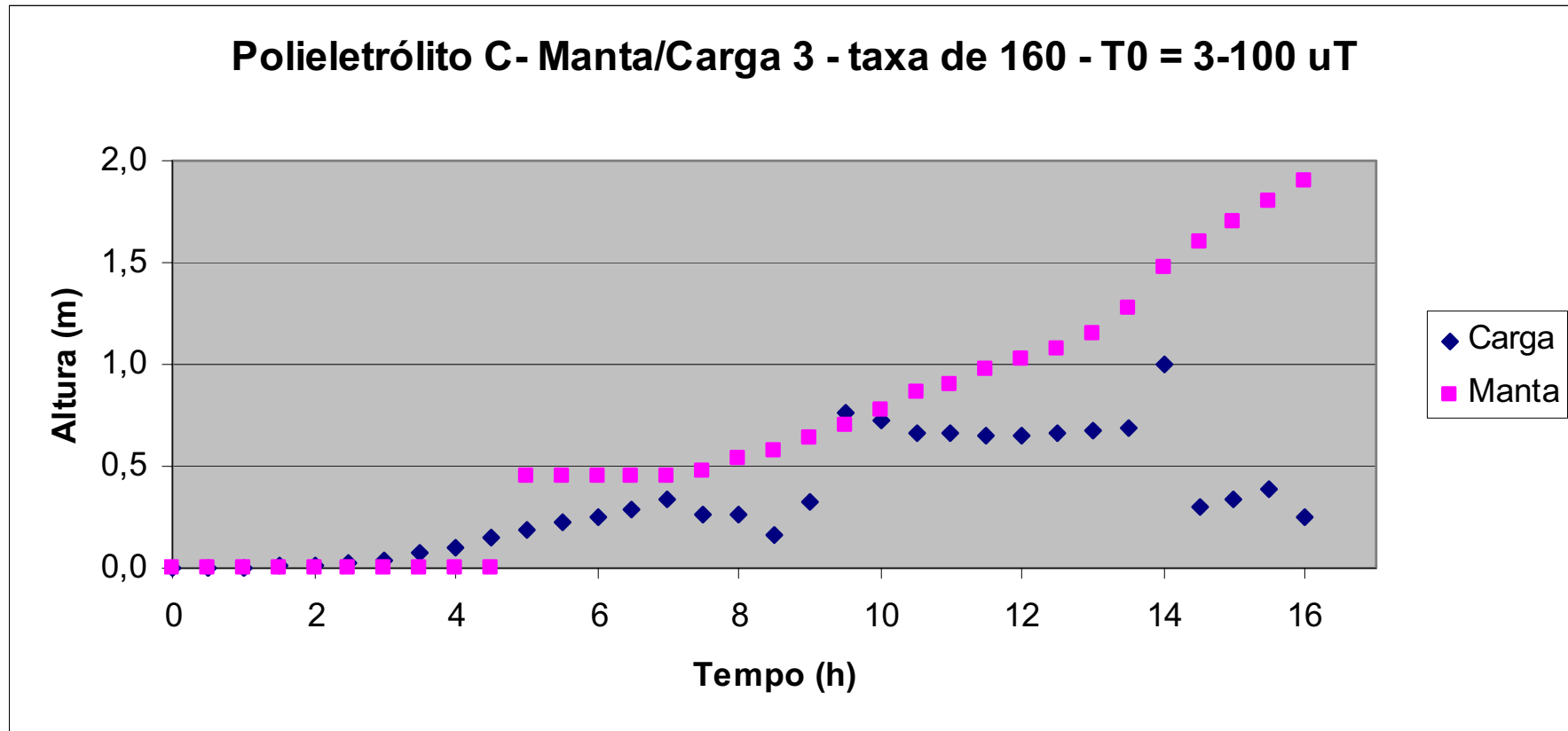
Figura 86: Gráfico indicativo do perfil de dosagens no MFDML a partir da taxa de aplicação, complementado

## ANEXO 105

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 29/03/2005		Observações		
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira		<p>Como a dosagem de coagulante para 3 uT era muito pequena (1,25mg/L), o mínimo conseguido foi de 2mg/L.</p> <p>Com 5h de ensaio formou-se uma manta dispersa. Essa manta se manteve a 30cm do fundo do floculador.</p> <p>Pode-se observar que a manta mantém a altura, porém fica mais densa com o passar do tempo. A turbidez indicada no decantador até 7h estava alta porque a taxa estava acima de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia - 0,0000647m<sup>3</sup>/s ou 180m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia 7,5h - Manta com formação bem definida.</p> <p>9h - Registro inferior do filtro foi fechado pois não estava circulando água pelo turbidímetro do filtro.</p> <p>Com 13h de ensaio a manta passou a ficar 25cm do fundo do floculador. Descarga do filtro com 14,5h de ensaio. A última carga no filtro diminuiu provavelmente por causa da baixa turbidez da água decantada.</p>		
Solução 0,50% em massa				Início: 11h				
	Gradiente	tempo	rotação	término: 3h				
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	7,5s	300 rpm	pH: 7,5				
floculação	29 s <sup>-1</sup>	6,5 min.	41 rpm	Temperatura: 26°C				
Para vazão de 0,0000582 m <sup>3</sup> /s no módulo								
Dosagem variável								
Tabela para taxa de filtração de 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia								
Tempo (h)	Turbidez Inicial	Dosagem mg/L	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)			Carga no filtro (m)
			Decantador	Filtro				
0	3,0	1,25	1,070	0,100	0,00	0,00		
0,5	3,0		0,939	0,053	0,00	0,00		
1	3,0		0,926	0,051	0,00	0,00		
1,5	3,0		1,077	0,056	0,00	0,01		
2	3,0		1,360	0,046	0,00	0,01		
2,5	5,0	10	2,179	0,045	0,00	0,02		
3	5,0		2,427	0,058	0,00	0,04		
3,5	5,0		2,630	0,040	0,00	0,07		
4	5,0		2,247	0,040	0,00	0,10		
4,5	7,0	12,5	2,743	0,041	0,00	0,15		
5	7,0		2,762	0,041	0,45	0,19		
5,5	7,0		2,666	0,066	0,45	0,23		
6	7,0	15	2,647	0,133	0,45	0,25		
6,5	10,0		4,056	0,044	0,45	0,29		
7	10,0		4,300	0,041	0,45	0,34		
7,5	10,0		3,750	0,040	0,47	0,26		
8	10,0	17,5	3,148	0,040	0,54	0,26		
8,5	30,0		3,551	0,043	0,58	0,16		
9	30,0		3,652	0,058	0,64	0,32		
9,5	30,0	15	3,527	0,041	0,70	0,76		
10	30,0		2,535	0,040	0,77	0,73		
10,5	50,0		2,739	0,040	0,86	0,66		
11	50,0		2,487	0,040	0,90	0,66		
11,5	50,0	17,5	2,275	0,039	0,97	0,65		
12	50,0		2,166	0,039	1,02	0,65		
12,5	70,0		1,898	0,040	1,08	0,66		
13	70,0	22,5	1,650	0,039	1,15	0,68		
13,5	70,0		1,430	0,039	1,28	0,69		
14	70,0	22,5	2,808	0,039	1,48	1,00		
14,5	100,0		2,424	0,041	1,60	0,30		
15	100,0		2,432	0,041	1,70	0,34		
15,5	100,0		1,932	0,040	1,80	0,39		
16	100,0		0,781	0,039	1,90	0,25		

**Formulário 51:** Ensaio no MFDML – Turbidez 10 a 100uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 106



**Figura 87:** Gráfico do Ensaio no MFDML – Turbidez 10 a 100uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

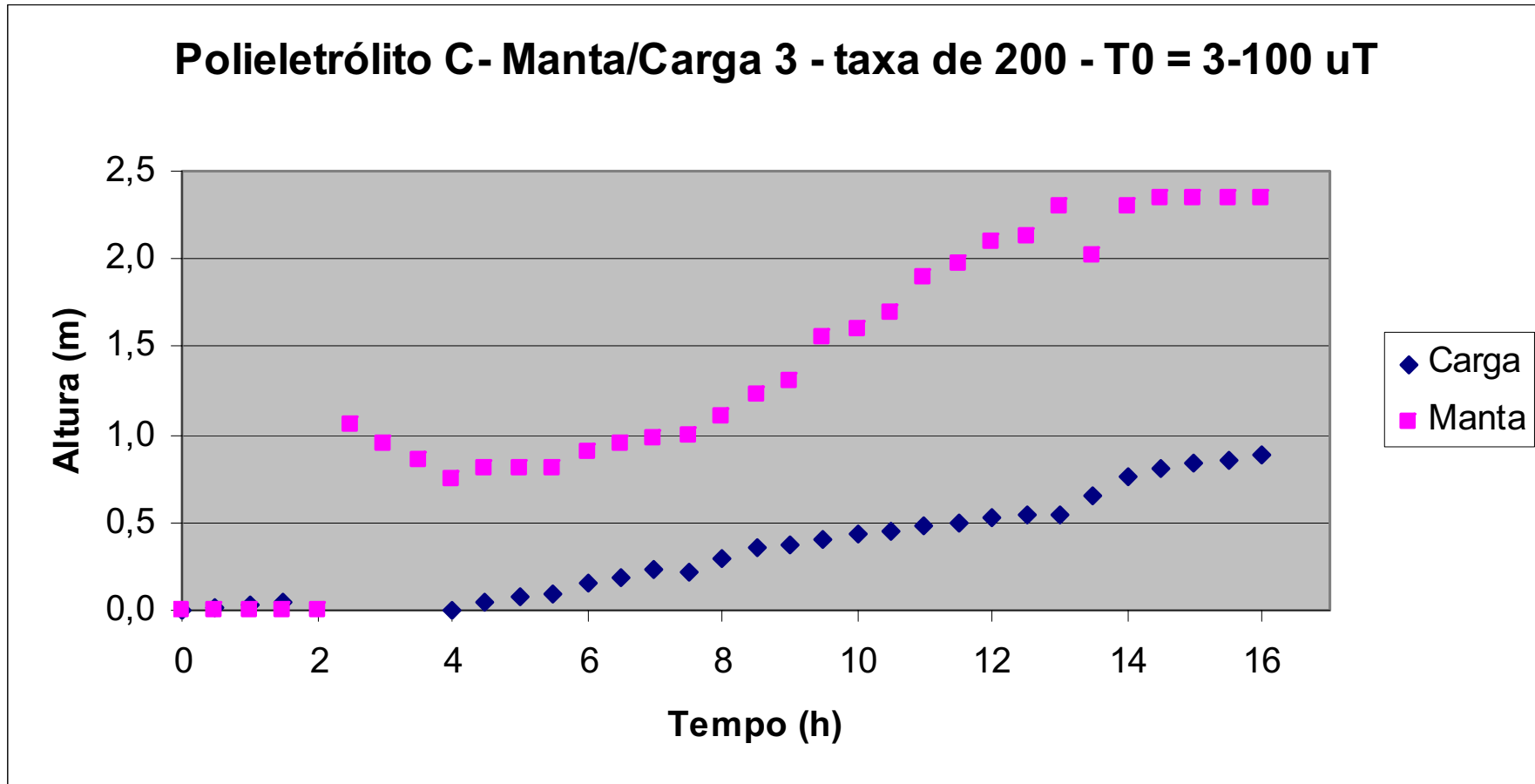
## ANEXO 107

TIPO DE ENSAIO: MÓDULO COAGULANTE: Polieletrólito C Solução 0,50% em massa						Observações	
		Data: 30/03/2005 Local: Ilha Solteira Início: 17h término: 9h pH: 7,4 Temperatura: 27°C				Com 1,5h de ensaio obdserveu-se flocos pouco densos e bem dispersos. Com 2h de ensaio observou-se flocos ainda pouco densos porém em maior quantidade. Com 2,5h começou a formar uma manta bem dispersa e com flocos um pouco mais densos. Com 4h a manta apresentou-se mais densa. Até 9h de ensaio foram tirados 45 cm da manta (altura da base do floculador ao início da manta formada). De 9,5h a 12,5h de ensaio foram tirados 35cm da manta. Falha na dosagem de coagulante com 9,75h de ensaio. De 12,5 a 16 horas de ensaio foram tirados 30cm da manta. Manta trabalhando na interface prolongador/decantador com 12,5 horas de ensaio. Descarga de 70cm na manta e abertura inferior do filtro com 13h de ensaio. O Retorno do fluxo mostra que alguns flocos são levados ao final do decantador, já que há um rápido aumento da turbidez da água decantada. Manta trabalhando na interface prolongador/decantador com 14,25 horas de ensaio.	
		Gradiente	tempo	rotação			
Mistura rápida		600 s <sup>-1</sup>	6,0 s	300 rpm			
floculação		36 s <sup>-1</sup>	5,0 min.	47 rpm			
Para vazão de 0,0000727 m <sup>3</sup> /s no módulo							
Dosagem variável							
Tabela para taxa de filtração de 200 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia							
Tempo (h)	Turbidez Inicial	Dosagem mg/L	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)	Carga no filtro (m)	
			Decantador	Filtro			
0	3,0	2,5	0,632	0,271	0,00	0,00	
0,5	3,0		1,602	0,056	0,00	0,02	
1	3,0		1,312	0,055	0,00	0,03	
1,5	3,0		1,416	0,057	0,00	0,04	
2	3,0		1,859	0,062	0,00	-0,10	
2,5	5,0	10	3,047	0,093	1,05	-0,08	
3	5,0		3,547	0,043	0,95	-0,05	
3,5	5,0		3,552	0,045	0,85	-0,02	
4	5,0		3,689	0,046	0,75	0,00	
4,5	7,0		4,374	0,044	0,80	0,04	
5	7,0	15	3,428	0,042	0,80	0,07	
5,5	7,0		3,400	0,042	0,80	0,10	
6	7,0		3,568	0,041	0,90	0,15	
6,5	10,0	20	3,835	0,041	0,95	0,19	
7	10,0		3,599	0,043	0,98	0,23	
7,5	10,0		3,729	0,042	1,00	0,21	
8	10,0		1,93	0,042	1,10	0,30	
8,5	30,0	22,5	2,038	0,043	1,22	0,35	
9	30,0		2,612	0,043	1,30	0,38	
9,5	30,0		2,894	0,044	1,55	0,40	
10	30,0		3,459	0,172	1,60	0,43	
10,5	50,0	20	2,108	0,089	1,70	0,45	
11	50,0		1,714	0,054	1,90	0,48	
11,5	50,0		1,37	0,049	1,97	0,50	
12	50,0		1,229	0,045	2,10	0,53	
12,5	70,0	20	1,14	0,047	2,13	0,54	
13	70,0		1,196	0,045	2,30	0,55	
13,5	70,0		1,291	0,052	2,02	0,65	
14	70,0	37,5	0,809	0,047	2,30	0,76	
14,5	100,0		0,863	0,057	2,35	0,80	
15	100,0		2,46	0,048	2,35	0,84	
15,5	100,0		1,615	0,045	2,35	0,86	
16	100,0		1,612	0,053	2,35	0,88	

**Formulário 52:** Cálculo Ensaio no MFDML – Turbidez 10 a 100uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$



ANEXO 108



**Figura 88:** Gráfico do Ensaio no MFDML – Turbidez 10 a 100uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 109

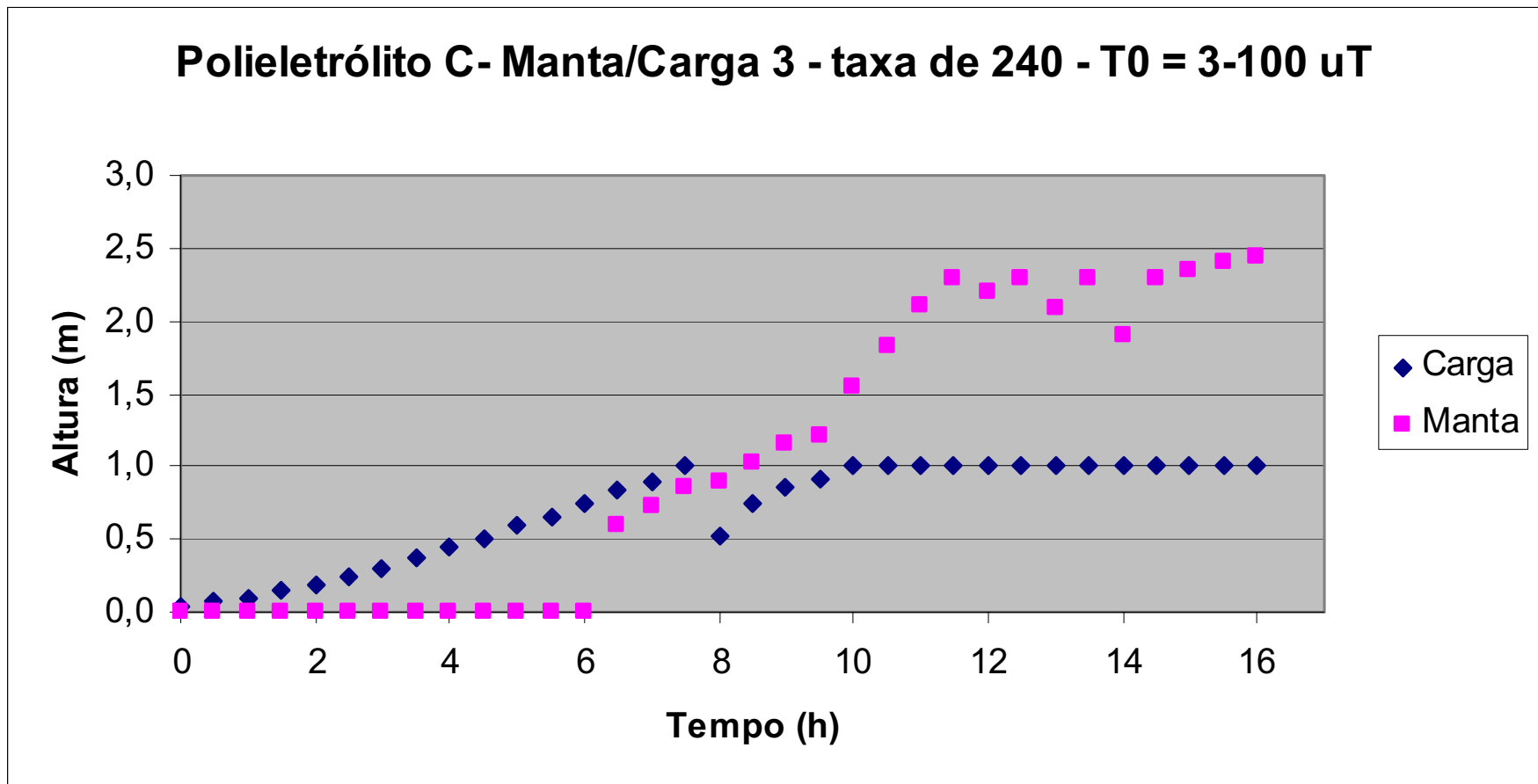
TIPO DE ENSAIO: MÓDULO				Data: 08/04/2005		Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira		Com 4,75h de ensaio aumentou-se a dosagem de coagulante, pois verificou-se dificuldade do sistema formar flocos (10ml em 28s).	
Solução 0,50% em massa				Início: 21:30h			
				término: 13:30h		Com 6h de ensaio iniciou-se a formação da manta, e foram tirados 30cm da mesma (altura da base do floculador ao início da manta).	
				pH: 7,5			
				Temperatura: 28°C		Com 7,5 foi dada descarga no filtro que estava com carga igual a 1m.	
						Com 8,25 horas de ensaio foi realizada a limpeza do turbidímetro do filtro.	
						Com 8,5h de ensaio procedeu-se um acerto na dosagem de coagulante.	
						A partir de 9 horas de ensaio a base da manta ficou a 40cm do fundo do floculador.	
						Após 9,75h de ensaio foi dada descarga novamente no filtro.	
						Após 10,5h de ensaio foi dada descarga novamente no filtro.	
						Descarga de 50cm na manta com 11,5h de ensaio.	
						A partir de 10h de ensaio a perda de carga foi superior a 1m, fazendo-se descarga de fundo no mesmo.	
						Descarga de 50cm na manta com 12,5h de ensaio.	
						Descarga de 50cm na manta com 13,5h de ensaio.	
						A partir de 15 horas de ensaio a base da manta ficou a 35cm do fundo do floculador.	
						Com 15,5h de ensaio a manta avançou 5 cm no decantador e mesmo assim a turbidez se manteve baixa, mostrando não haver desprendimento de flocos para a água decantada.	
						Apesar de a água filtrada não mais poder ser medida pelo turbidímetro de processo, constatou-se em medições de bancada turbidez menor que 0,1uT (em torno de 0,07uT) mostrando uma boa coagulação da água bruta decantada.	

Tabela para taxa de filtração de 240 m3/m2.dia							
Tempo (h)	Turbidez Inicial	Dosagem mg/L	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)	Carga no filtro (m)	
			Decantador	Filtro			
0	3,0	5	0,742	0,063	0,00	0,04	
0,5	3,0		1,036	0,045	0,00	0,07	
1	3,0		1,392	0,041	0,00	0,10	
1,5	3,0		1,666	0,041	0,00	0,14	
2	3,0		1,925	0,041	0,00	0,19	
2,5	5,0	15	2,843	0,041	0,00	0,24	
3	5,0		2,826	0,041	0,00	0,30	
3,5	5,0		2,944	0,040	0,00	0,38	
4	5,0		3,070	0,040	0,00	0,44	
4,5	7,0		4,253	0,041	0,00	0,51	
5	7,0	17,5	4,302	0,040	0,00	0,60	
5,5	7,0		4,250	0,041	0,00	0,65	
6	7,0		5,866	0,041	0,00	0,74	
6,5	10,0		25	8,148	0,050	0,60	0,83
7	10,0			5,489	0,060	0,73	0,90
7,5	10,0	5,210		0,330	0,85	1,00	
8	10,0	4,258		0,085	0,90	0,52	
8,5	30,0	25		5,779	0,290	1,03	0,75
9	30,0		3,035	0,735	1,15	0,86	
9,5	30,0		2,849	0,700	1,21	0,91	
10	30,0		2,346	*	1,55	1,00	
10,5	50,0		25	1,600	*	1,82	1,00
11	50,0	1,480		*	2,10	1,00	
11,5	50,0	1,241		*	2,30	1,00	
12	50,0	1,407		*	2,20	1,00	
12,5	70,0	25		1,342	*	2,30	1,00
13	70,0		1,621	*	2,08	1,00	
13,5	70,0		1,293	*	2,30	1,00	
14	70,0		1,522	*	1,90	1,00	
14,5	100,0		37,5	1,105	*	2,30	1,00
15	100,0	1,293		*	2,35	1,00	
15,5	100,0	1,100		*	2,40	1,00	
16	100,0	1,151		*	2,45	1,00	

**Formulário 53:** Ensaio no MFDML – Turbidez 10 a 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 110



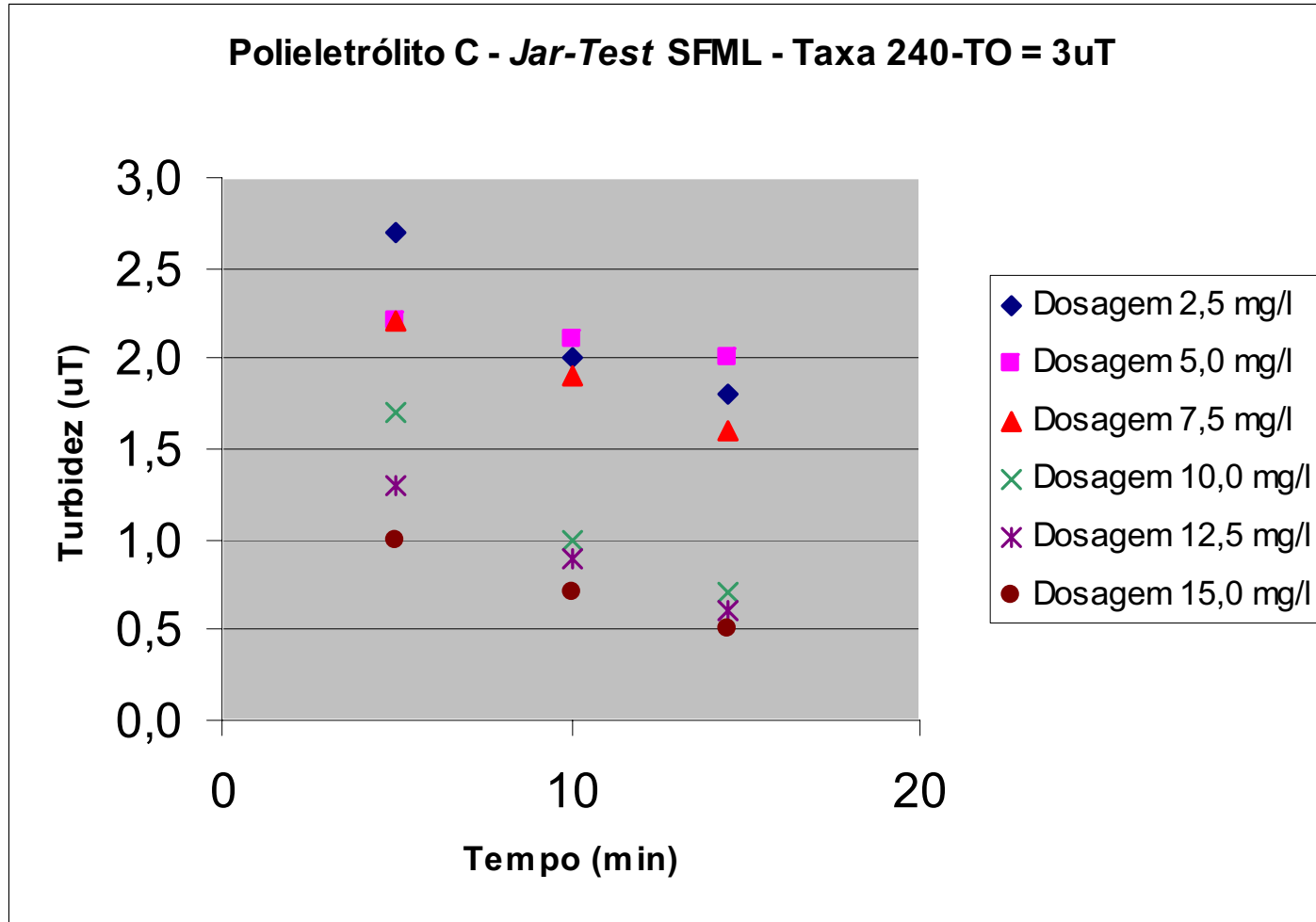
**Figura 89:** Gráfico do Ensaio no MFDML – Turbidez 10 a 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 111

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 23 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 1,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 3,0 uT					
				pH: 7,3					
				Temperatura: 27°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm						
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		
5		2,7	2,2	2,2	1,7	1,3	1,0		
10		2,0	2,1	1,9	1,0	0,9	0,7		
14:30		1,8	2,0	1,6	0,7	0,6	0,5		
	Dosagem (mg/l)	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		

**Formulário 54:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 3uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 112





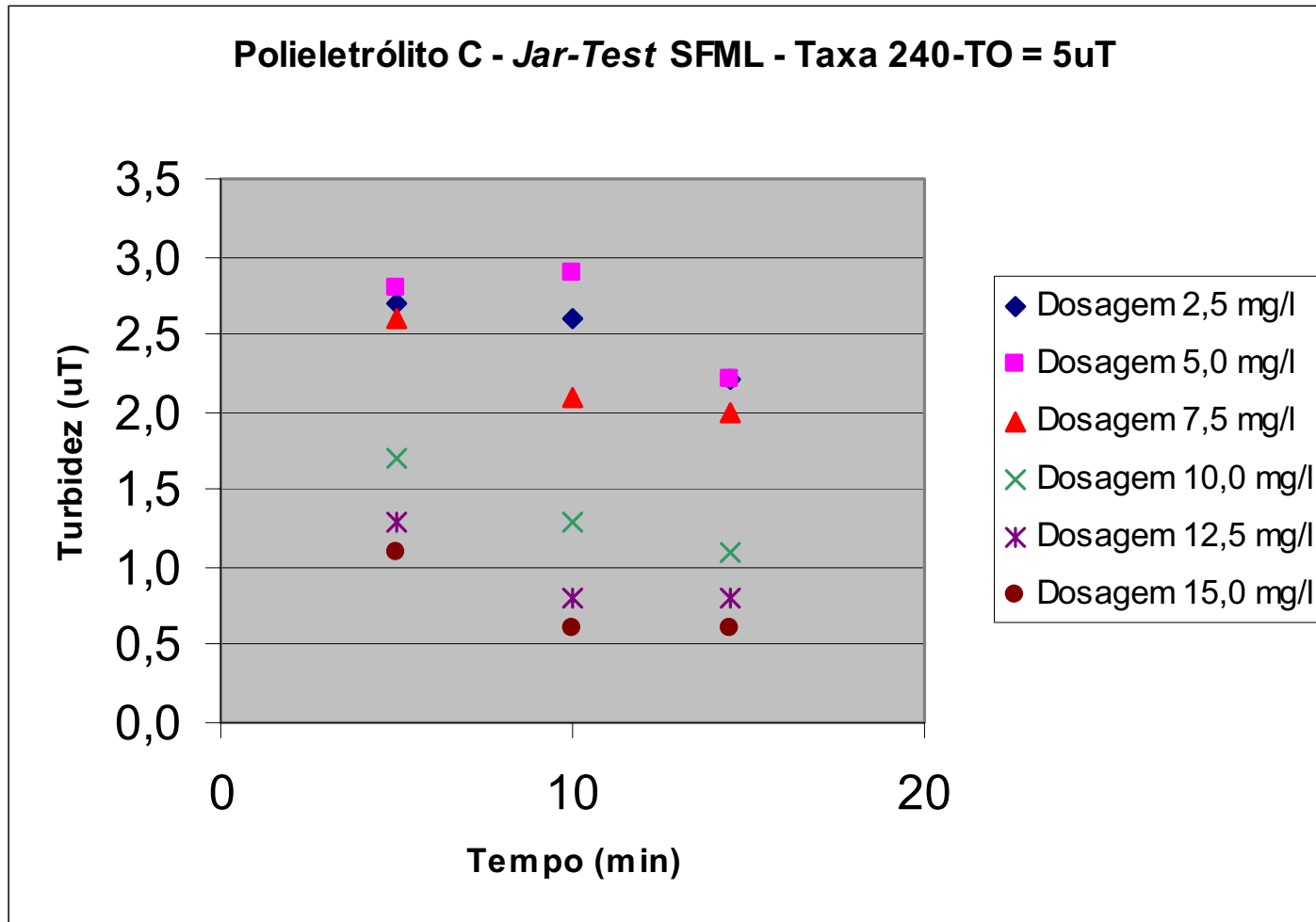
**Figura 90:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 3uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 113

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 23 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 3,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 5,0 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,5					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		
5		2,7	2,8	2,6	1,7	1,3	1,1		
10		2,6	2,9	2,1	1,3	0,8	0,6		
14:30		2,2	2,2	2,0	1,1	0,8	0,6		
Dosagem (mg/l)		2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		

**Formulário 55:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 5uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 114



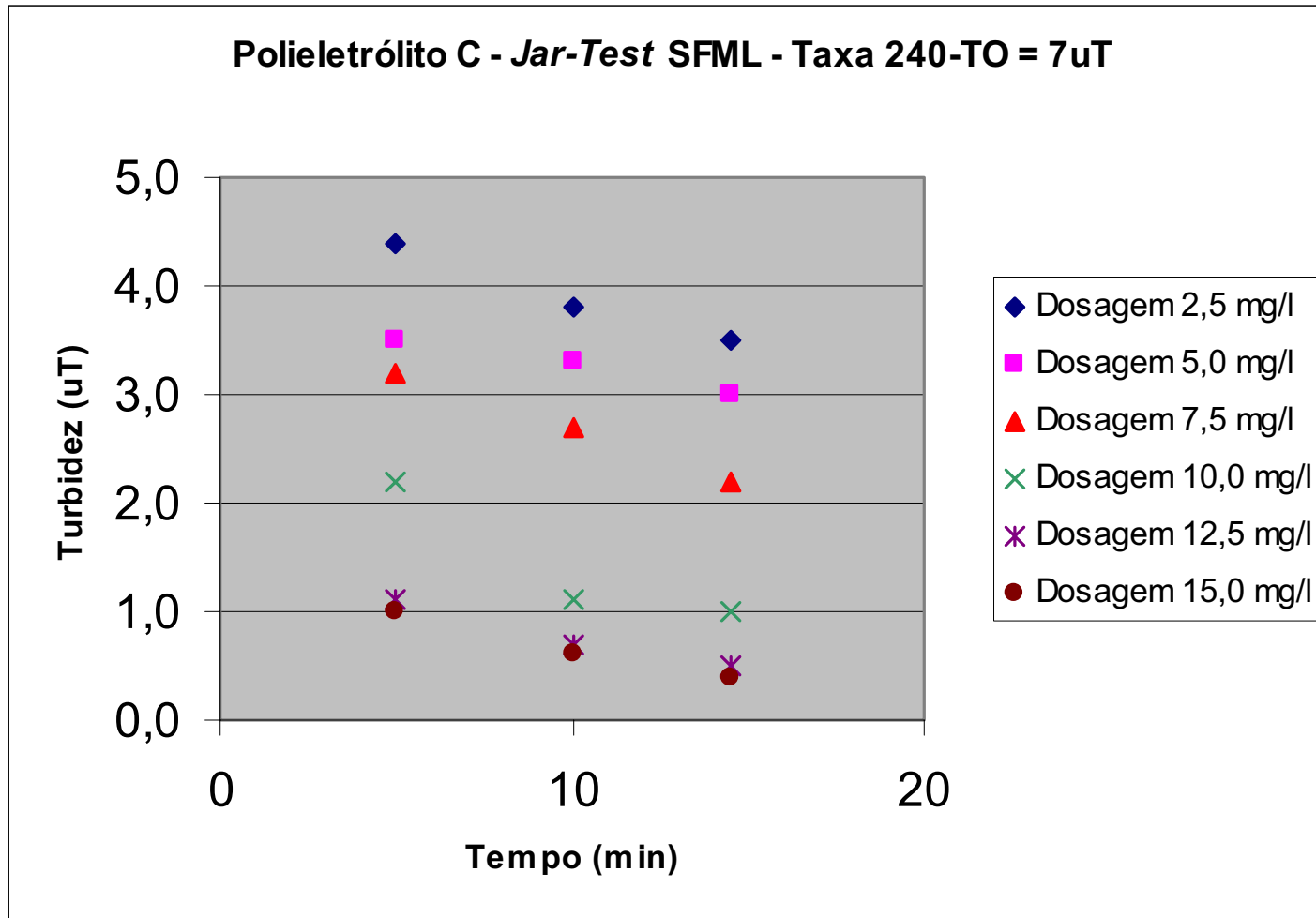
**Figura 91:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 5uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 115

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 22 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 3,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 7,0 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,3					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm	Temperatura: 27°C					
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		
5		4,4	3,5	3,2	2,2	1,1	1,0		
10		3,8	3,3	2,7	1,1	0,7	0,6		
14:30		3,5	3,0	2,2	1,0	0,5	0,4		
	Dosagem (mg/l)	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		

**Formulário 56:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 7uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 116



**Figura 92:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 7uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

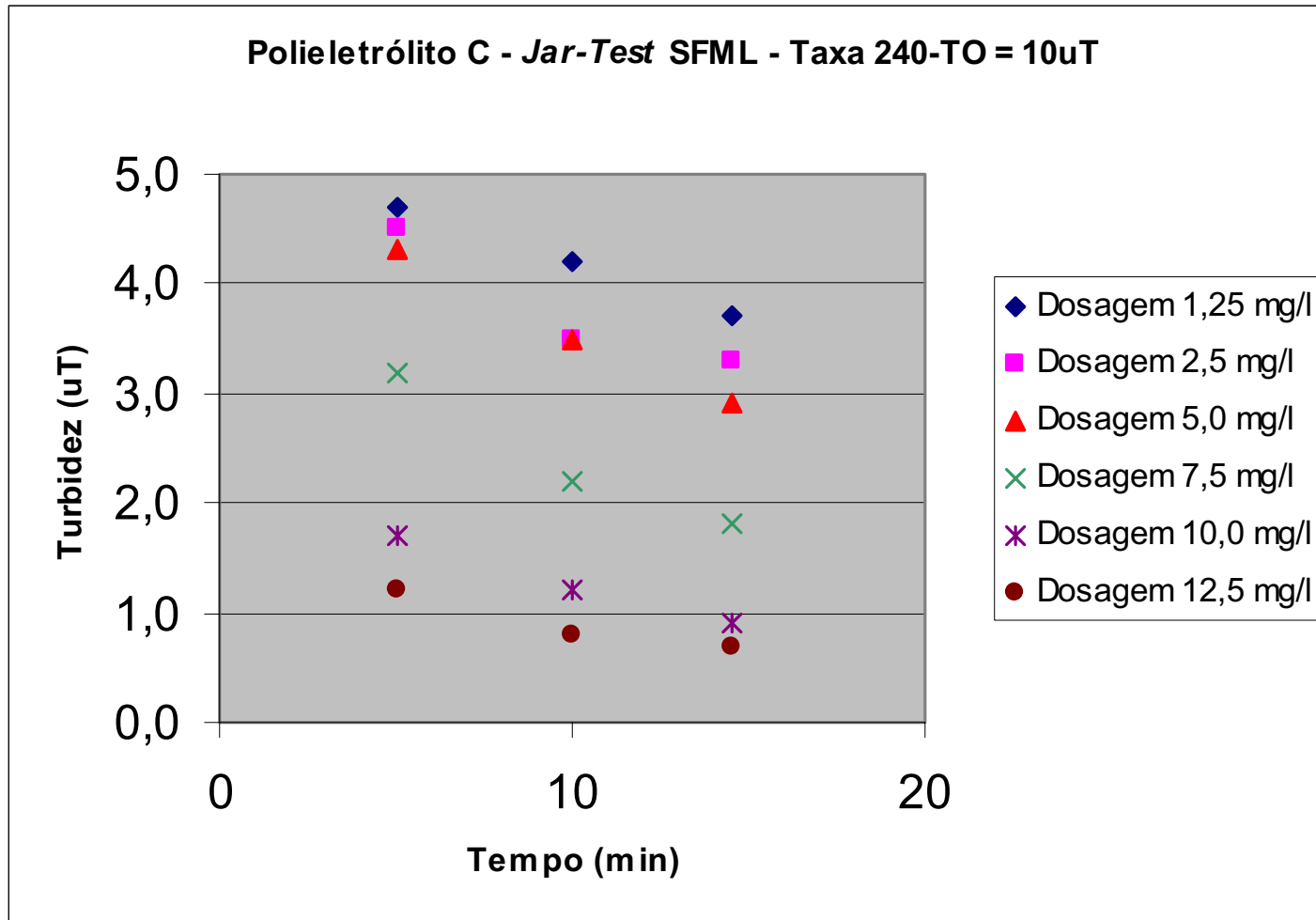
## ANEXO 117

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 18 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 3,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 10 uT					
				pH: 7,9					
				Temperatura: 30°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm						
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		4,7	4,5	4,3	3,2	1,7	1,2		
10		4,2	3,5	3,5	2,2	1,2	0,8		
14:30		3,7	3,3	2,9	1,8	0,9	0,7		
Dosagem (mg/l)		1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

**Formulário 57:** Jar-test para o SFML – Turbidez 10uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



ANEXO 118



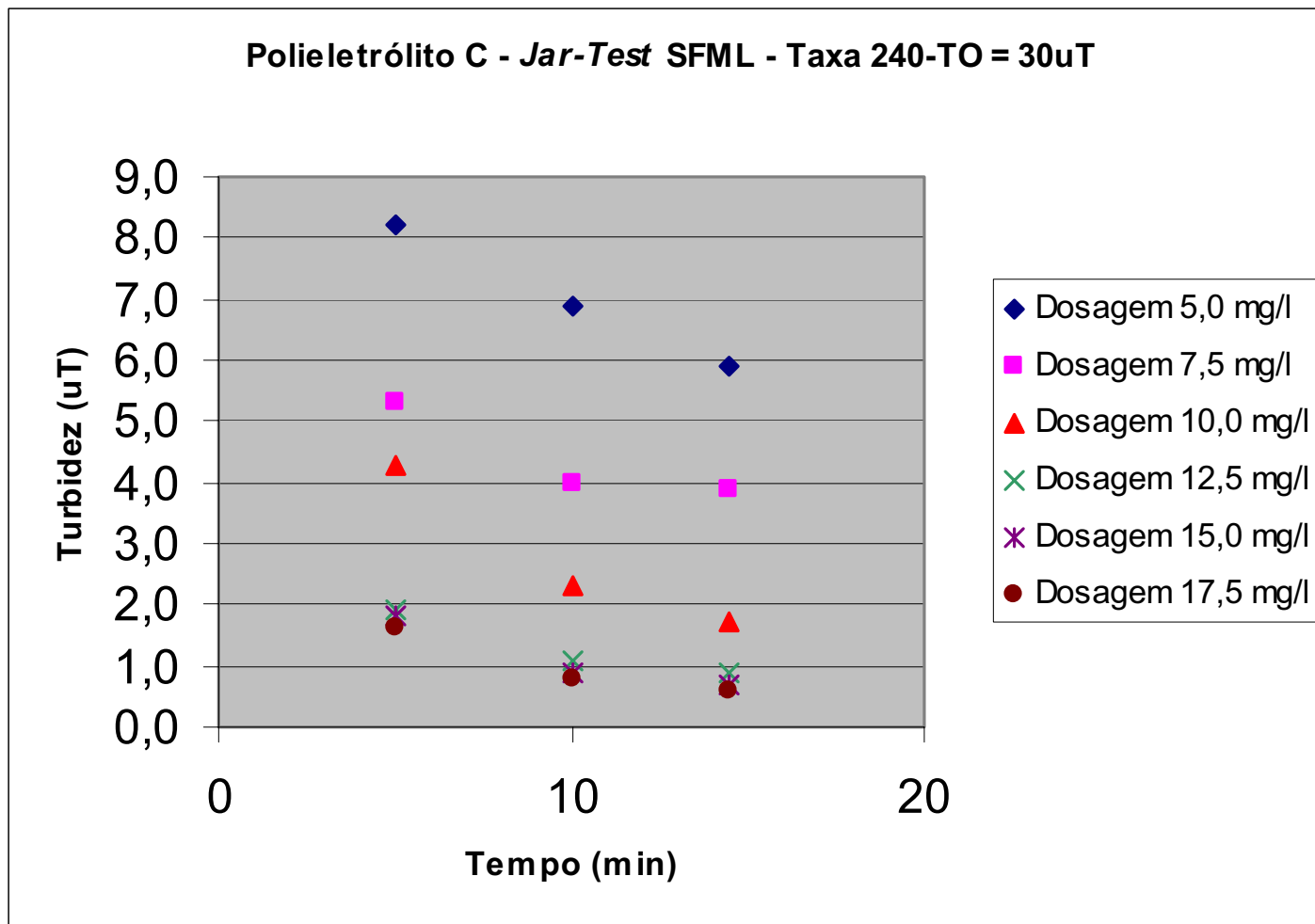
**Figura 93:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 10uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 119

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 23 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 30 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,4					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm	Temperatura: 28°C					
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		8,2	5,3	4,3	1,9	1,8	1,6		
10		6,9	4,0	2,3	1,1	0,9	0,8		
14:30		5,9	3,9	1,7	0,9	0,7	0,6		
	Dosagem (mg/l)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 58:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 30uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 120



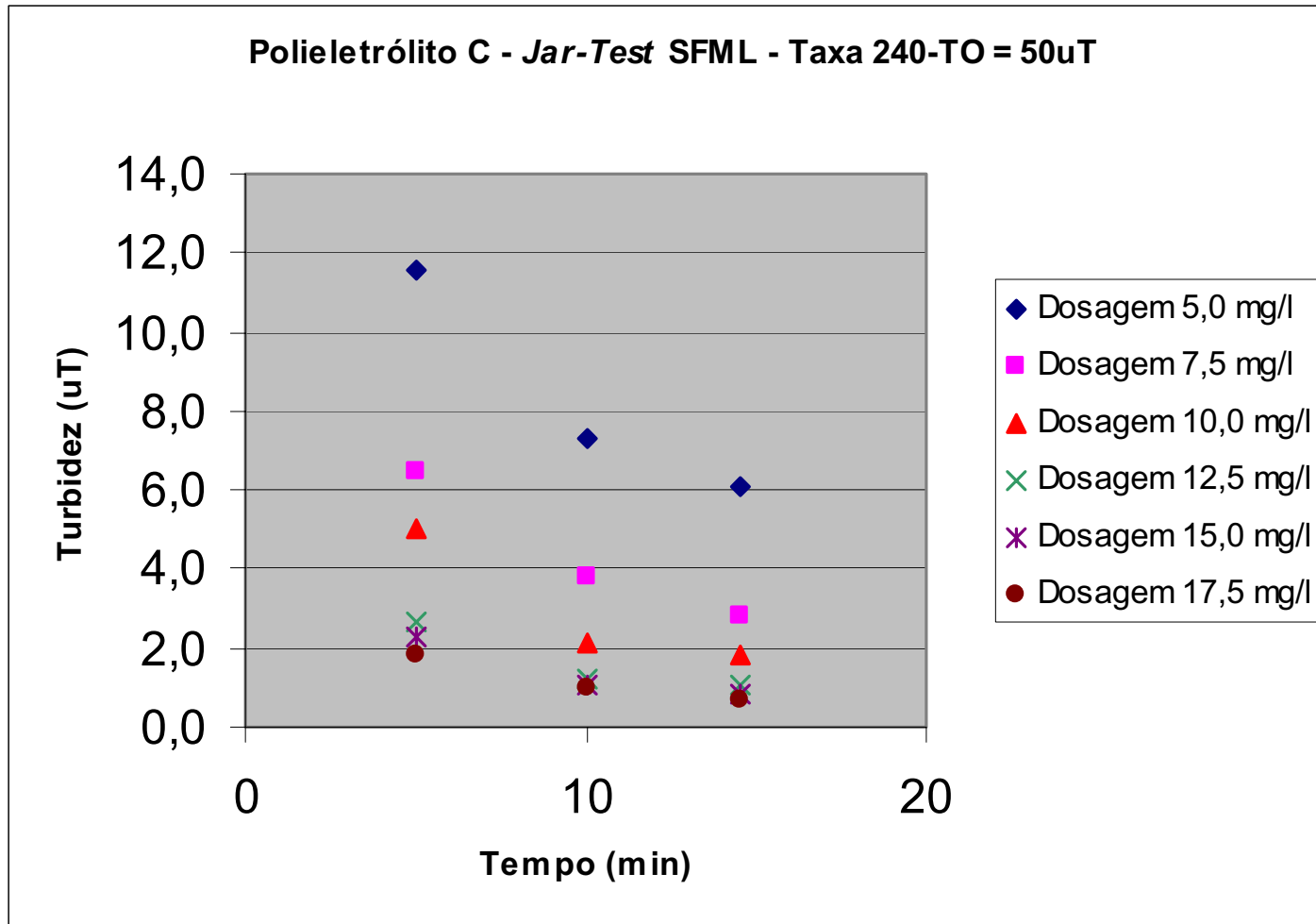
**Figura 94:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 30uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 121

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 23 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 50 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,4					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		11,6	6,5	5,0	2,7	2,3	1,8		
10		7,3	3,8	2,1	1,2	1,1	1,0		
14:30		6,1	2,8	1,8	1,1	0,8	0,7		
Dosagem (mg/l)		5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 59:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 50uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 122



**Figura 95:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 50uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

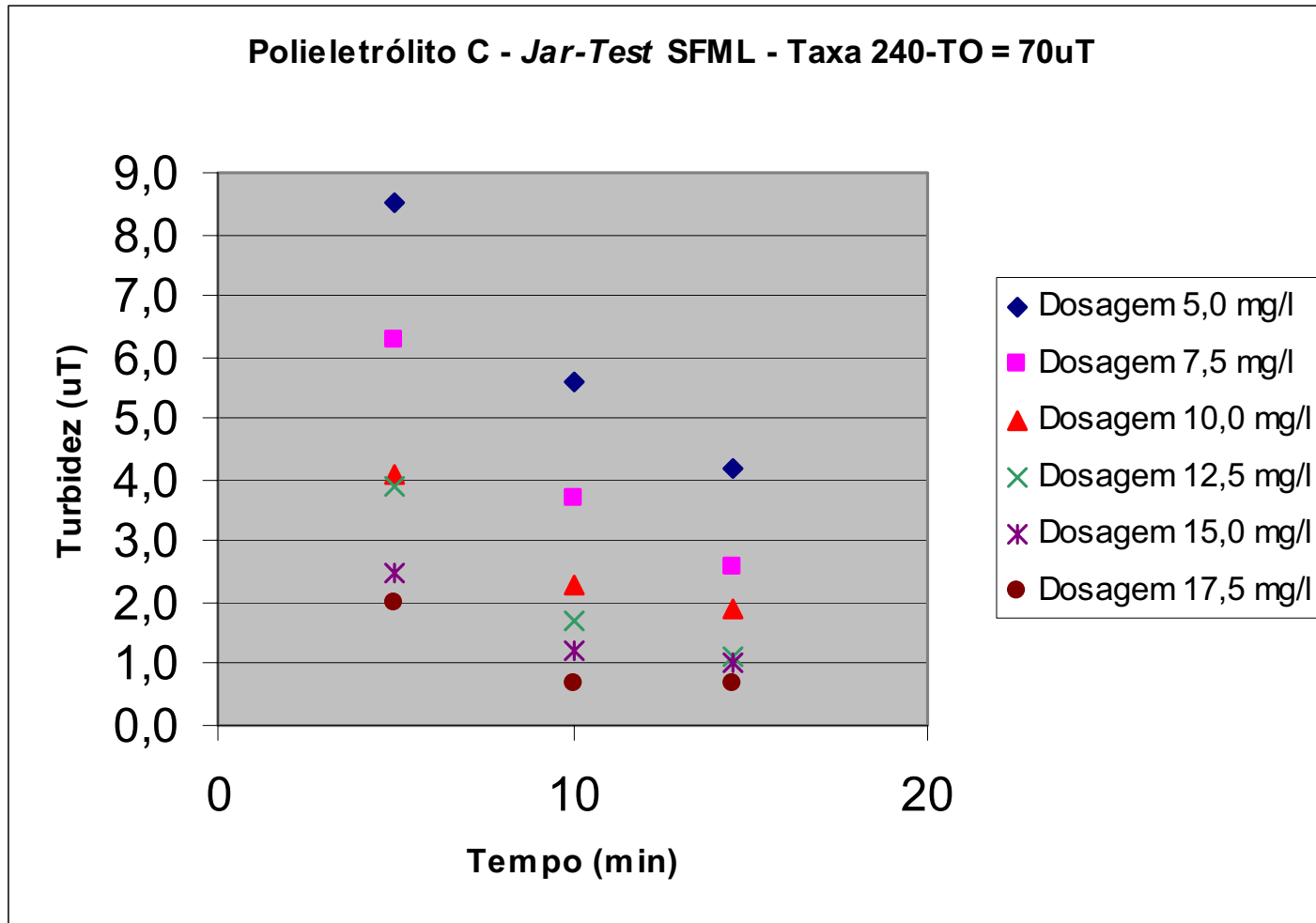


## ANEXO 123

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 23 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 70 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,4					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		8,5	6,3	4,1	3,9	2,5	2,0		
10		5,6	3,7	2,3	1,7	1,2	0,7		
14:30		4,2	2,6	1,9	1,1	1,0	0,7		
Dosagem (mg/l)		5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 60:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 70uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 124



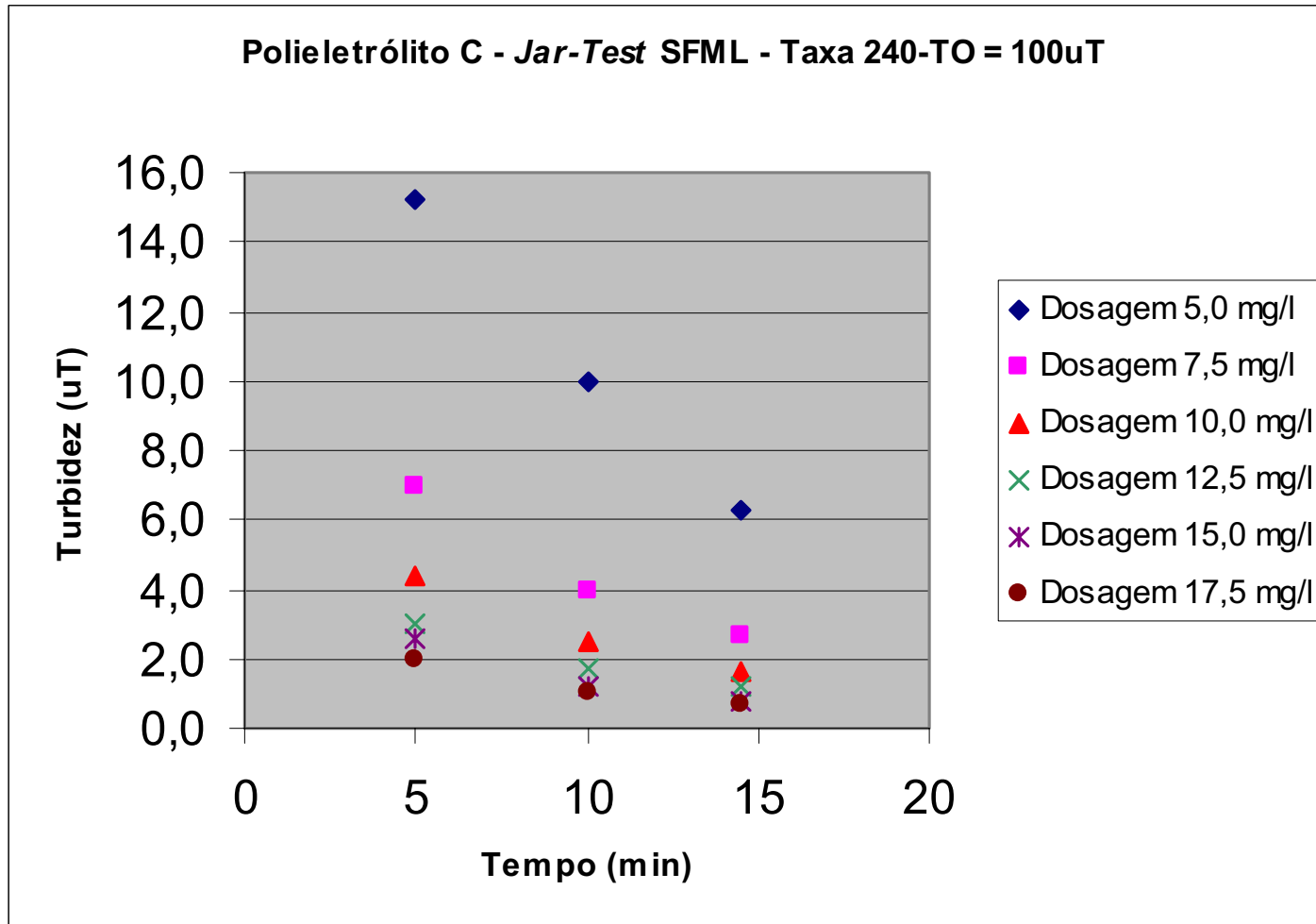
**Figura 96:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 70uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 125

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 23 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 100 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,3					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		15,2	7,0	4,4	3,0	2,6	2,0		
10		10,0	4,0	2,5	1,7	1,2	1,0		
14:30		6,3	2,7	1,6	1,2	0,8	0,7		
Dosagem (mg/l)		5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 61:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 126



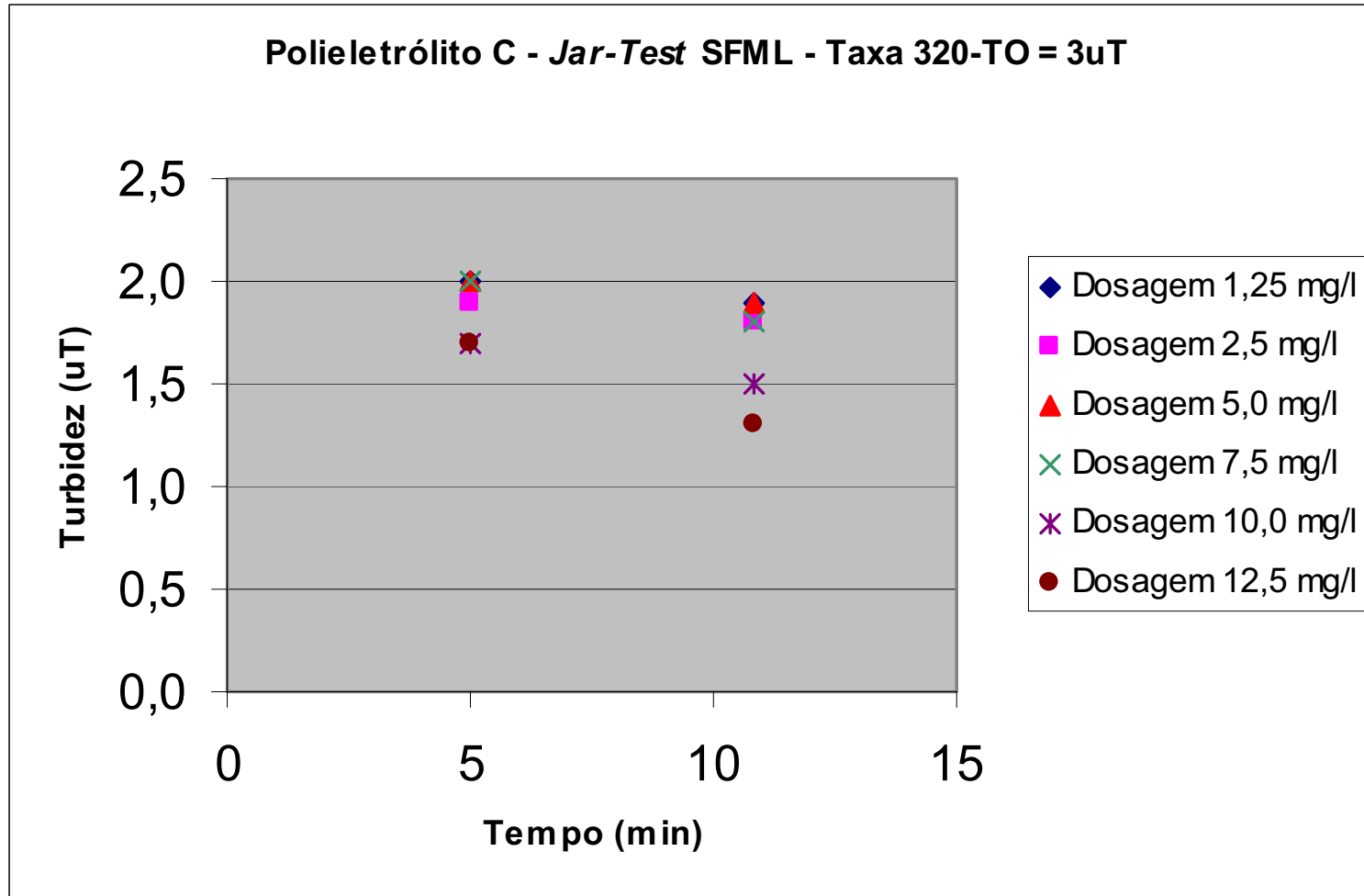
**Figura 97:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 100uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 127

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 24 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 0,5 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 3,0 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,2					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		2,0	1,9	2,0	2,0	1,7	1,7		
10:50		1,9	1,8	1,9	1,8	1,5	1,3		
	Dosagem (mg/l)	1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

**Formulário 62:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 3uT e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 128





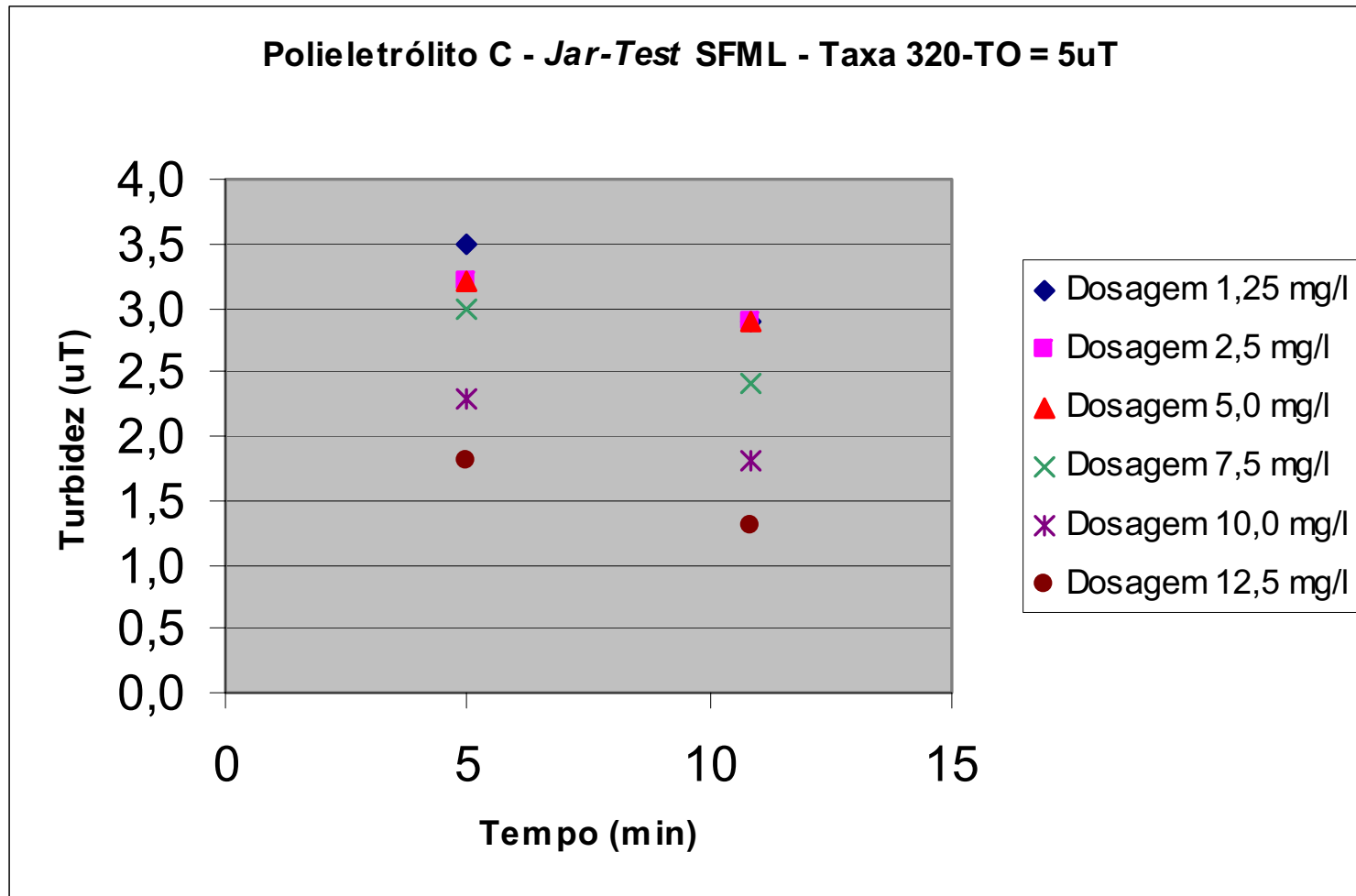
**Figura 98:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 3uT e taxa de  $320\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 129

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 24 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 5,0 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,1					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		3,5	3,2	3,2	3,0	2,3	1,8		
10:50		2,9	2,9	2,9	2,4	1,8	1,3		
	Dosagem (mg/l)	1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

**Formulário 63:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 5uT e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 130



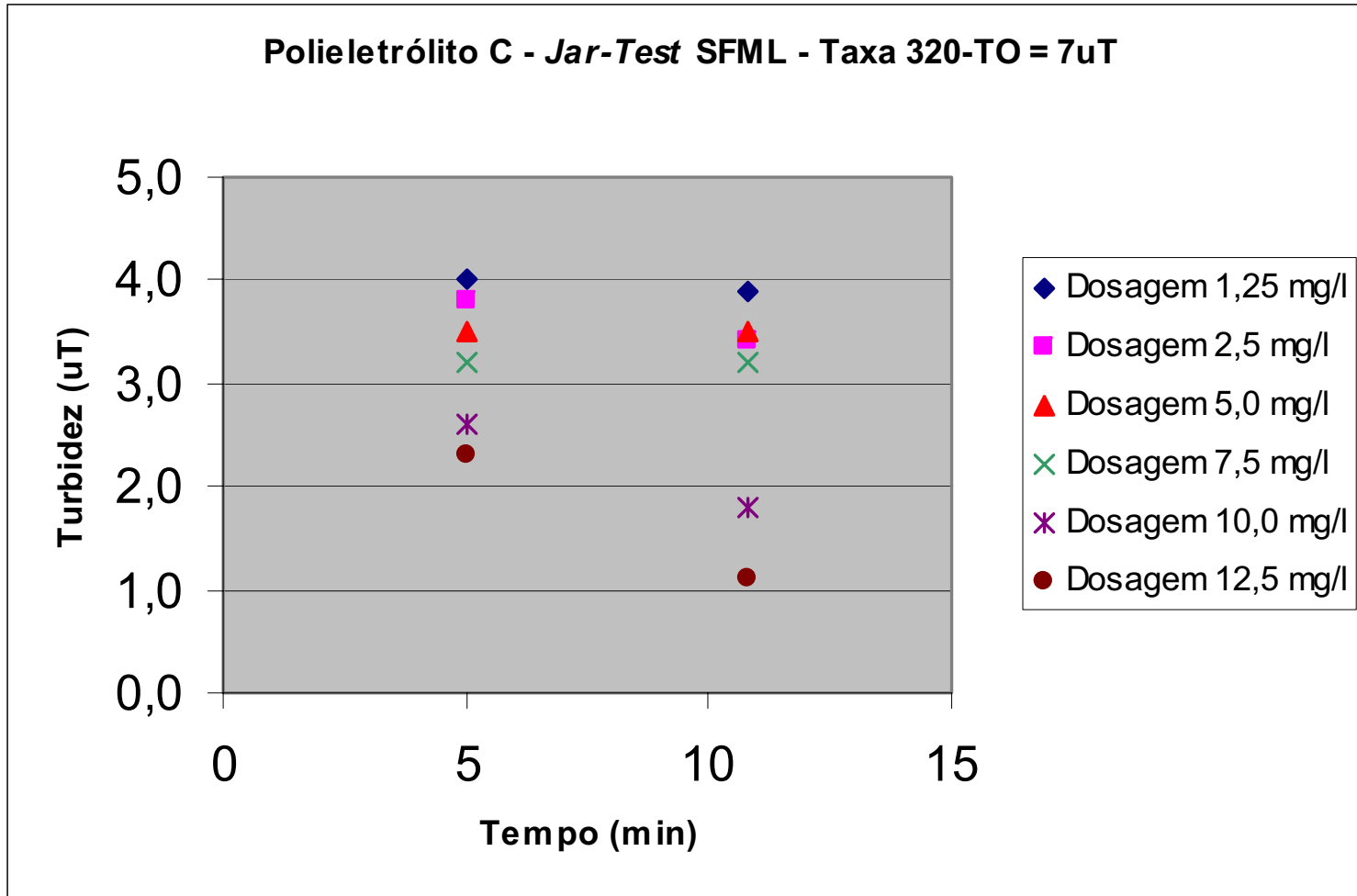
**Figura 99:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 5uT e taxa de  $320\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 131

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 24 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 7,0 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,1					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		4,0	3,8	3,5	3,2	2,6	2,3		
10:50		3,9	3,4	3,5	3,2	1,8	1,1		
	Dosagem (mg/l)	1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

**Formulário 64:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 7uT e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 132



**Figura 100:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 7uT e taxa de  $320\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

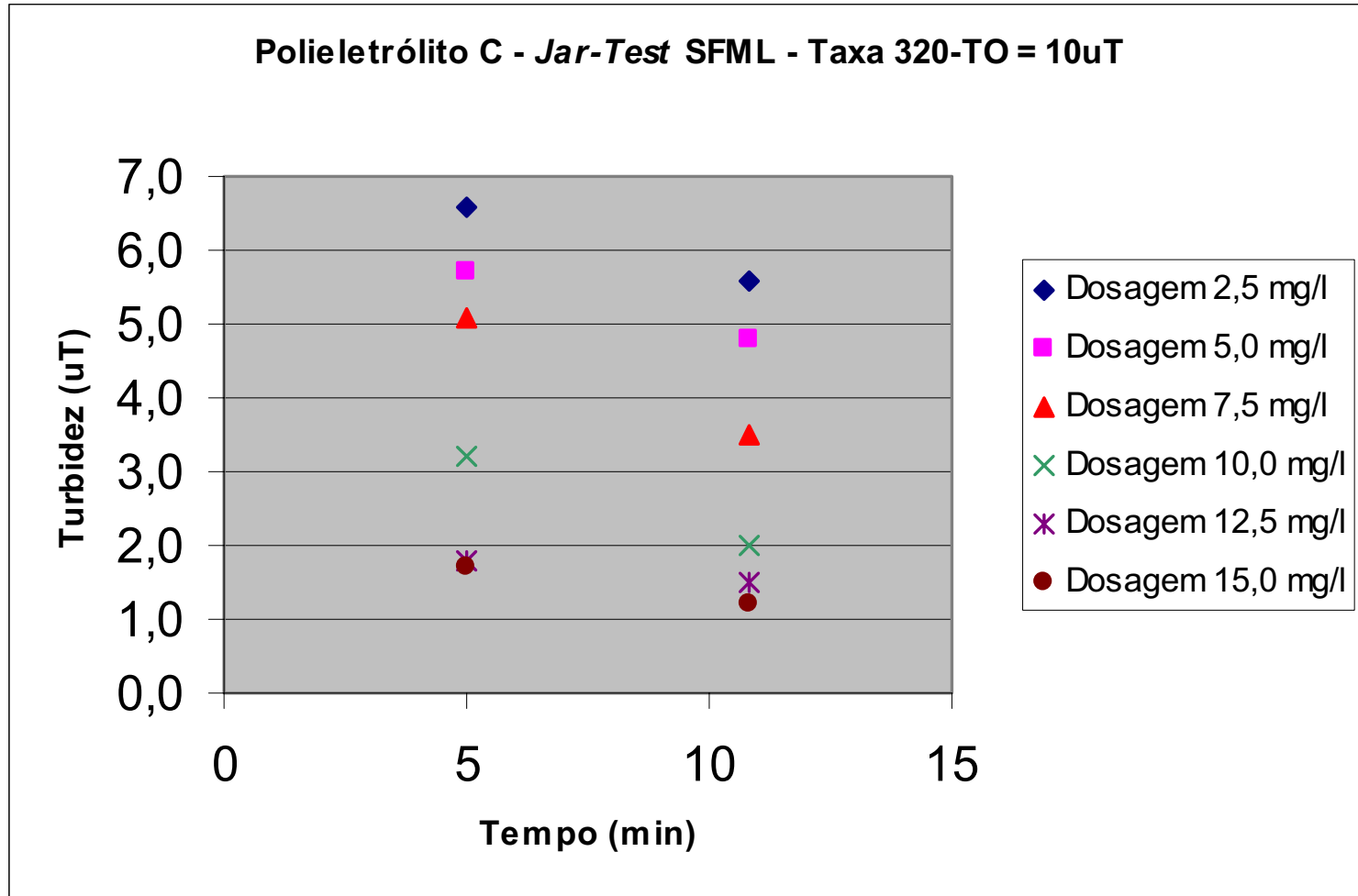
ANEXO 133

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 24 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 10 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,5					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		
5		6,6	5,7	5,1	3,2	1,8	1,7		
10:50		5,6	4,8	3,5	2,0	1,5	1,2		
	Dosagem (mg/l)	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		

**Formulário 65:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 10uT e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



ANEXO 134



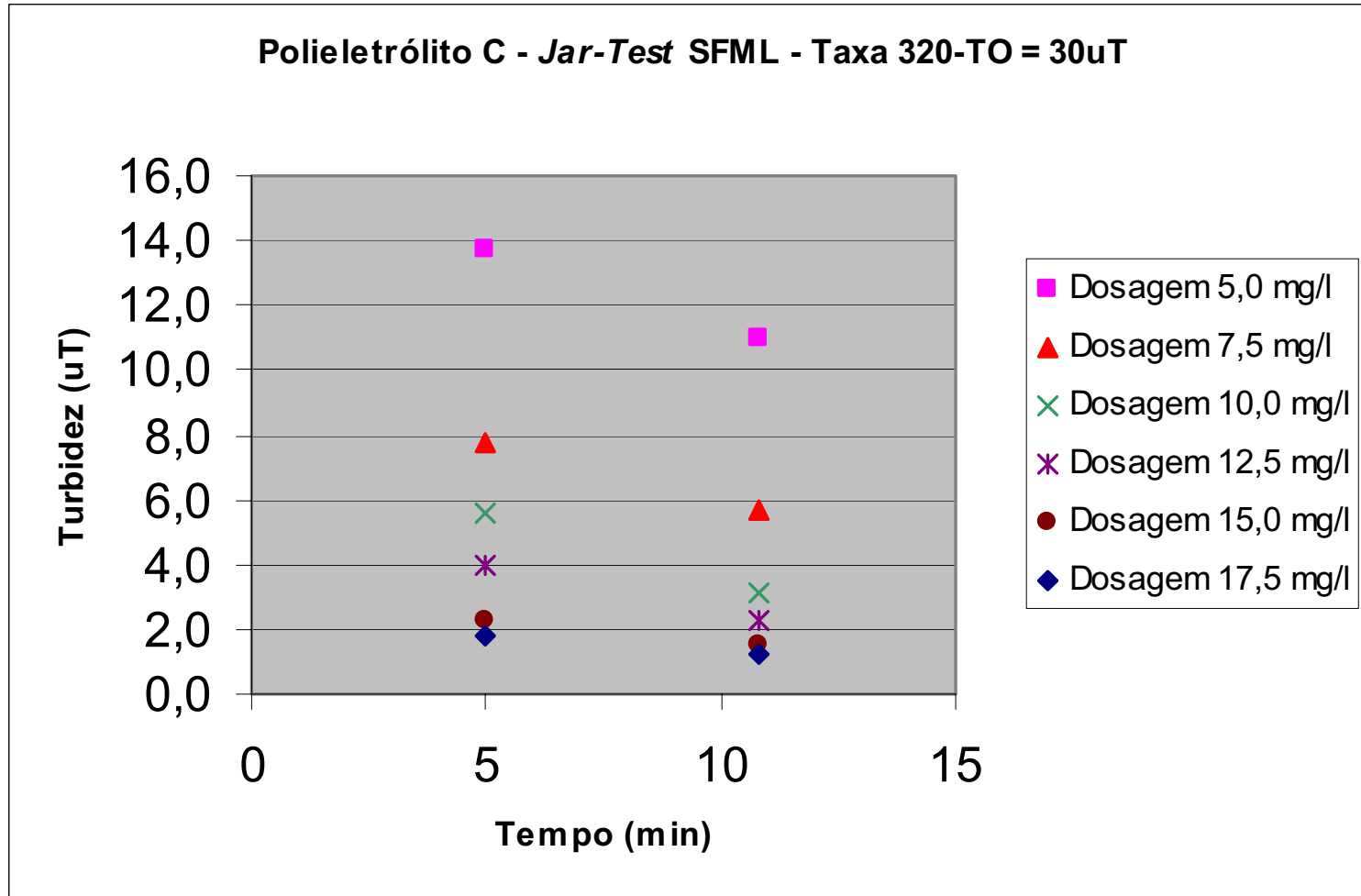
**Figura 101:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 10uT e taxa de  $320\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 135

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 24 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 30 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,4					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		13,7	7,8	5,6	4,0	2,3	1,8		
10:50		11,0	5,7	3,1	2,3	1,5	1,2		
Dosagem (mg/l)		5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 66:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 30uT e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 136



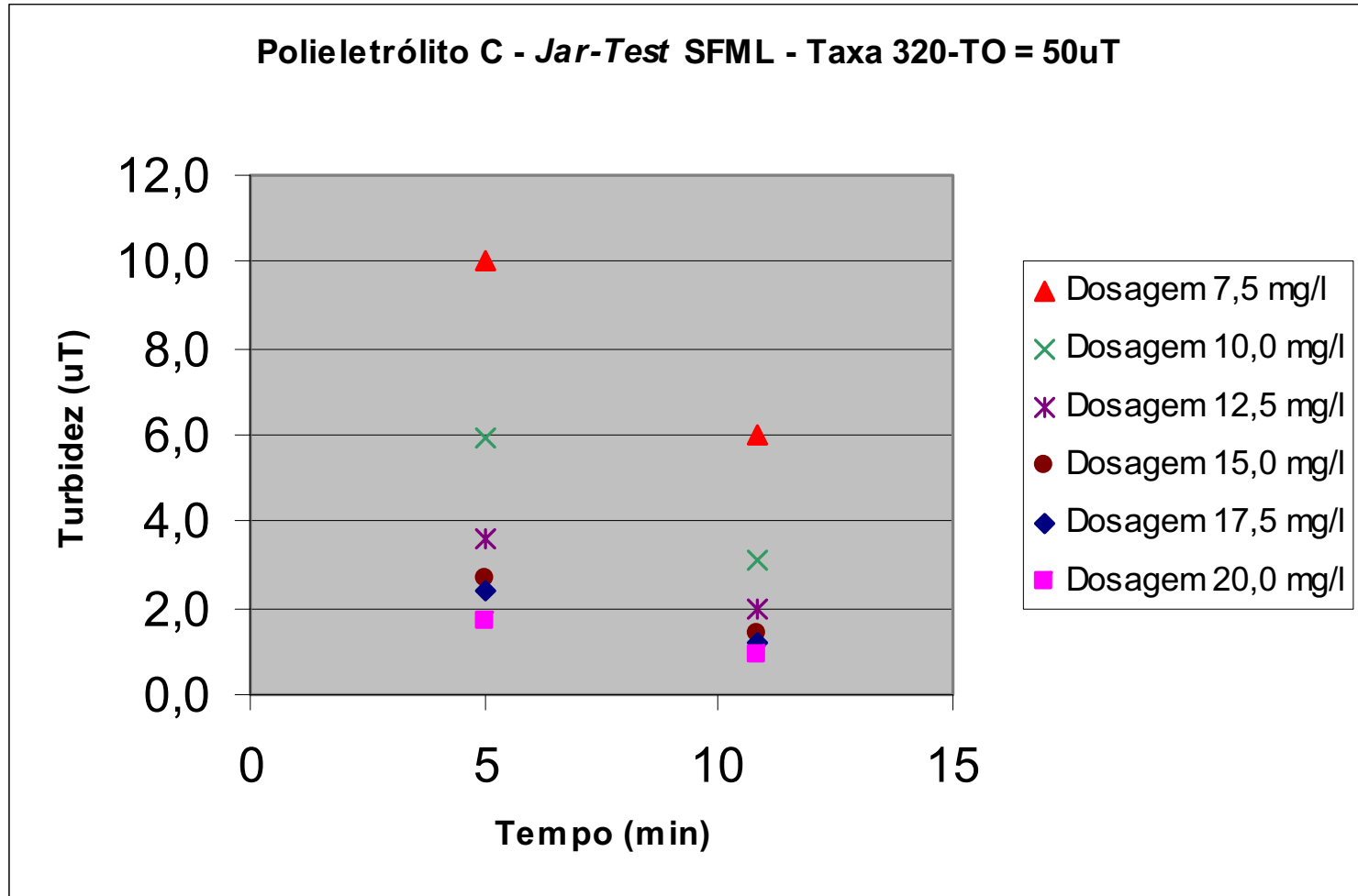
**Figura 102:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 30uT e taxa de  $320\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 137

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 24 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 5,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 50 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,4					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	Temperatura: 32°C					
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		10,0	5,9	3,6	2,7	2,4	1,7		
10:50		6,0	3,1	2,0	1,4	1,2	0,9		
	Dosagem (mg/l)	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 67:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 50uT e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 138



**Figura 103:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 50uT e taxa de  $320\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

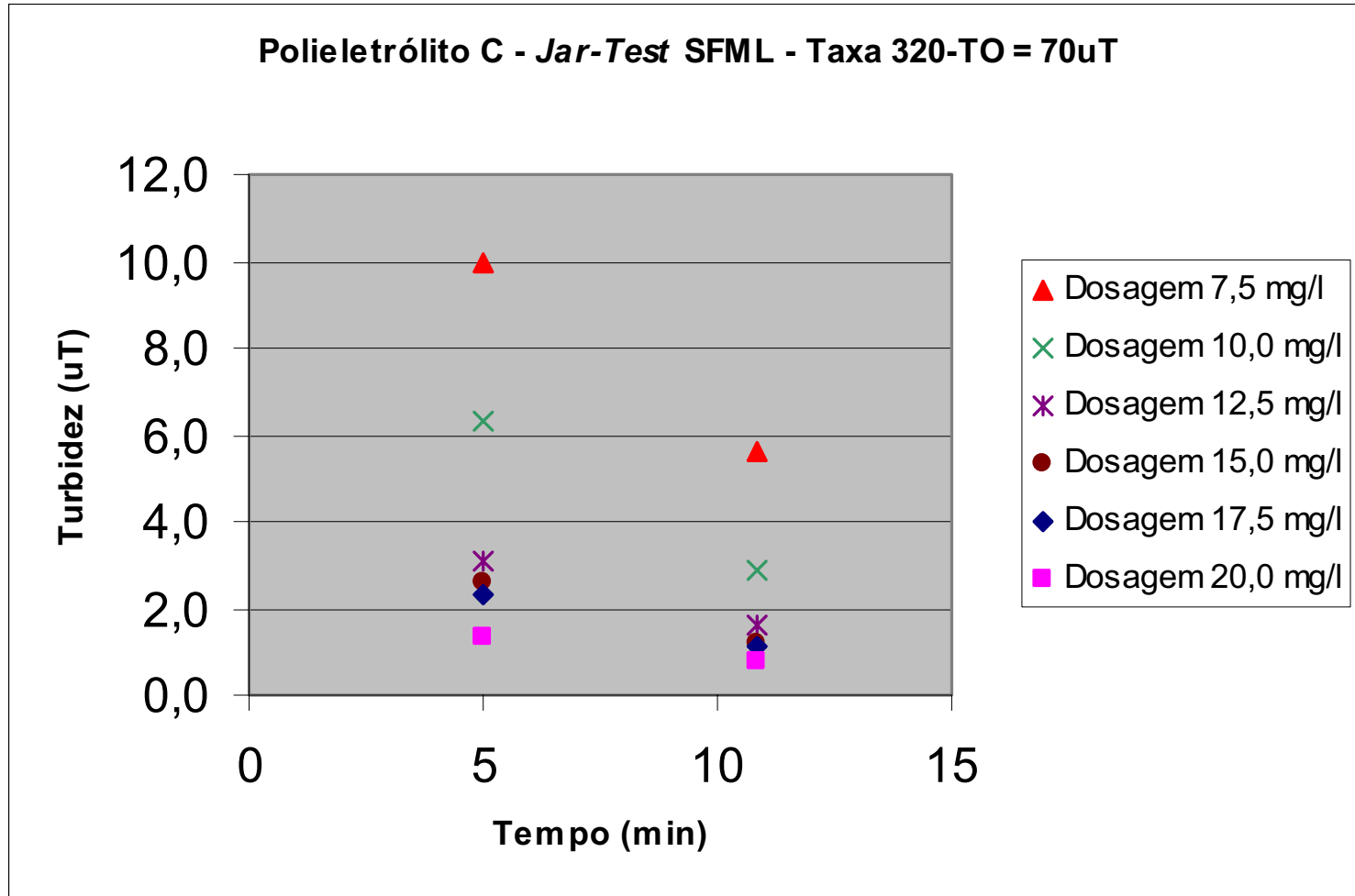


## ANEXO 139

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 24 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 5,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 70 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,2					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		10,0	6,3	3,1	2,6	2,3	1,3		
10:50		5,6	2,9	1,6	1,2	1,1	0,8		
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 68:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 70uT e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 140



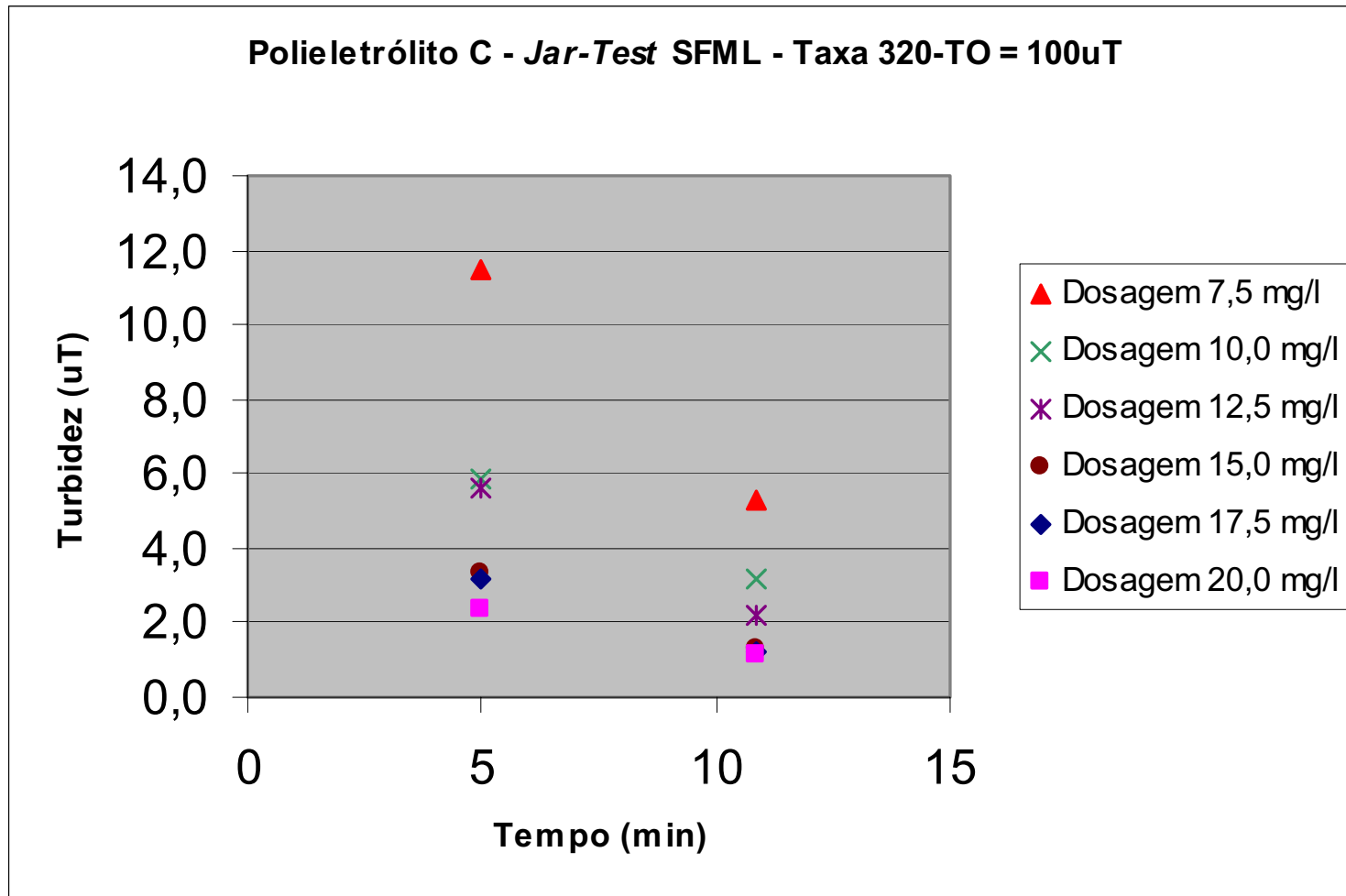
**Figura 104:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 70uT e taxa de  $320\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 141

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 24 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 5,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 100 uT					
				pH: 7,3					
				Temperatura: 32°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm						
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		11,5	5,9	5,6	3,3	3,2	2,4		
10:50		5,3	3,2	2,2	1,3	1,2	1,1		
	Dosagem (mg/l)	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 69:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 100uT e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 142



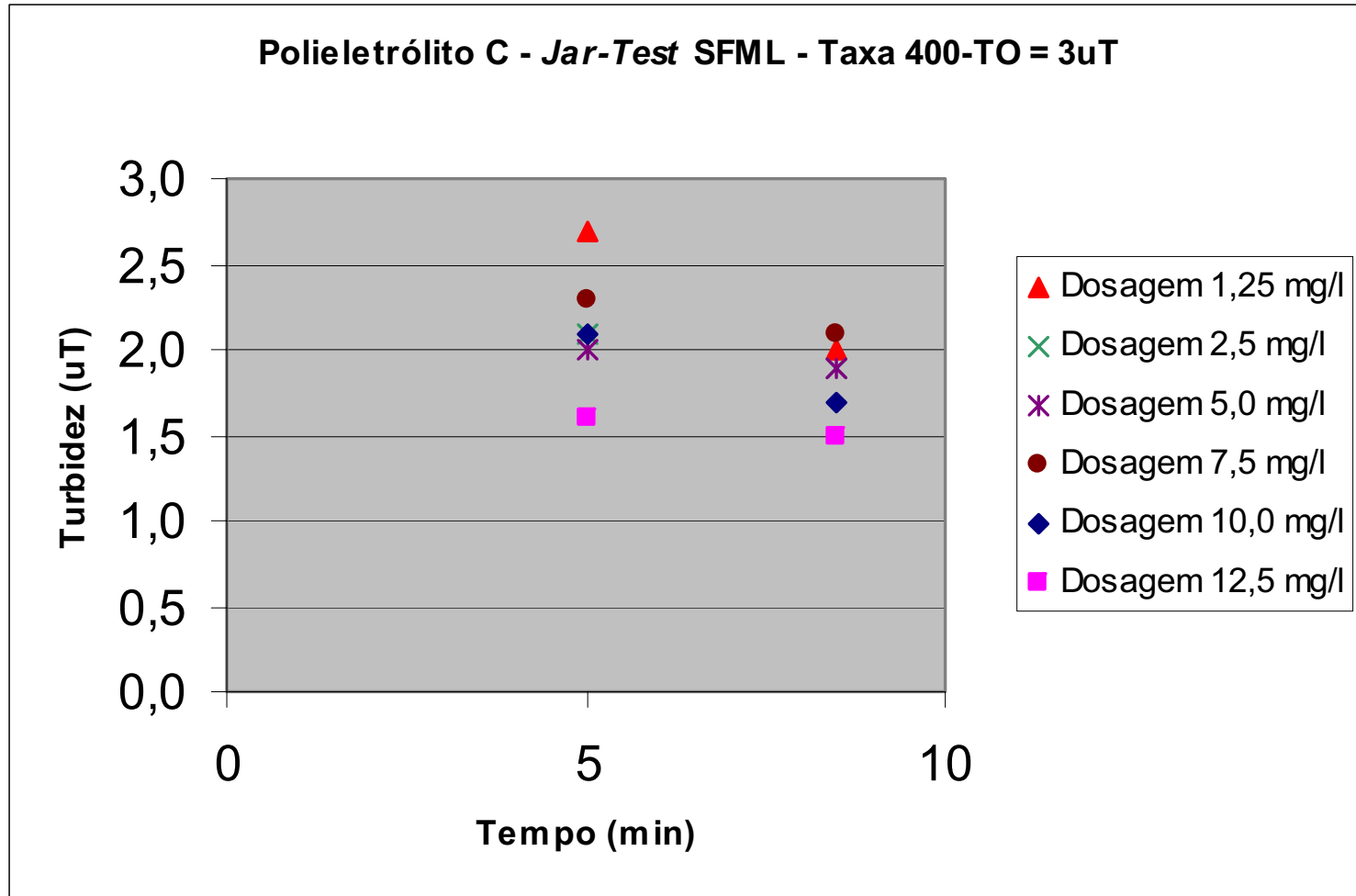
**Figura 105:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 100uT e taxa de  $320\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 143

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 25 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 0,5 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 3,0 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,6					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		2,7	2,1	2,0	2,3	2,1	1,6		
08:30		2,0	1,9	1,9	2,1	1,7	1,5		
	Dosagem (mg/l)	1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

**Formulário 70:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 3uT e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 144





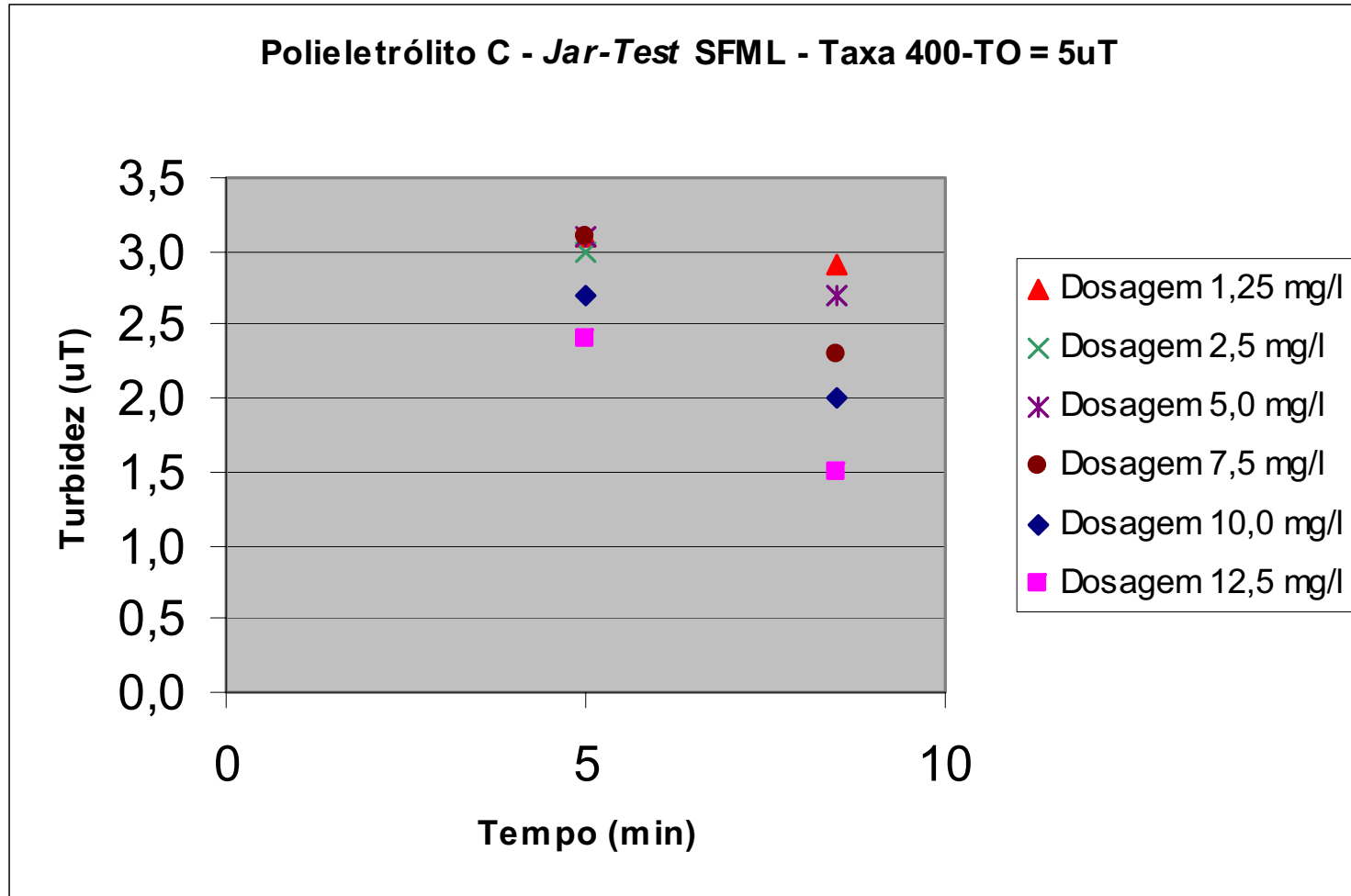
**Figura 106:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 3uT e taxa de  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 145

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 25 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 4,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 5,0 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,7					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0		
5		3,1	3,0	3,1	3,1	2,7	2,4		
08:30		2,9	2,7	2,7	2,3	2,0	1,5		
	Dosagem (mg/l)	1,3	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		

**Formulário 71:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 5uT e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 146



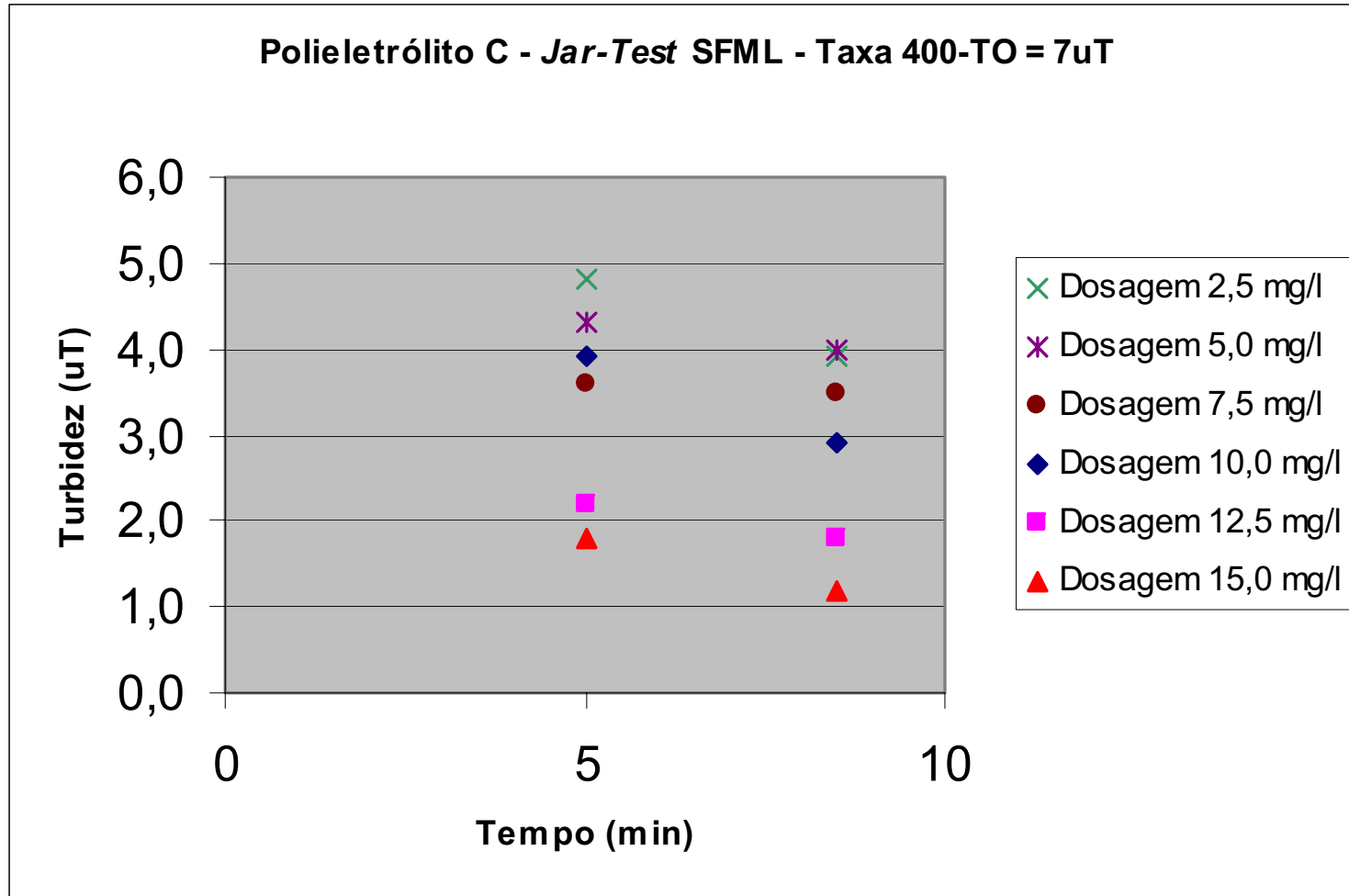
**Figura 107:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 5uT e taxa de  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 147

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 25 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 5,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 7,0 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,5					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		
5		4,8	4,3	3,6	3,9	2,2	1,8		
08:30		3,9	4,0	3,5	2,9	1,8	1,2		
	Dosagem (mg/l)	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		

**Formulário 72:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 7uT e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 148



**Figura 108:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 7uT e taxa de  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

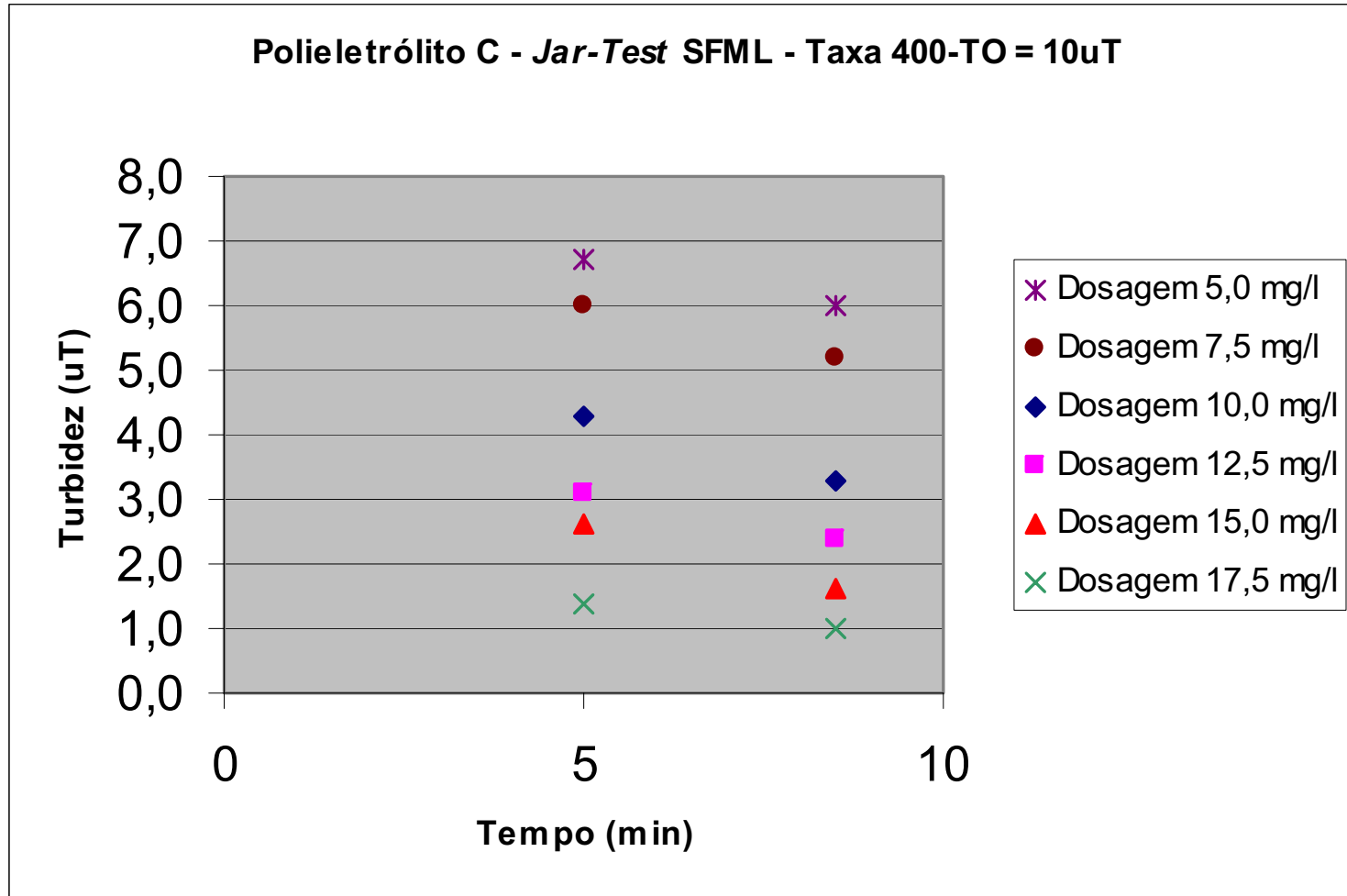
## ANEXO 149

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 25 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 10 uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 31°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5s	300 rpm						
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		6,7	6,0	4,3	3,1	2,6	1,4		
08:30		6,0	5,2	3,3	2,4	1,6	1,0		
	Dosagem (mg/l)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 73:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 10uT e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



ANEXO 150



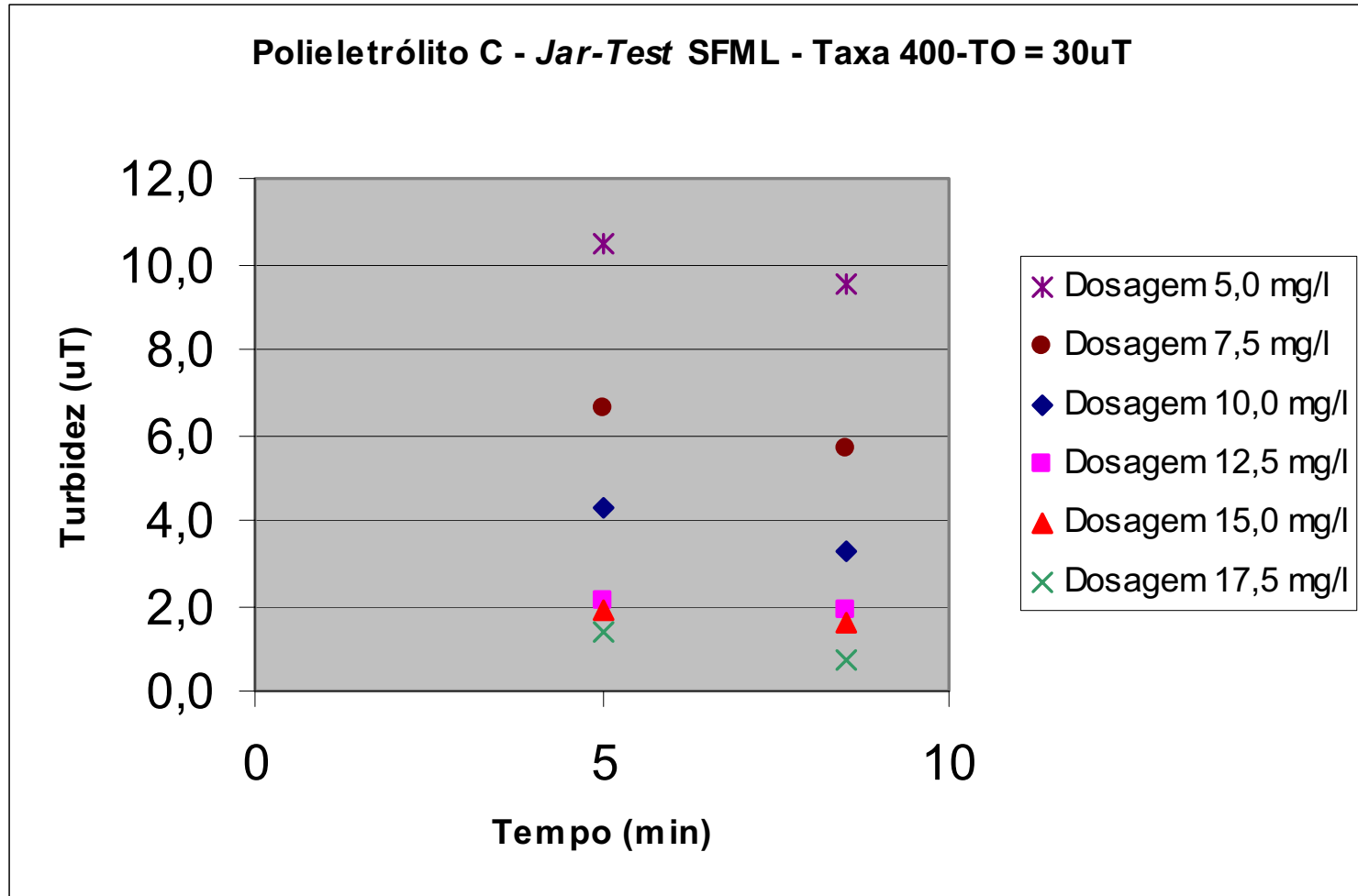
**Figura 109:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 10uT e taxa de  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 151

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 25 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 5,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 30 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,6					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		10,5	6,6	4,3	2,1	1,9	1,4		
08:30		9,5	5,7	3,3	1,9	1,6	0,7		
	Dosagem (mg/l)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 74:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 30uT e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 152



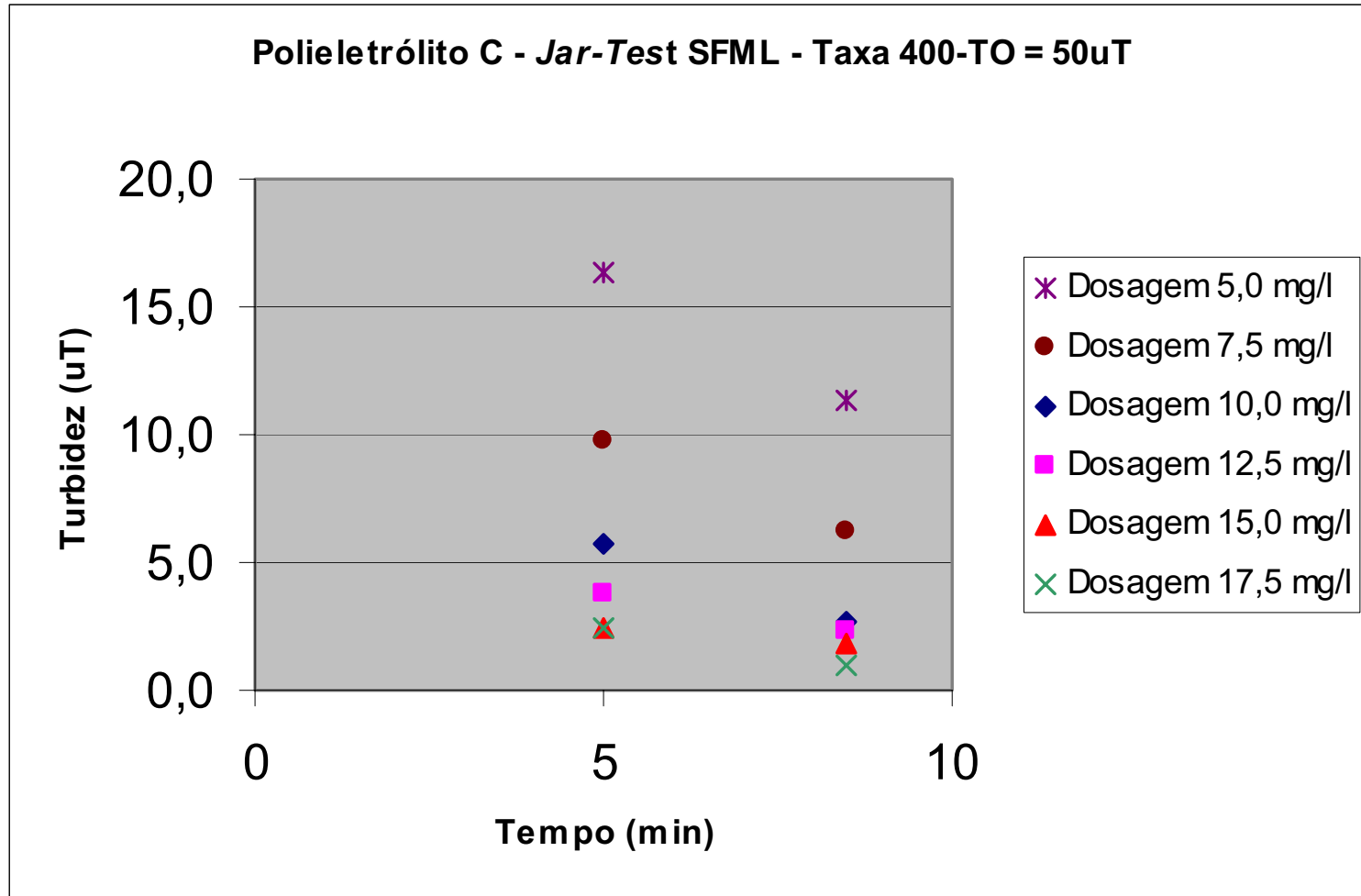
**Figura 110:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 30uT e taxa de  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 153

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 25 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 50 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,6					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		16,4	9,7	5,7	3,8	2,4	2,4		
08:30		11,3	6,2	2,7	2,3	1,8	1,0		
	Dosagem (mg/l)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 75:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 50uT e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 154



**Figura 111:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 50uT e taxa de  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

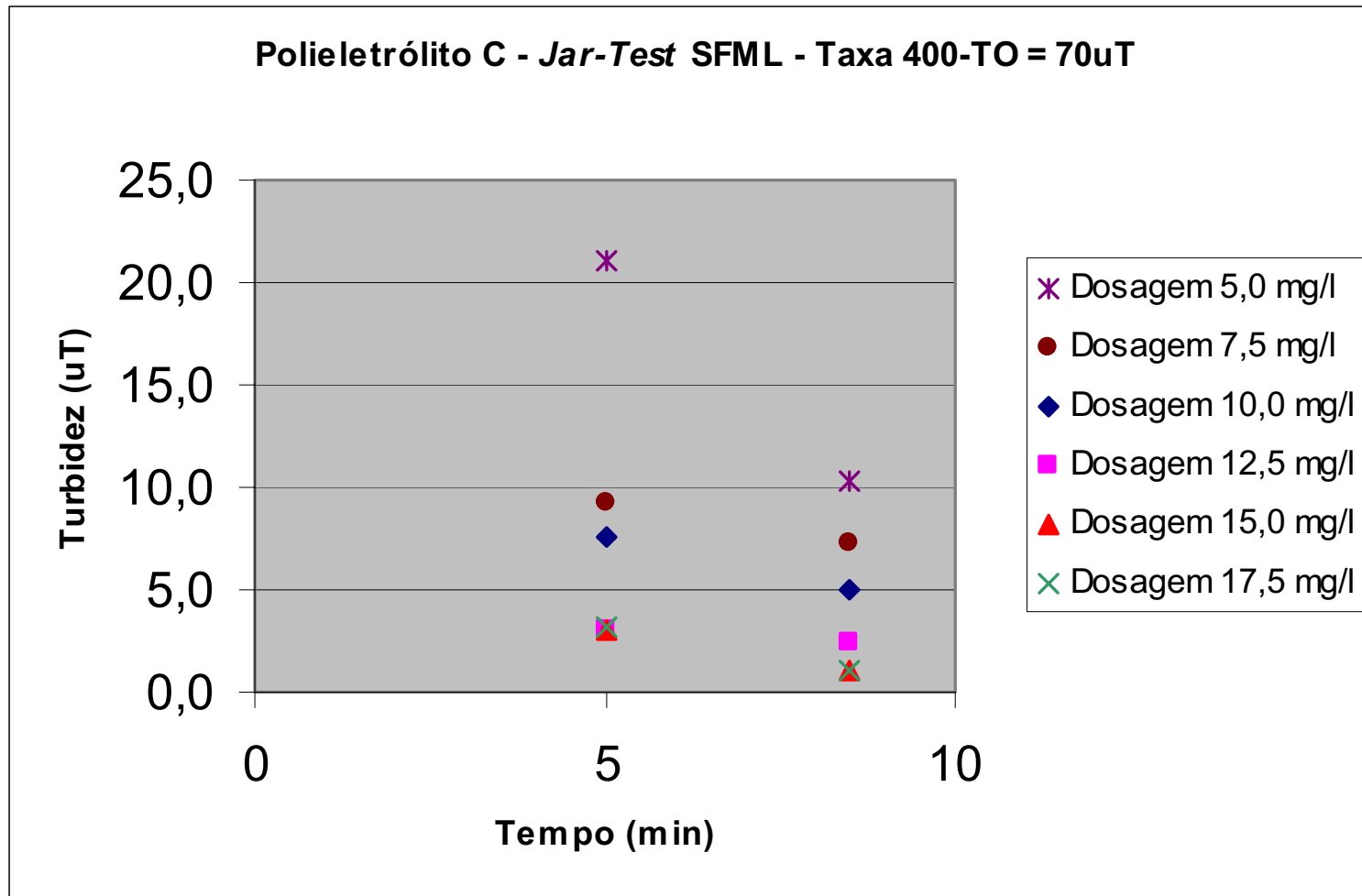


## ANEXO 155

TIPO DE ENSAIO: <i>JAR-TEST</i>				Data: 25 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 70 uT					
	Gradiente	tempo	rotação	pH: 7,5					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5s	300 rpm	Temperatura: 31°C					
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		21,1	9,2	7,6	3,1	3,1	3,2		
08:30		10,3	7,3	5,0	2,5	1,0	1,1		
	Dosagem (mg/l)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

**Formulário 76:** *Jar-test* para o SFML – Turbidez 70uT e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 156



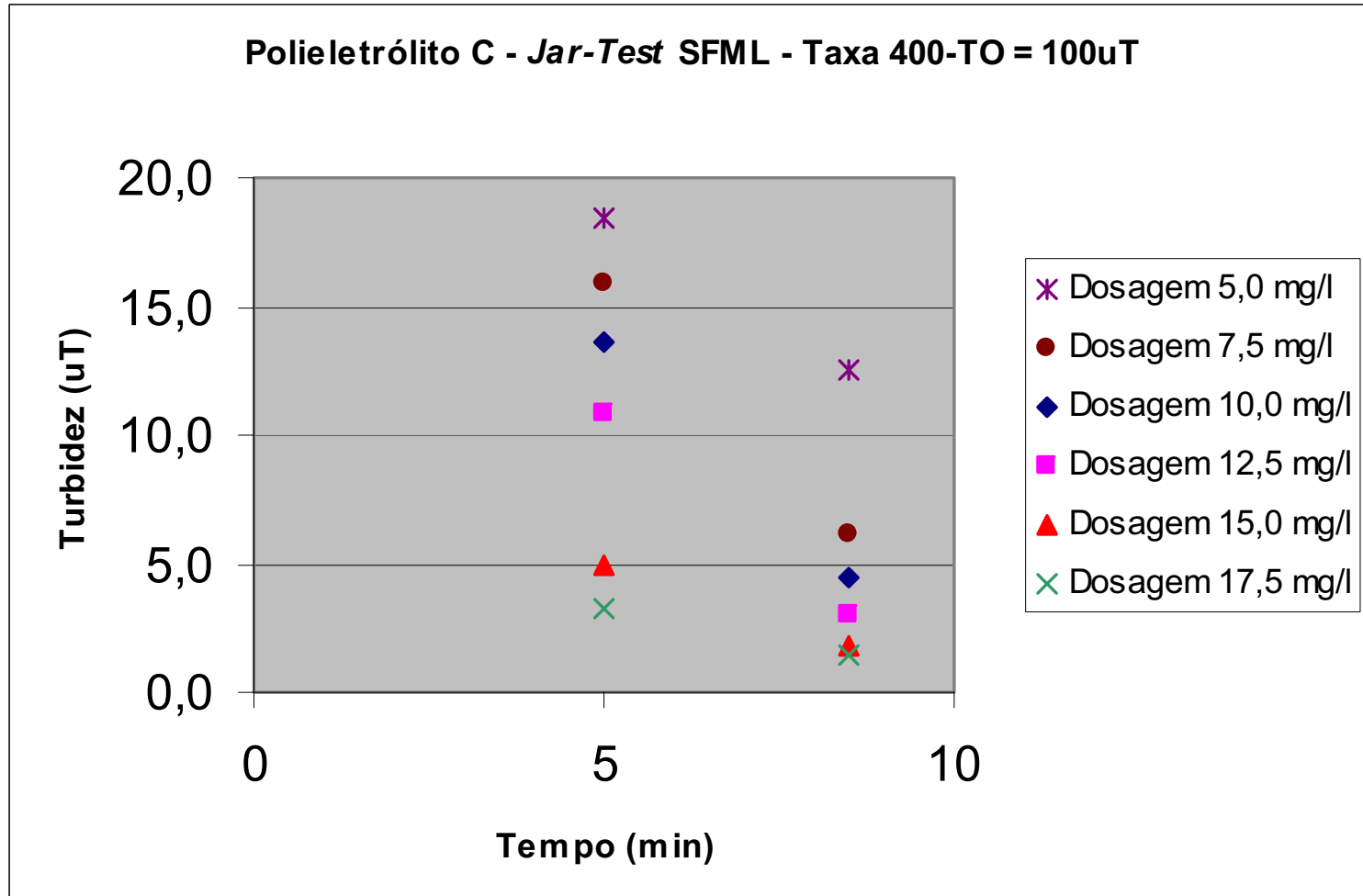
**Figura 112:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 70uT e taxa de  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 157

TIPO DE ENSAIO: JAR-TEST				Data: 25 / 02 / 05				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Melhor dose = 6,0 ml	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 100 uT					
				pH: 7,5					
				Temperatura: 31°C					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	5s	300 rpm						
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no módulo									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
		Decantação							
Tempo (min.)		Turbidez							
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		
5		18,4	15,9	13,6	10,9	4,9	3,2		
08:30		12,5	6,1	4,5	3,0	1,8	1,5		
	Dosagem (mg/l)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5		

Formulário 77: Jar-test para o SFML – Turbidez 100uT e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 158



**Figura 113:** Gráfico do *jar-test* para o SFML – Turbidez 100uT e taxa de  $400\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 159

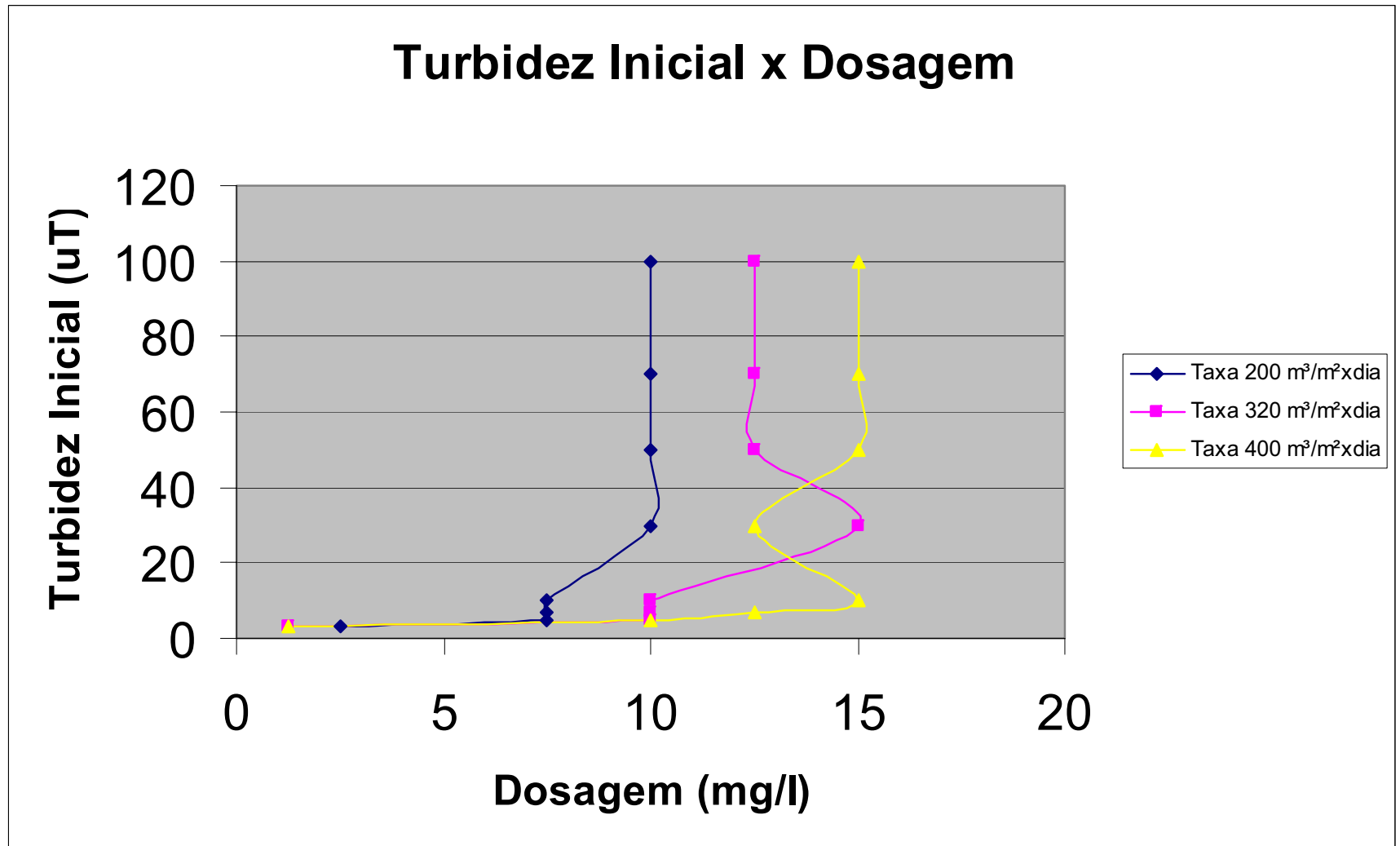
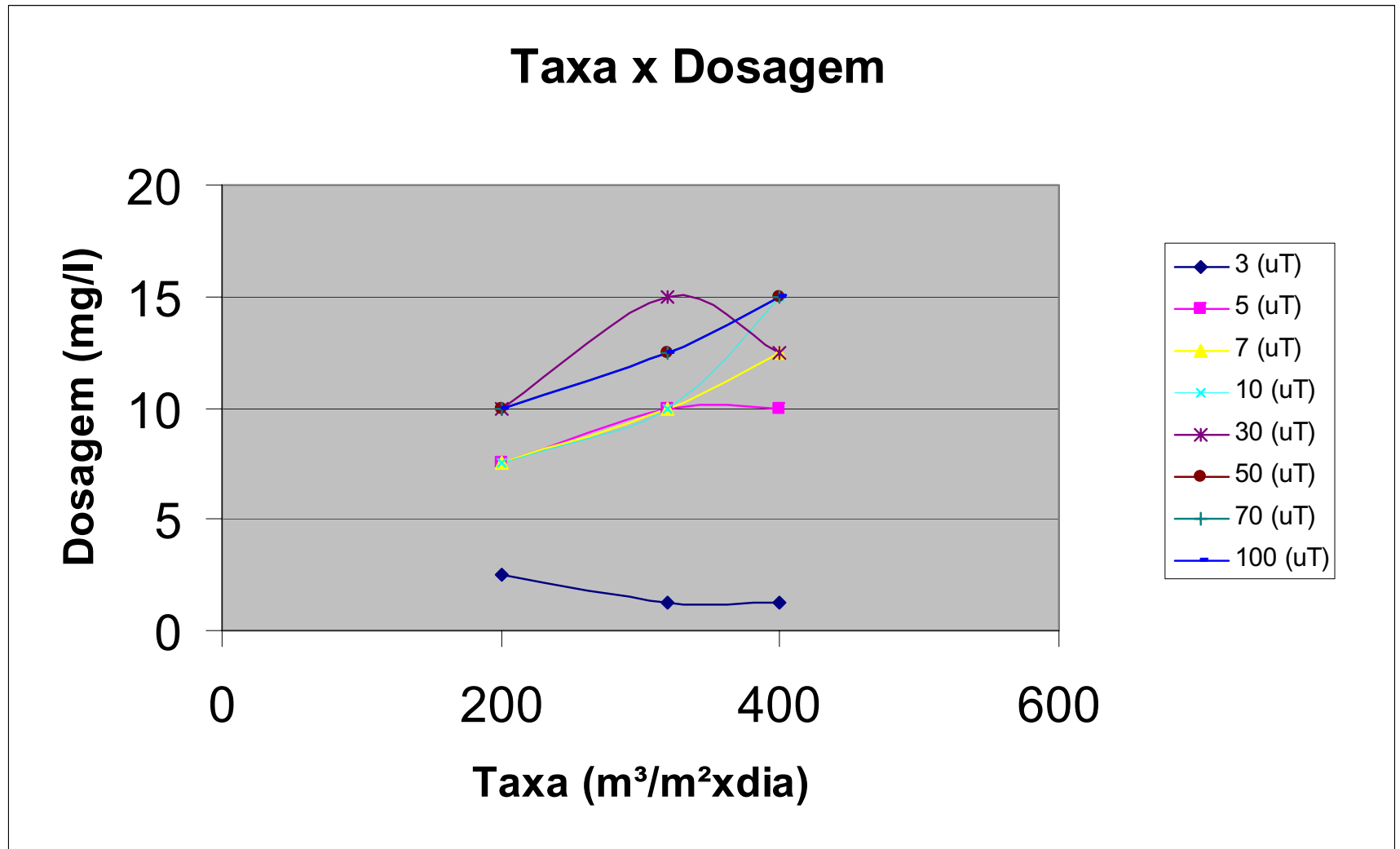


Figura 114: Gráfico indicativo do perfil de dosagens no SFML a partir da turbidez inicial



## ANEXO 160



**Figura 115:** Gráfico indicativo do perfil de dosagens no SFML a partir da taxa de aplicação

ANEXO 161

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	6,275	0,060	0,55	Q(L/s)	0,0582	2,040437428	0,218	0,081223	0,217526797
3600	7,355	0,041	0,55	Te(uT)	10	3,489280398	0,327	0,090483	0,326599733
5400	8,285	0,037	0,80	Xm%/100	0,0018	4,428697782	0,387	0,095624	0,386731567
7200	3,718	0,042	0,70	A(uT.L/g)	191,24	7,869804664	0,566	0,110789	0,566080183
9000	4,304	0,034	0,75	B (uT)	0,31	10,98991155	0,694	0,121706	0,693918029
10800	4,297	0,051	0,80	pL (g/L)	1000	14,11385289	0,803	0,130924	0,802701744
12600	4,187	0,033	0,90	pp (g/L)	1800	17,29805013	0,900	0,139166	0,899544418
14400	4,051	0,050	1,00	t (s)	1800	20,55674561	0,988	0,146684	0,98813933
				d (m)	0,0627				

**Formulário 78:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 10uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 162

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	11,08	0,05	0,40	Q(L/s)	0,0582	10,36303209	0,202	0,079906	0,201945852
3600	12,01	0,04	0,45	Te(uT)	30	20,21664962	0,336	0,091291	0,335648496
5400	10,97	0,04	0,50	X%/100	0,0100	30,63993522	0,448	0,100806	0,448283686
7200	10,29	0,04	0,60	A(uT.L/g)	191,24	41,43569797	0,546	0,109132	0,545566164
9000	9,259	0,03	0,70	B (uT)	0,31	52,79620461	0,634	0,116609	0,634795594
10800	9,77	0,03	0,75	pL (g/L)	1000	63,87680381	0,711	0,123151	0,711359482
12600	9,938	0,03	0,80	pp (g/L)	1800	74,86537884	0,780	0,129013	0,780046432
14400	8,576	0,03	0,85	t (s)	1800	86,60000962	0,850	0,13496	0,845039617
				d (m)	0,0627				

**Formulário 79:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 30uT e taxa de  $160m^3/m^2/dia$

ANEXO 163

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	17,72	0,045	0,65	Q(L/s)	0,0582	45,05710865	0,268	0,085513	0,267720719
3600	19,84	0,042	0,70	Te(uT)	100	88,95302002	0,436	0,09977	0,435766912
5400	18,25	0,043	0,75	X%/100	0,0300	133,719828	0,568	0,111001	0,568390843
7200	13,18	0,043	0,80	A(uT.L/g)	191,24	181,2636997	0,685	0,120899	0,684495777
9000	8,248	0,037	0,85	B (uT)	0,31	231,5091249	0,790	0,129862	0,789353387
10800	9,099	0,035	0,90	pL (g/L)	1000	281,2884006	0,881	0,137594	0,881339539
12600	5,983	0,038	0,95	pp (g/L)	1800	332,7745287	0,966	0,144815	0,966190208
14400	3,244	0,034	1,05	t (s)	1800	385,7610252	1,045	0,151561	1,04550988
				d (m)	0,0627				

**Formulário 80:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 100uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 164

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	3,346	0,044	0,70	Q(L/s)	0,0727	4,552971399	0,394	0,096218	0,394452522
3600	2,183	0,041	0,85	Te(uT)	10	9,901738707	0,652	0,118138	0,65189273
5400	1,937	0,039	0,95	X%/100	0,0018	15,41883499	0,844	0,13445	0,843594916
7200	2,067	0,035	1,05	A(uT.L/g)	191,24	20,8469769	0,996	0,147322	0,995558871
9000	2,379	0,035	1,15	B (uT)	0,31	26,06162862	1,120	0,157891	1,119729774
10800	2,37	0,034	1,25	pL (g/L)	1000	31,28243869	1,230	0,167202	1,229498569
12600	2,184	0,034	1,30	pp (g/L)	1800	36,63052174	1,330	0,175775	1,3304944
14400	2,488	0,055	1,40	t (s)	1800	41,77058883	1,419	0,18326	1,419463214
				d (m)	0,0627				

**Formulário 81:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 10uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 165

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	18,51	0,046	0,40	Q(L/s)	0,0727	7,861180935	0,231	0,08237	0,231378859
3600	17,47	0,036	0,75	Te(uT)	30	16,43393069	0,398	0,096558	0,397820457
5400	15,37	0,034	0,80	X%/100	0,0064	26,44351521	0,545	0,109047	0,545464533
7200	10,87	0,033	0,85	A(uT.L/g)	191,24	39,53209039	0,698	0,122046	0,697839047
9000	9,421	0,032	0,95	B (uT)	0,31	53,61211771	0,832	0,133431	0,832499579
10800	8,587	0,031	1,05	pL (g/L)	1000	68,26279827	0,951	0,143541	0,951449815
12600	9,225	0,032	1,10	pp (g/L)	1800	82,47693569	1,053	0,152164	1,052560796
14400	7,374	0,032	1,15	t (s)	1800	97,95760007	1,151	0,160533	1,151366602
				d (m)	0,0627				

**Formulário 82:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 30uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 166

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	17,38	0,076	0,85	Q(L/s)	0,0727	56,51530582	0,579	0,111936	0,579135853
3600	10,64	0,044	0,95	Te(uT)	100	117,6422316	0,891	0,138401	0,891107118
5400	8,647	0,038	1,05	X%/100	0,0124	180,1328357	1,119	0,157814	1,118992584
7200	6,268	0,037	1,20	A(uT.L/g)	191,24	244,251253	1,306	0,173702	1,306095773
9000	4,76	0,035	1,30	B (uT)	0,31	309,40152	1,466	0,187329	1,466298149
10800	3,4	0,036	1,45	pL (g/L)	1000	375,4823752	1,608	0,19936	1,608209794
12600	1,833	0,034	1,65	pp (g/L)	1800	442,6354688	1,736	0,210269	1,736548819
14400	1,719	0,033	1,85	t (s)	1800	509,8665686	1,853	0,220175	1,852726227
				d (m)	0,0627				

**Formulário 83:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 100uT e taxa de  $200m^3/m^2/dia$



ANEXO 167

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	3,581	0,051	1,10	Q(L/s)	0,0873	5,274229671	0,472	0,102803	0,471805223
3600	5,821	0,065	1,00	Te(uT)	10	8,707920647	0,648	0,117756	0,647939903
5400	3,683	0,232	1,10	X%/100	0,0016	13,89833955	0,850	0,134994	0,850486149
7200	5,034	0,043	1,30	A(uT.L/g)	191,24	17,97868135	0,980	0,145962	0,979583931
9000	3,364	0,141	1,20	B (uT)	0,31	23,43121448	1,127	0,158451	1,126477935
10800	2,961	0,047	1,30	pL (g/L)	1000	29,2148832	1,261	0,169836	1,260560214
12600	2,506	0,038	1,40	pp (g/L)	1800	35,37241562	1,386	0,180456	1,38623141
14400	2,298	0,039	1,50	t (s)	1800	41,70085748	1,500	0,190184	1,501822859
				d (m)	0,0627				

**Formulário 84:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 10uT e taxa de  $240m^3/m^2/dia$

ANEXO 168

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	15	0,053	1,00	Q(L/s)	0,0873	12,32376146	0,376	0,094723	0,376452019
3600	8,746	0,036	1,05	Te(uT)	30	29,78602711	0,667	0,119446	0,667414221
5400	5,345	0,037	1,10	X%/100	0,0052	50,04275117	0,899	0,139157	0,899534459
7200	4,436	0,034	1,15	A(uT.L/g)	191,24	71,04637158	1,086	0,154977	1,085687283
9000	3,977	0,033	1,25	B (uT)	0,31	92,42713918	1,243	0,168307	1,242665062
10800	4,762	0,034	1,35	pL (g/L)	1000	113,1628953	1,374	0,179479	1,37424138
12600	3,316	0,033	1,45	pp (g/L)	1800	135,0867895	1,497	0,189963	1,497354687
14400	3,098	0,032	1,60	t (s)	1800	157,1898091	1,609	0,199462	1,6092646
				d (m)	0,0627				

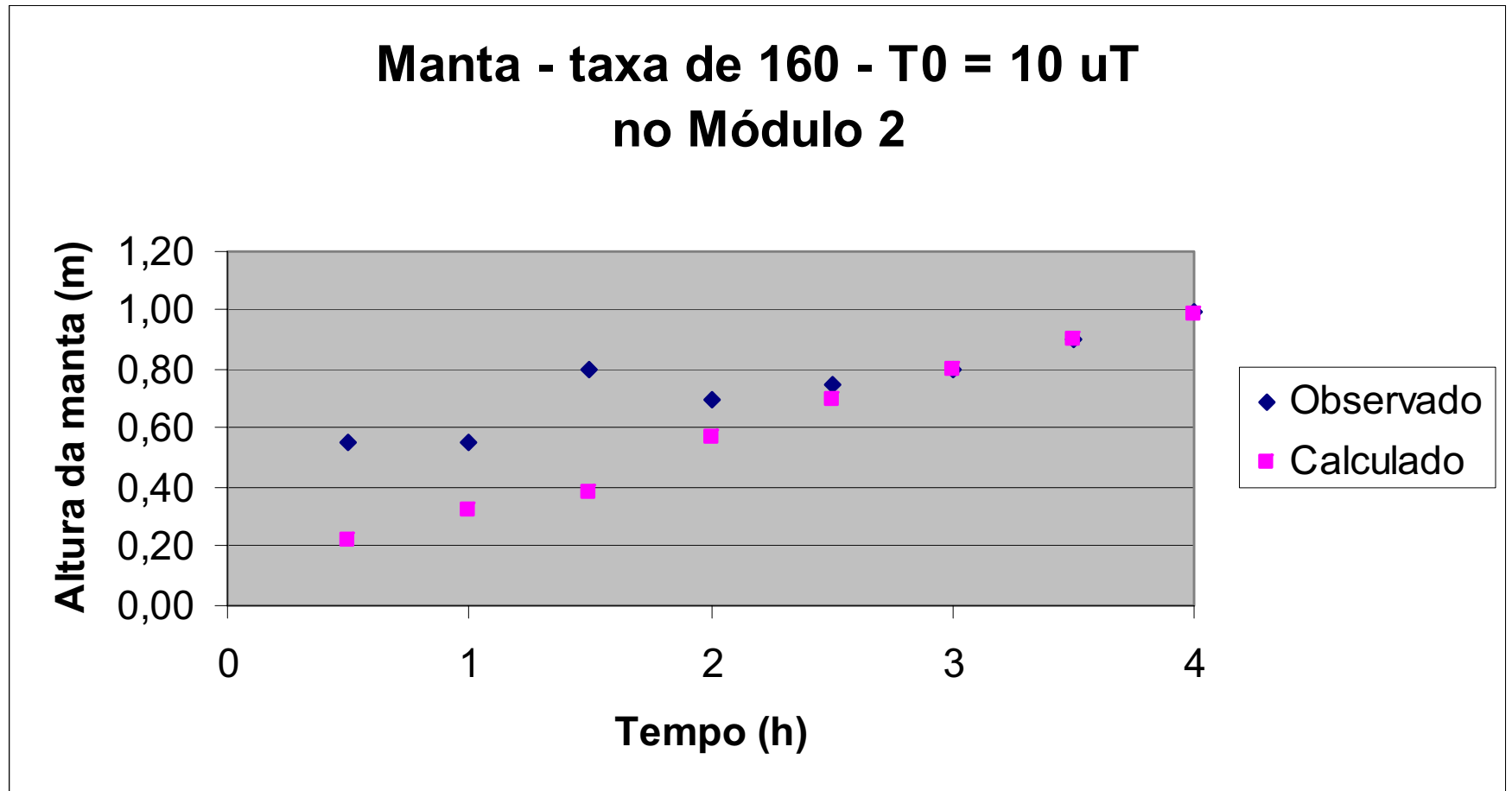
**Formulário 85:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 30uT e taxa de  $240m^3/m^2/dia$

ANEXO 169

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)
1800	17,38	0,076	0,85	Q(L/s)	0,0873	67,8650096	0,578	0,111885	0,578469481
3600	10,64	0,044	0,95	Te(uT)	100	141,2677692	0,890	0,138358	0,889932105
5400	8,647	0,038	1,05	X%/100	0,0149	216,3080681	1,118	0,157729	1,1179373
7200	6,268	0,037	1,20	A(uT.L/g)	191,24	293,3030865	1,305	0,173617	1,304791571
9000	4,76	0,035	1,30	B (uT)	0,31	371,537176	1,465	0,18721	1,465200821
10800	3,4	0,036	1,45	pL (g/L)	1000	450,8887394	1,607	0,199232	1,607041827
12600	1,833	0,034	1,65	pp (g/L)	1800	531,5278738	1,735	0,21015	1,735097461
14400	1,719	0,033	1,85	t (s)	1800	612,2606801	1,851	0,220039	1,851354721
				d (m)	0,0627				

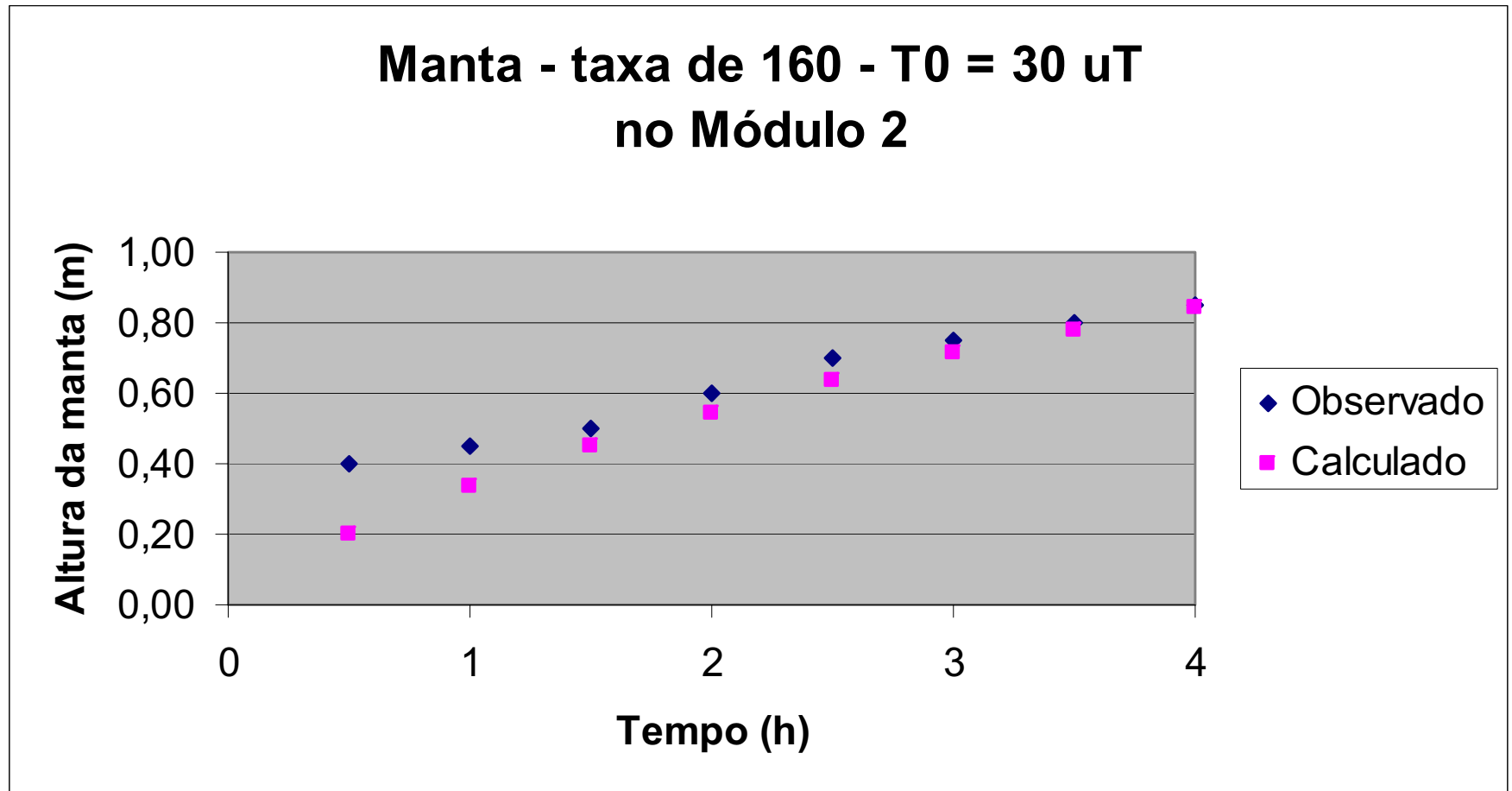
**Formulário 86:** Cálculo teórico da altura da manta no Módulo Floco Decantador ( $h_m$ ) - Turbidez 100uT e taxa de  $240m^3/m^2/dia$

ANEXO 170



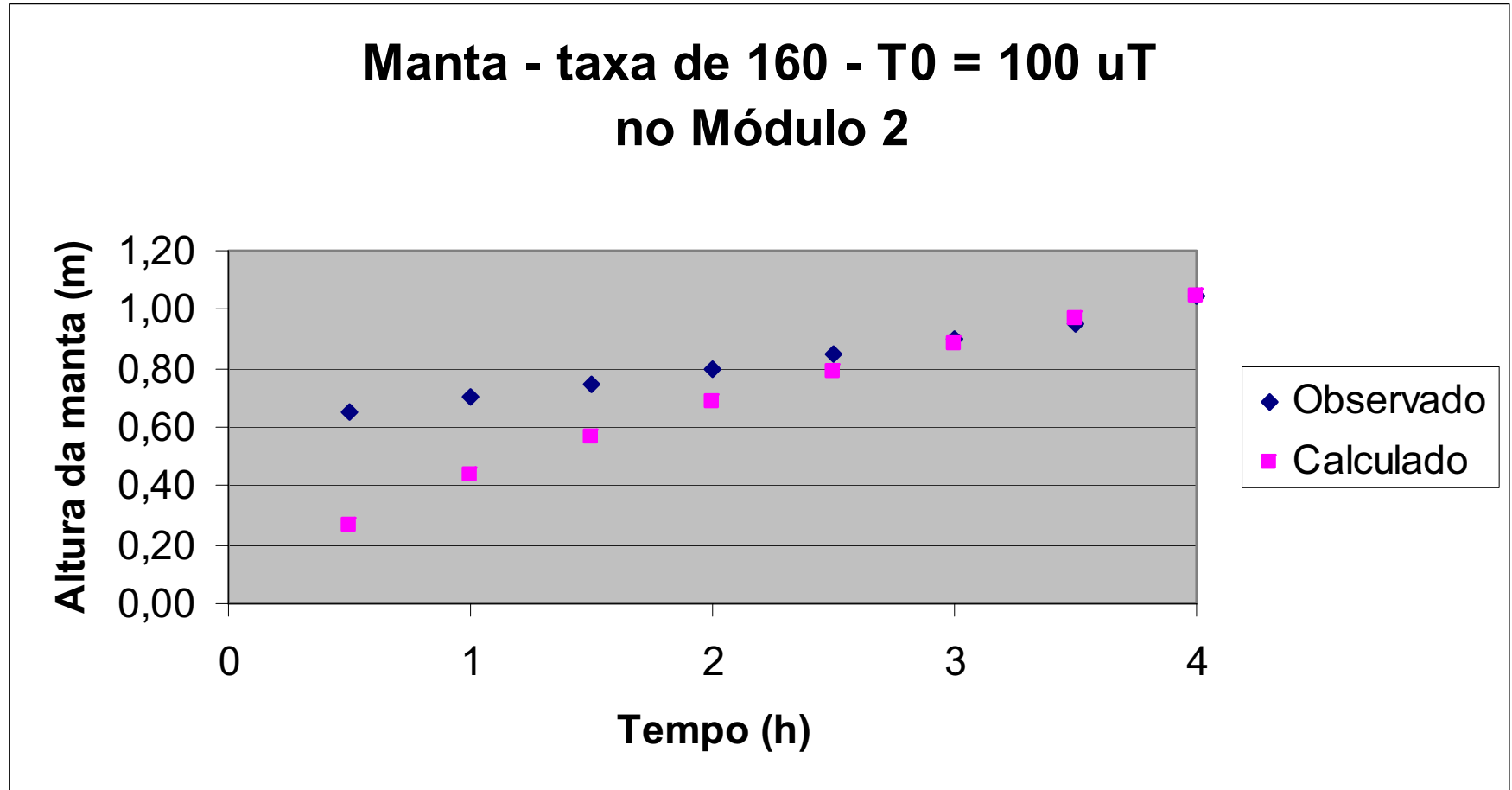
**Figura 116:** Gráfico da manta observada e calculada - Turbidez 10uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 171



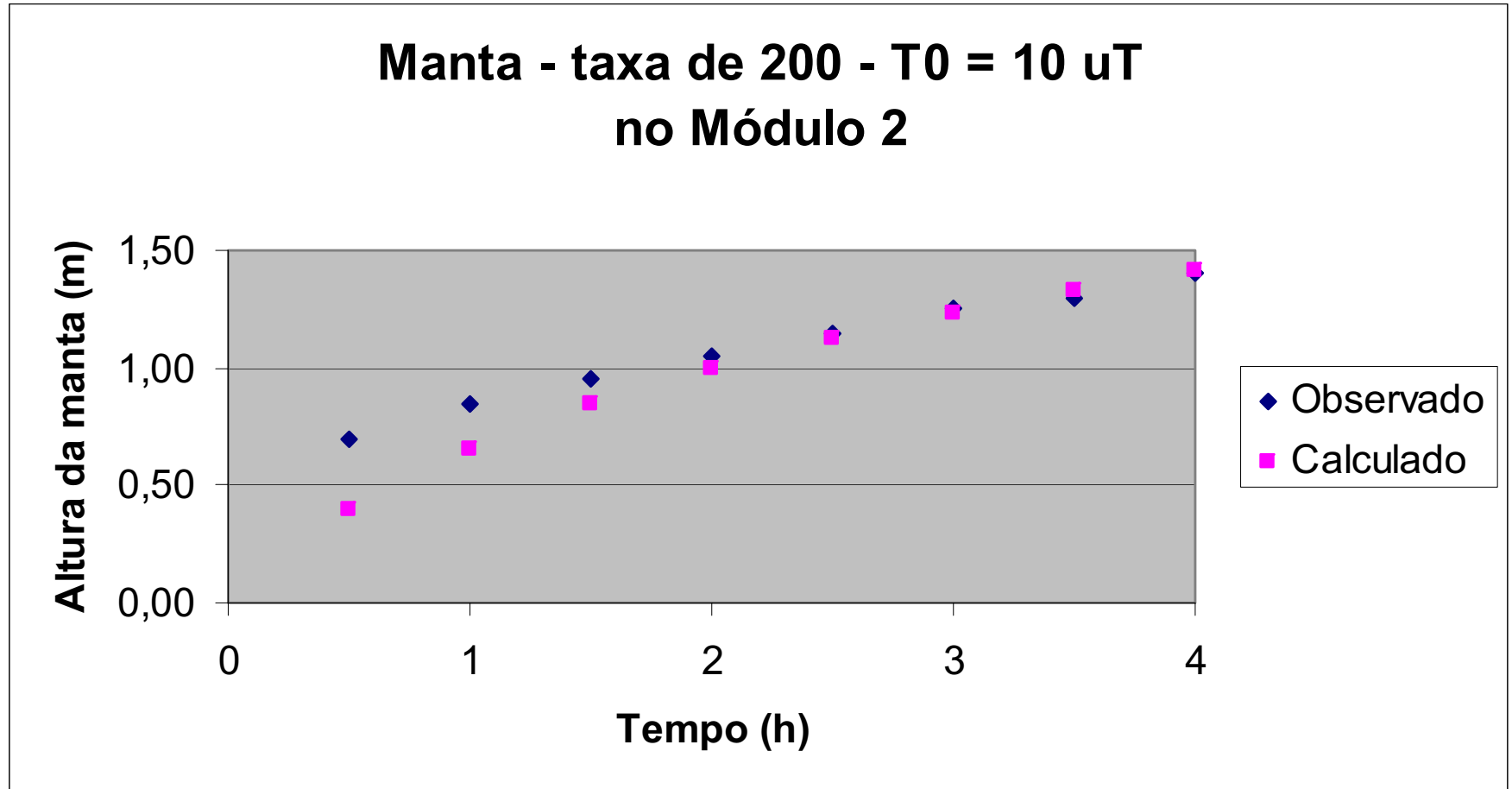
**Figura 117:** Gráfico da manta observada e calculada – Turbidez 30uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 172



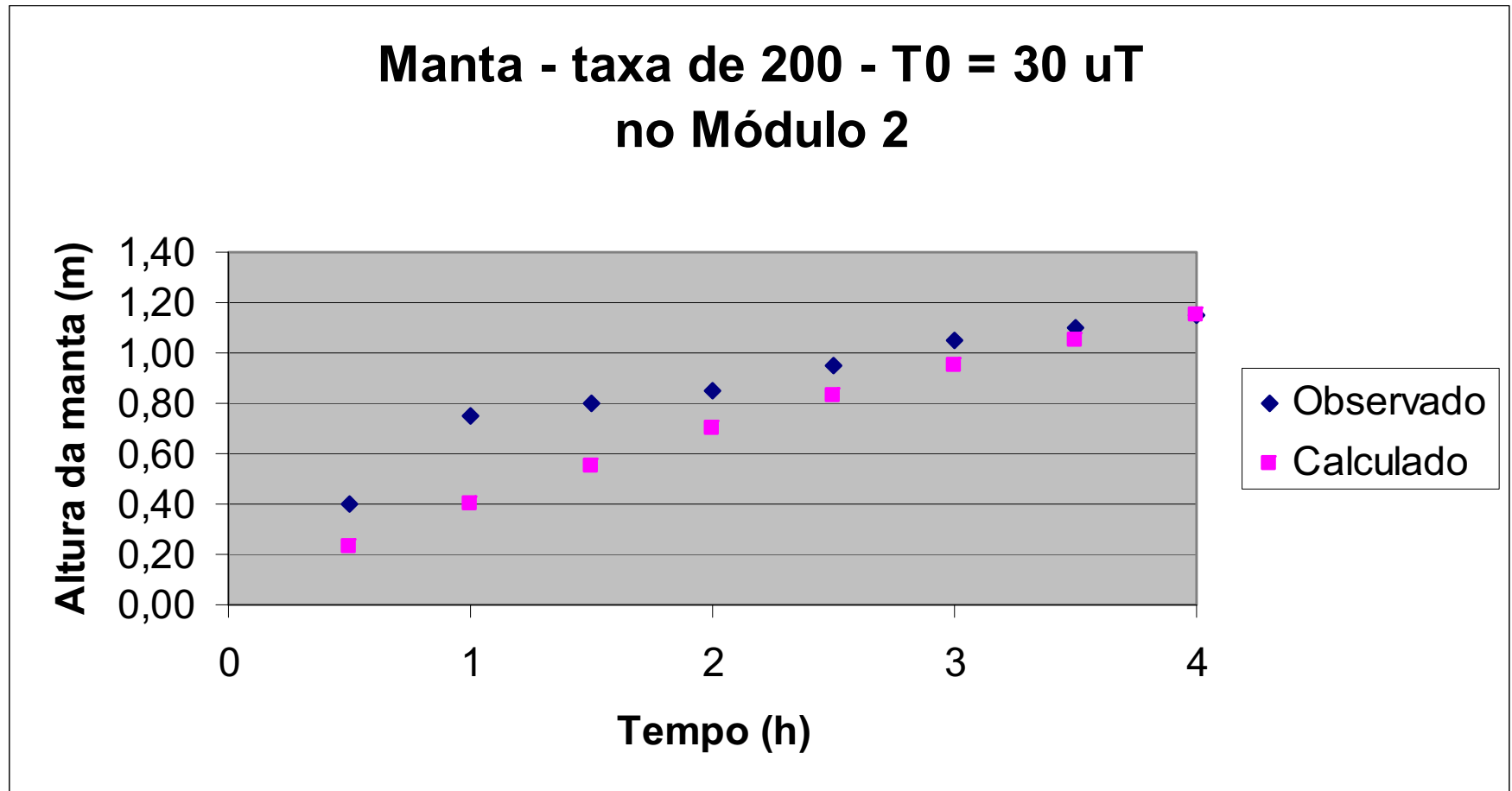
**Figura 118:** Gráfico da manta observada e calculada - Turbidez 100uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 173



**Figura 119:** Gráfico da manta observada e calculada - Turbidez 10uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

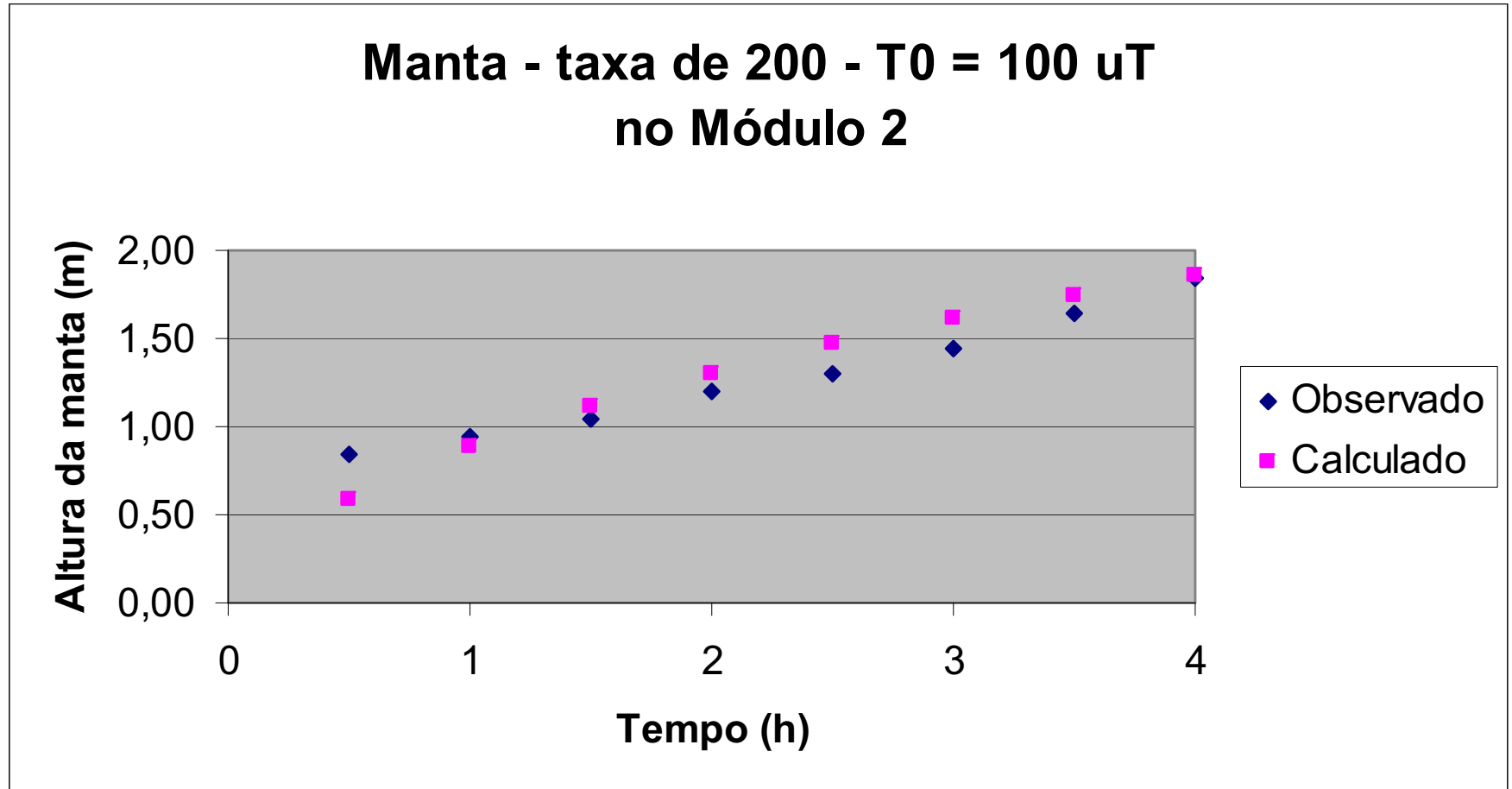
ANEXO 174



**Figura 120:** Gráfico da manta observada e calculada – Turbidez 30uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

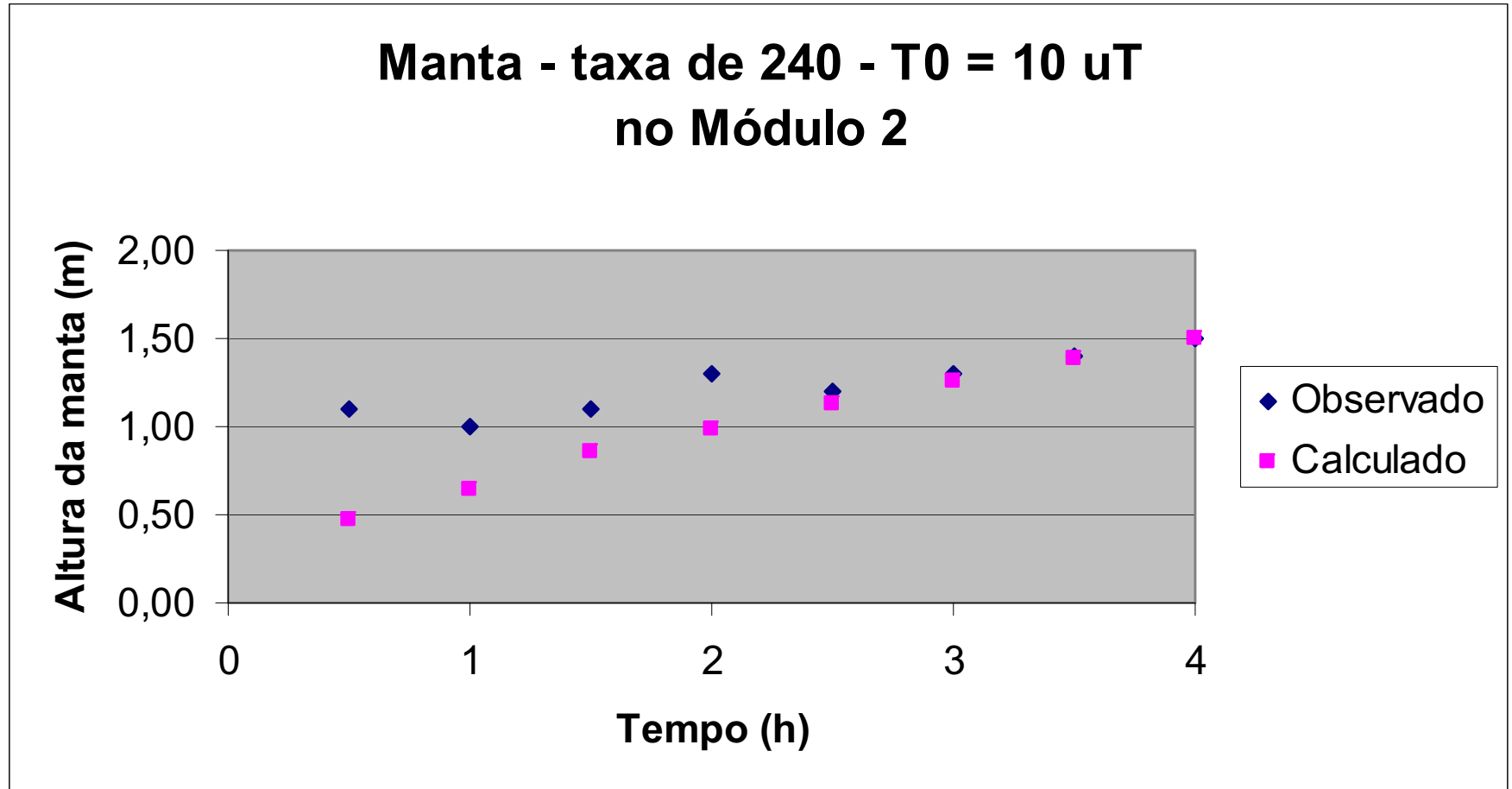


ANEXO 175



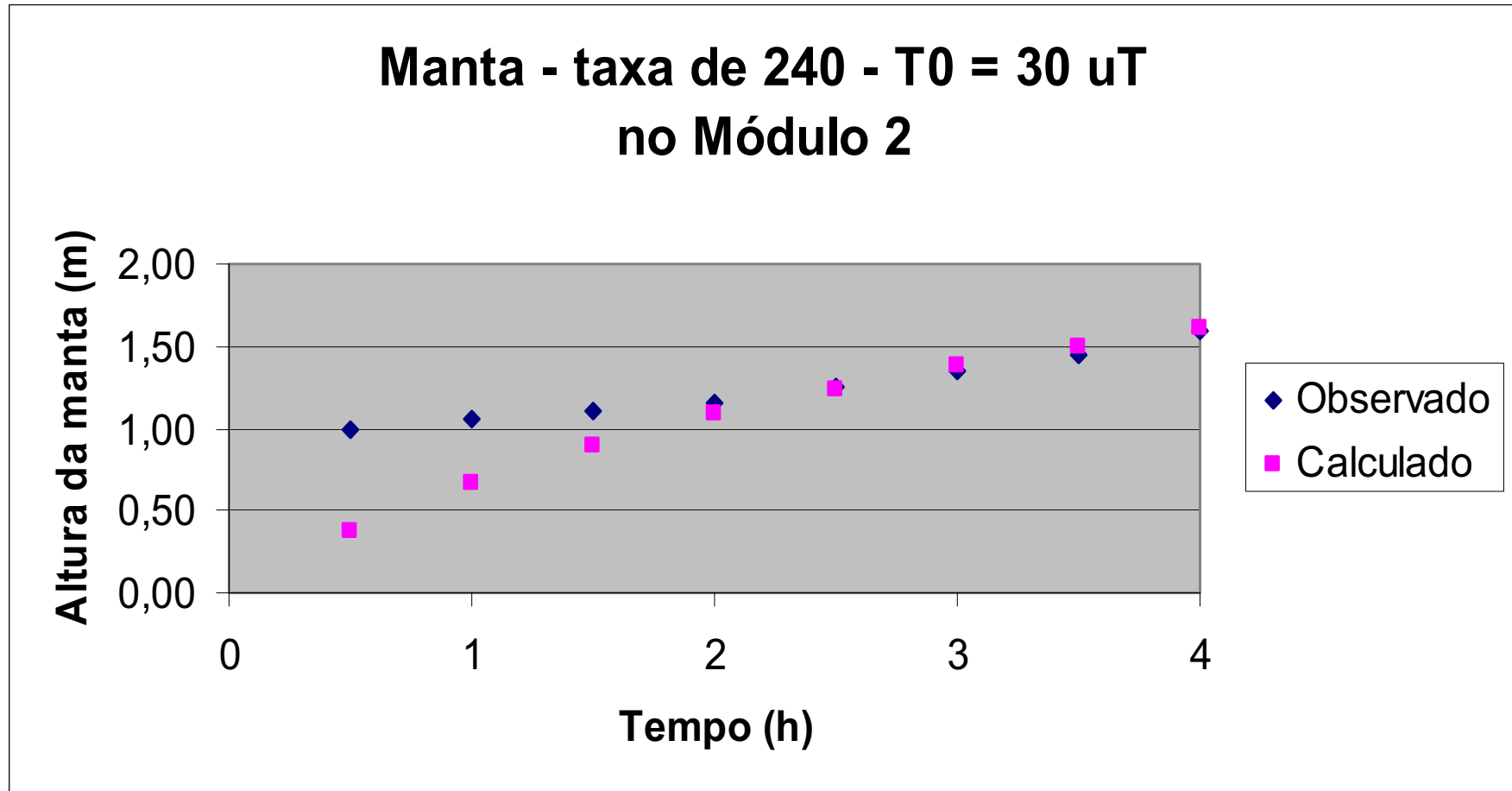
**Figura 121:** Gráfico da manta observada e calculada - Turbidez 100uT e taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 176



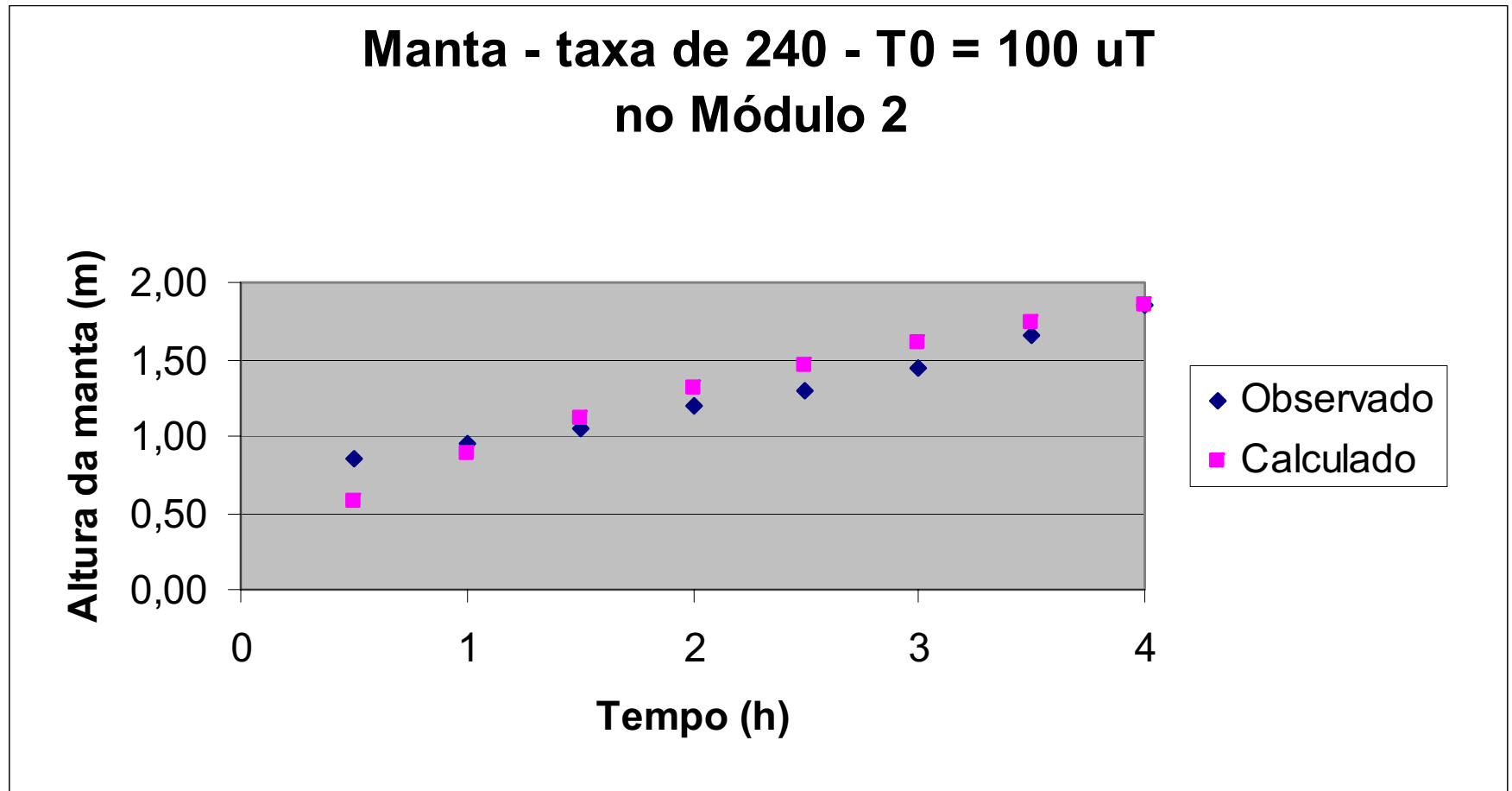
**Figura 122:** Gráfico da manta observada e calculada - Turbidez 10uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 177



**Figura 123:** Gráfico da manta observada e calculada - Turbidez 30uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 178



**Figura 124:** Gráfico da manta observada e calculada - Turbidez 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 179

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	6,275	0,060	0,55	Q(L/s)	0,0582	0,0004885	2,040466712	0,550	0,109	0,5500	3,10
3600	7,355	0,041	0,55	Te(uT)	10	0,0008351	3,489331911	0,550	0,109	0,5500	5,30
5400	8,285	0,037	0,80	Xm%/100	0,015747	0,0008248	6,428764509	0,800	0,131	0,8000	5,24
7200	3,718	0,042	0,70	A(uT.L/g)	191,24	0,0015927	9,869912712	0,700	0,122	0,7000	10,11
9000	4,304	0,034	0,75	B (uT)	0,31	0,0018634	12,99005874	0,750	0,126	0,7500	11,83
10800	4,297	0,051	0,80	pL (g/L)	1000	0,0020660	16,11403925	0,800	0,131	0,8000	13,12
12600	4,187	0,033	0,90	pp (g/L)	2630	0,0020054	19,2982761	0,900	0,139	0,9000	12,74
14400	4,051	0,050	1,00	t (s)	1800	0,0019307	22,55701171	1,000	0,148	1,0000	12,26
				d (m)	0,0627						

**Formulário 87:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 10uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 180

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	11,08	0,05	0,40	Q(L/s)	0,0582	0,0040060	10,36341647	0,400	0,097	0,4000	25,44
3600	12,01	0,04	0,45	Te(uT)	30	0,0065610	20,21740789	0,450	0,101	0,4500	41,67
5400	10,97	0,04	0,50	X%/100	0,015747	0,0084659	30,64107907	0,500	0,105	0,5000	53,76
7200	10,29	0,04	0,60	A(uT.L/g)	191,24	0,0085890	41,43723443	0,600	0,114	0,6000	54,54
9000	9,259	0,03	0,70	B (uT)	0,31	0,0084840	52,79814349	0,700	0,122	0,7000	53,88
10800	9,77	0,03	0,75	pL (g/L)	1000	0,0091220	63,87914038	0,750	0,126	0,7500	57,93
12600	9,938	0,03	0,80	pp (g/L)	2630	0,0095540	74,86811149	0,800	0,131	0,8000	60,67
14400	8,576	0,03	0,85	t (s)	1800	0,0099250	86,6031506	0,850	0,135	0,8500	63,03
				d (m)	0,0627						

**Formulário 88:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste – Turbidez 30uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 181

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	17,72	0,045	0,65	Q(L/s)	0,0582	0,0081970	45,06194505	0,650	0,118	0,6500	52,05
3600	19,84	0,042	0,70	Te(uT)	100	0,0142440	88,96265348	0,700	0,122	0,7000	90,46
5400	18,25	0,043	0,75	X%/100	0,015747	0,0189800	133,7342885	0,750	0,126	0,7500	120,53
7200	13,18	0,043	0,80	A(uT.L/g)	191,24	0,0229390	181,2830656	0,800	0,131	0,8000	145,67
9000	8,248	0,037	0,85	B (uT)	0,31	0,0262650	231,5334477	0,850	0,135	0,8500	166,79
10800	9,099	0,035	0,90	pL (g/L)	1000	0,0287480	281,3176733	0,900	0,139	0,9000	182,56
12600	5,983	0,038	0,95	pp (g/L)	2630	0,0307680	332,8087738	0,950	0,143	0,9500	195,39
14400	3,244	0,034	1,05	t (s)	1800	0,0296060	385,8002546	1,050	0,152	1,0500	188,01
				d (m)	0,0627						

**Formulário 89:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste – Turbidez 100uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 182

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	-	-	0,60	-	-	0,0005000	2,400121005	0,600	0,114	0,6000	8,09
1800	3,346	0,044	0,70	Q(L/s)	0,0727	0,0011224	6,953145523	0,700	0,122	0,7000	18,16
3600	2,183	0,041	0,85	Te(uT)	10	0,0014173	12,30196953	0,850	0,135	0,8500	22,93
5400	1,937	0,039	0,95	X%/100	0,006182	0,0016777	17,81912305	0,950	0,143	0,9500	27,14
7200	2,067	0,035	1,05	A(uT.L/g)	191,24	0,0018153	23,24732193	1,050	0,152	1,0500	29,36
9000	2,379	0,035	1,15	B (uT)	0,31	0,0018664	28,46202986	1,150	0,160	1,1500	30,19
10800	2,37	0,034	1,25	pL (g/L)	1000	0,0018749	33,68289618	1,250	0,169	1,2500	30,33
12600	2,184	0,034	1,30	pp (g/L)	2630	0,0020086	39,03103592	1,300	0,173	1,3000	32,49
14400	2,488	0,055	1,40	t (s)	1800	0,0019562	44,17115894	1,400	0,182	1,4000	31,64
				d (m)	0,0627						

**Formulário 90:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 10uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$



## ANEXO 183

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	18,51	0,046	0,40	Q(L/s)	0,0727	0,0030408	7,861526068	0,400	0,097	0,4000	49,19
3600	17,47	0,036	0,75	Te(uT)	30	0,0026429	18,43464402	0,750	0,126	0,7500	42,75
5400	15,37	0,034	0,80	X%/100	0,006182	0,0036431	28,44463918	0,800	0,131	0,8000	58,93
7200	10,87	0,033	0,85	A(uT.L/g)	191,24	0,0047751	41,53369733	0,850	0,135	0,8500	77,24
9000	9,421	0,032	0,95	B (uT)	0,31	0,0052245	55,61422548	0,950	0,143	0,9500	84,51
10800	8,587	0,031	1,05	pL (g/L)	1000	0,0054743	70,26541598	1,050	0,152	1,0500	88,55
12600	9,225	0,032	1,10	pp (g/L)	2630	0,0060209	84,48005646	1,100	0,156	1,1000	97,39
14400	7,374	0,032	1,15	t (s)	1800	0,0065361	99,96124245	1,150	0,160	1,1500	105,73
				d (m)	0,0627						

**Formulário 91:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 30uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 184

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	17,38	0,076	0,85	Q(L/s)	0,0727	0,0064913	56,52135451	0,850	0,135	0,8500	105,00
3600	10,64	0,044	0,95	Te(uT)	100	0,0110132	117,6544448	0,950	0,143	0,9500	178,15
5400	8,647	0,038	1,05	X%/100	0,006182	0,0139614	180,1512368	1,050	0,152	1,0500	225,84
7200	6,268	0,037	1,20	A(uT.L/g)	191,24	0,0146234	244,2758633	1,200	0,165	1,2000	236,55
9000	4,76	0,035	1,30	B (uT)	0,31	0,0157881	309,4323493	1,300	0,173	1,3000	255,39
10800	3,4	0,036	1,45	pL (g/L)	1000	0,0153871	375,51943	1,450	0,186	1,4500	248,90
12600	1,833	0,034	1,65	pp (g/L)	2630	0,0143139	442,6787536	1,650	0,203	1,6500	231,54
14400	1,719	0,033	1,85	t (s)	1800	0,0136166	509,9160837	1,850	0,220	1,8500	220,26
				d (m)	0,0627						

**Formulário 92:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 100uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 185

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	-	-	0,90	-	-	0,0016000	15,3937445	0,900	0,139	0,9000	51,61
1800	3,581	0,051	1,10	Q(L/s)	0,0873	0,0014771	20,6680369	1,100	0,156	1,1001	47,65
3600	5,821	0,065	1,00	Te(uT)	10	0,0020627	24,1017757	1,000	0,148	1,0000	66,54
5400	3,683	0,232	1,10	X%/100	0,003100	0,0020927	29,2922567	1,100	0,156	1,1000	67,51
7200	5,034	0,043	1,30	A(uT.L/g)	191,24	0,0017177	33,3726525	1,300	0,173	1,3001	55,41
9000	3,364	0,141	1,20	B (uT)	0,31	0,0023421	38,8252493	1,200	0,165	1,2000	75,55
10800	2,961	0,047	1,30	pL (g/L)	1000	0,0022953	44,6089835	1,300	0,173	1,3000	74,04
12600	2,506	0,038	1,40	pp (g/L)	2630	0,0022479	50,7665830	1,400	0,182	1,4000	72,51
14400	2,298	0,039	1,50	t (s)	1800	0,0022106	57,0950926	1,500	0,190	1,5000	71,31
				d (m)	0,0627						

**Formulário 93:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 10uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 186

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	-	-	1,05	-	-	0,0040000	51,2944929	1,050	0,152	1,0500	129,03
1800	15	0,053	1,00	Q(L/s)	0,0873	0,0054333	63,61875576	1,000	0,148	1,0000	175,27
3600	8,746	0,036	1,05	Te(uT)	30	0,0063137	81,08163175	1,050	0,152	1,0500	203,67
5400	5,345	0,037	1,10	X%/100	0,003100	0,0072171	101,3390007	1,100	0,156	1,1000	232,81
7200	4,436	0,034	1,15	A(uT.L/g)	191,24	0,0079923	122,3432722	1,150	0,160	1,1500	257,82
9000	3,977	0,033	1,25	B (uT)	0,31	0,0079699	143,7246936	1,250	0,169	1,2500	257,09
10800	4,762	0,034	1,35	pL (g/L)	1000	0,0078144	164,4610988	1,350	0,177	1,3500	252,08
12600	3,316	0,033	1,45	pp (g/L)	2630	0,0076741	186,3856501	1,450	0,186	1,4500	247,55
14400	3,098	0,032	1,60	t (s)	1800	0,0071495	208,4893278	1,600	0,199	1,6000	230,63
				d (m)	0,0627						

**Formulário 94:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 30uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 187

t(s)	Ts(uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	-	-	1,15	-	-	0,0070000	107,0866704	1,150	0,160	1,1500	225,81
1800	17,38	0,076	0,85	Q(L/s)	0,0873	0,0199257	174,9589434	0,850	0,135	0,8500	642,76
3600	10,64	0,044	0,95	Te(uT)	100	0,0230739	248,3691055	0,950	0,143	0,9500	744,32
5400	8,647	0,038	1,05	X%/100	0,003100	0,0248930	323,416835	1,050	0,152	1,0500	803,00
7200	6,268	0,037	1,20	A(uT.L/g)	191,24	0,0238328	400,4193096	1,200	0,165	1,2000	768,80
9000	4,76	0,035	1,30	B (uT)	0,31	0,0242927	478,660867	1,300	0,173	1,3000	783,64
10800	3,4	0,036	1,45	pL (g/L)	1000	0,0227597	558,0199061	1,450	0,186	1,4500	734,18
12600	1,833	0,034	1,65	pp (g/L)	2630	0,0205704	638,6665217	1,650	0,203	1,6500	663,56
14400	1,719	0,033	1,85	t (s)	1800	0,0191444	719,4068094	1,850	0,220	1,8500	617,56
				d (m)	0,0627						

**Formulário 95:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 100uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 188

t(s)	Ts(uT)	Te (uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	1,070	3,0	1,070	0,00			1,610000	1,057233911	0,000	0,063	0,0000	-
1800	0,939	3,0	0,939	0,00			1,610000	2,186228552	0,000	0,063	0,0000	-
3600	0,926	3,0	0,926	0,00			1,610000	3,32234449	0,000	0,063	0,0000	-
5400	1,077	3,0	1,077	0,00			1,610000	4,375743859	0,000	0,063	0,0000	-
7200	1,360	3,0	1,360	0,00			1,610000	5,27411827	0,000	0,063	0,0000	-
9000	2,179	5,0	2,179	0,00			1,610000	6,819423155	0,000	0,063	0,0000	-
10800	2,427	5,0	2,427	0,00			1,610000	8,228876366	0,000	0,063	0,0000	-
12600	2,630	5,0	2,630	0,00			1,610000	9,527128508	0,000	0,063	0,0000	-
14400	2,247	5,0	2,247	0,00			1,610000	11,03518373	0,000	0,063	0,0000	-
16200	2,743	7,0	2,743	0,00			1,610000	13,36709771	0,000	0,063	0,0000	-
18000	2,762	7,0	2,762	0,45			0,005096	15,68860373	0,450	0,101	0,4500	32,36
19800	2,666	7,0	2,666	0,45			0,005865	18,0626974	0,450	0,101	0,4500	37,24
21600	2,647	7,0	2,647	0,45			0,006636	20,44719905	0,450	0,101	0,4500	42,14
23400	4,056	10,0	4,056	0,45			0,007687	23,70319574	0,450	0,101	0,4500	48,82
25200	4,300	10,0	4,300	0,45			0,008694	26,8255329	0,450	0,101	0,4500	55,21
27000	3,750	10,0	3,750	0,47			0,009181	30,24915195	0,470	0,103	0,4700	58,30
28800	3,148	10,0	3,148	0,54			0,008337	34,00253849	0,540	0,109	0,5400	52,94
30600	3,551	30,0	3,551	0,58			0,010601	48,49017619	0,580	0,112	0,5800	67,32
32400	3,652	30,0	3,652	0,64			0,011716	62,9224875	0,640	0,117	0,6400	74,40
34200	3,527	30,0	3,527	0,70			0,01241	77,42327207	0,700	0,122	0,7000	78,81
36000	2,535	30,0	2,535	0,77			0,012589	92,46746177	0,770	0,128	0,7700	79,95
37800	2,739	50,0	2,739	0,86			0,013255	118,3540407	0,860	0,136	0,8600	84,17
39600	2,487	50,0	2,487	0,90			0,014883	144,3786624	0,900	0,139	0,9000	94,51
41400	2,275	50,0	2,275	0,97			0,015318	170,5194152	0,970	0,145	0,9700	97,27
43200	2,166	50,0	2,166	1,02			0,016081	196,7198771	1,020	0,149	1,0200	102,12
45000	1,898	70,0	0,060	1,08			0,017156	234,0204136	1,080	0,155	1,0800	108,94
46800	1,650	70,0	0,041	1,15	Q(L/s)	0,0582	0,017627	271,4568021	1,150	0,160	1,1500	111,94
48600	1,430	70,0	0,037	1,28	Xm%/100	0,015747	0,016260	309,0137045	1,280	0,171	1,2800	103,26
50400	2,808	70,0	0,042	1,48	A(uT.L/g)	191,24	0,013637	345,8157531	1,480	0,188	1,4800	86,60
52200	2,424	100,0	0,034	1,60	B (uT)	0,31	0,013636	399,256420	1,600	0,199	1,6000	86,59
54000	2,432	100,0	0,051	1,70	pL (g/L)	1000	0,013906	452,6927045	1,700	0,207	1,7000	88,31
55800	1,932	100,0	0,033	1,80	pp (g/L)	2630	0,014135	506,4028837	1,800	0,216	1,8000	89,76
57600	0,781	100,0	0,050	1,90	t (s)	1800	0,014341	560,743570	1,900	0,224	1,9000	91,07
					d (m)	0,0627						

**Formulário 96:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 3 a 100uT e taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 189

t(s)	Ts(uT)	Te (uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	0,632	3,0	0,632	0,00			1,610000	1,6203442	0,000	0,063	0,0000	-
1800	1,602	3,0	1,602	0,00			1,610000	2,5769476	0,000	0,063	0,0000	-
3600	1,312	3,0	1,312	0,00			1,610000	3,7319887	0,000	0,063	0,0000	-
5400	1,416	3,0	1,416	0,00			1,610000	4,8158659	0,000	0,063	0,0000	-
7200	1,859	3,0	1,859	0,00			1,610000	5,5966126	0,000	0,063	0,0000	-
9000	3,047	5,0	3,047	1,05			0,000542	6,9329743	1,050	0,152	1,0500	8,76
10800	3,547	5,0	3,547	0,95			0,000747	7,9272045	0,950	0,143	0,9500	12,08
12600	3,552	5,0	3,552	0,85			0,001028	8,9180133	0,850	0,135	0,8500	16,62
14400	3,689	5,0	3,689	0,75			0,001408	9,8150783	0,750	0,126	0,7500	22,78
16200	4,374	7,0	4,374	0,80			0,001489	11,6119358	0,800	0,131	0,8000	24,09
18000	3,428	7,0	3,428	0,80			0,001802	14,0561044	0,800	0,131	0,8000	29,15
19800	3,400	7,0	3,400	0,80			0,002118	16,5194323	0,800	0,131	0,8000	34,26
21600	3,568	7,0	3,568	0,90			0,001961	18,8678042	0,900	0,139	0,9000	31,72
23400	3,835	10,0	3,835	0,95			0,002173	23,0862245	0,950	0,143	0,9500	35,15
25200	3,599	10,0	3,599	0,98			0,002440	27,4661306	0,980	0,146	0,9800	39,47
27000	3,729	10,0	3,729	1,00			0,002717	31,7570827	1,000	0,148	1,0000	43,95
28800	1,930	10,0	1,930	1,10			0,002662	37,2790261	1,100	0,156	1,1000	43,07
30600	2,038	30,0	2,038	1,22			0,003292	56,4114187	1,220	0,166	1,2200	53,25
32400	2,612	30,0	2,612	1,30			0,003863	75,1510429	1,300	0,173	1,3000	62,49
34200	2,894	30,0	2,894	1,55			0,003411	93,6977045	1,550	0,194	1,5500	55,17
36000	3,459	30,0	3,459	1,60			0,003844	111,8577573	1,600	0,199	1,6000	62,18
37800	2,108	50,0	2,108	1,70			0,004469	144,6255131	1,700	0,207	1,7000	72,29
39600	1,714	50,0	1,714	1,90			0,004572	177,6628700	1,900	0,224	1,9000	73,95
41400	1,370	50,0	1,370	1,97			0,005126	210,9356150	1,970	0,230	1,9700	82,92
43200	1,229	50,0	1,229	2,10			0,005383	244,3048418	2,100	0,241	2,1000	87,08
45000	1,140	70,0	0,060	2,13			0,006283	291,4171422	2,130	0,244	2,1300	101,63
46800	1,196	70,0	0,041	2,30	Q(L/s)	0,0727	0,006519	338,4911237	2,300	0,258	2,3000	105,46
48600	1,291	70,0	0,037	2,02	Xm%/100	0,006182	0,00899	385,5000996	2,020	0,234	2,0200	145,43
50400	0,809	70,0	0,042	2,30	A(uT.L/g)	191,24	0,008327	432,8388932	2,300	0,258	2,3000	134,70
52200	0,863	100,0	0,034	2,35	B (uT)	0,31	0,009333	500,6619570	2,350	0,262	2,3500	150,98
54000	2,460	100,0	0,051	2,35	pL (g/L)	1000	0,010569	567,3922458	2,350	0,262	2,3500	170,97
55800	1,615	100,0	0,033	2,35	pp (g/L)	2630	0,011814	634,7007397	2,350	0,262	2,3500	191,10
57600	1,612	100,0	0,050	2,35	t (s)	1800	0,013057	702,0112864	2,350	0,262	2,3500	211,20
					d (m)	0,0627						



**Formulário 97:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 3 a 100uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 190

t(s)	Ts(uT)	Te (uT)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	0,742	3,0	0,742	0,00			1,610000	1,855365	0,000	0,063	0,0000	-
1800	1,036	3,0	1,036	0,00			1,610000	3,469153	0,000	0,063	0,0000	-
3600	1,392	3,0	1,392	0,00			1,610000	4,790420	0,000	0,063	0,0000	-
5400	1,666	3,0	1,666	0,00			1,610000	5,886546	0,000	0,063	0,0000	-
7200	1,925	3,0	1,925	0,00			1,610000	6,769855	0,000	0,063	0,0000	-
9000	2,843	5,0	2,843	0,00			1,610000	8,542215	0,000	0,063	0,0000	-
10800	2,826	5,0	2,826	0,00			1,610000	10,328544	0,000	0,063	0,0000	-
12600	2,944	5,0	2,944	0,00			1,610000	12,017914	0,000	0,063	0,0000	-
14400	3,070	5,0	3,070	0,00			1,610000	13,603752	0,000	0,063	0,0000	-
16200	4,253	7,0	4,253	0,00			1,610000	15,860887	0,000	0,063	0,0000	-
18000	4,302	7,0	4,302	0,00			1,610000	18,077759	0,000	0,063	0,0000	-
19800	4,250	7,0	4,250	0,00			1,610000	20,337359	0,000	0,063	0,0000	-
21600	5,866	7,0	5,866	0,00			1,610000	21,269133	0,000	0,063	0,0000	-
23400	8,148	10,0	8,148	0,60			0,004735	22,790850	0,600	0,114	0,6000	152,75
25200	5,489	10,0	5,489	0,73			0,003976	26,497384	0,730	0,125	0,7300	128,26
27000	5,210	10,0	5,210	0,85			0,003502	30,433165	0,850	0,135	0,8500	112,96
28800	4,258	10,0	4,258	0,90			0,003649	35,151181	0,900	0,139	0,9000	117,71
30600	5,779	30,0	5,779	1,03			0,004451	55,051944	1,030	0,150	1,0300	143,57
32400	3,035	30,0	3,035	1,15			0,005053	77,207388	1,150	0,160	1,1500	163,00
34200	2,849	30,0	2,849	1,21			0,005893	99,515664	1,210	0,166	1,2100	190,09
36000	2,346	30,0	2,346	1,55			0,004447	122,237247	1,550	0,194	1,5500	143,45
37800	1,600	50,0	1,600	1,82			0,004468	162,003013	1,820	0,217	1,8200	144,12
39600	1,480	50,0	1,480	2,10			0,004451	201,867382	2,100	0,241	2,1000	143,57
41400	1,241	50,0	1,241	2,30			0,004665	241,928134	2,300	0,258	2,3000	150,48
43200	1,407	50,0	1,407	2,20			0,005179	251,852486	2,200	0,250	2,2000	167,07
45000	1,342	70,0	0,060	2,30			0,005939	308,260148	2,300	0,258	2,3000	191,59
46800	1,621	70,0	0,041	2,08	Q(L/s)	0,0873	0,007356	329,438559	2,080	0,239	2,0800	237,27
48600	1,293	70,0	0,037	2,30	Xm%/100	0,003100	0,007428	385,886484	2,300	0,258	2,3000	239,61
50400	1,522	70,0	0,042	1,90	A(uT.L/g)	191,24	0,010184	397,146243	1,900	0,224	1,9000	328,51
52200	1,105	100,0	0,034	2,30	B (uT)	0,31	0,009198	478,391046	2,300	0,258	2,3000	296,72
54000	1,293	100,0	0,051	2,35	pL (g/L)	1000	0,010423	559,481372	2,350	0,262	2,3500	336,22
55800	1,100	100,0	0,033	2,40	pp (g/L)	2630	0,011576	640,730283	2,400	0,267	2,4000	373,42
57600	1,151	100,0	0,050	2,45	t (s)	1800	0,012661	721,937289	2,450	0,271	2,4500	408,42
					d (m)	0,0627						

**Formulário 98:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta sem fator de ajuste - Turbidez 3 a 100uT e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 191

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	6,275	1,8892	0,060	0,55	Q(L/s)	0,0582	0,0005966	2,492433537	0,550	0,109	0,5500	3,79
3600	7,355	1,7932	0,041	0,55	Te(uT)	10	0,0010142	4,237980909	0,550	0,109	0,5500	6,44
5400	8,285	1,7273	0,037	0,80	Xm%/100	0,015747	0,0009440	7,357754335	0,800	0,131	0,8000	5,99
7200	3,718	2,2944	0,042	0,70	A(uT.L/g)	191,24	0,0018942	11,739968740	0,700	0,122	0,7000	12,03
9000	4,304	2,1646	0,034	0,75	B (uT)	0,31	0,0022472	15,669704007	0,750	0,126	0,7500	14,27
10800	4,297	2,1660	0,051	0,80	pL (g/L)	1000	0,0025127	19,604762638	0,800	0,131	0,8000	15,96
12600	4,187	2,1879	0,033	0,90	pp (g/L)	2630	0,0024541	23,623720286	0,900	0,139	0,9000	15,58
14400	4,051	2,2165	0,050	1,00	t (s)	1800	0,0023742	27,747065157	1,000	0,148	1,0000	15,08
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	1,6325						

**Formulário 99:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 10uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 192

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	11,08	1,5851	0,05	0,40	Q(L/s)	0,0582	0,0041584	10,757609968	0,400	0,097	0,4000	26,41
3600	12,01	1,5498	0,04	0,45	Te(uT)	30	0,0067930	20,934358486	0,450	0,101	0,4500	43,14
5400	10,97	1,5896	0,04	0,50	X%/100	0,015747	0,0087742	31,761259491	0,500	0,105	0,5000	55,72
7200	10,29	1,6190	0,04	0,60	A(uT.L/g)	191,24	0,0089152	43,019457772	0,600	0,114	0,6000	56,62
9000	9,259	1,6700	0,03	0,70	B (uT)	0,31	0,0088266	54,942069488	0,700	0,122	0,7000	56,05
10800	9,77	1,6437	0,03	0,75	pL (g/L)	1000	0,0094985	66,533709230	0,750	0,126	0,7500	60,32
12600	9,938	1,6355	0,03	0,80	pp (g/L)	2630	0,0099533	78,017262492	0,800	0,131	0,8000	63,21
14400	8,576	1,7091	0,03	0,85	t (s)	1800	0,0103559	90,387790944	0,850	0,135	0,8500	65,76
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	1,2365						

**Formulário 100:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 30uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 193

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	17,72	1,3991	0,045	0,65	Q(L/s)	0,0582	0,0072784	39,99055333	0,650	0,118	0,6500	46,22
3600	19,84	1,3607	0,042	0,70	Te(uT)	100	0,0126243	78,76769598	0,700	0,122	0,7000	80,17
5400	18,25	1,3889	0,043	0,75	X%/100	0,015747	0,0168332	118,45264703	0,750	0,126	0,7500	106,90
7200	13,18	1,5109	0,043	0,80	A(uT.L/g)	191,24	0,0204229	161,13415375	0,800	0,131	0,8000	129,69
9000	8,248	1,7297	0,037	0,85	B (uT)	0,31	0,0235155	206,94536483	0,850	0,135	0,8500	149,33
10800	9,099	1,6788	0,035	0,90	pL (g/L)	1000	0,0258189	252,19560006	0,900	0,139	0,9000	163,96
12600	5,983	1,9201	0,038	0,95	pp (g/L)	2630	0,0277479	299,56061996	0,950	0,143	0,9500	176,21
14400	3,244	2,4303	0,034	1,05	t (s)	1800	0,0268283	348,98601884	1,050	0,152	1,0500	170,37
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	0,9768						

**Formulário 101:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 100uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 194

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	-	-	-	0,60	-	-	0,0005000	2,400121005	0,600	0,114	0,6000	8,09
1800	3,346	2,3980	0,044	0,70	Q(L/s)	0,0727	0,0013304	8,242950087	0,700	0,122	0,7000	21,52
3600	2,183	2,9348	0,041	0,85	Te(uT)	10	0,0017631	15,306132022	0,850	0,135	0,8500	28,52
5400	1,937	3,1311	0,039	0,95	X%/100	0,006182	0,0021315	22,644876988	0,950	0,143	0,9500	34,48
7200	2,067	3,0213	0,035	1,05	A(uT.L/g)	191,24	0,0023291	29,837049112	1,050	0,152	1,0500	37,68
9000	2,379	2,8083	0,035	1,15	B (uT)	0,31	0,0024049	36,685805960	1,150	0,160	1,1500	38,90
10800	2,37	2,8136	0,034	1,25	pL (g/L)	1000	0,0024230	43,544317451	1,250	0,169	1,2500	39,19
12600	2,184	2,9341	0,034	1,30	pp (g/L)	2630	0,0026034	50,606394405	1,300	0,173	1,3000	42,11
14400	2,488	2,7466	0,055	1,40	t (s)	1800	0,0025385	57,337671491	1,400	0,182	1,4000	41,06
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	1,6325						

**Formulário 102:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 10uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 195

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	18,51	1,3841	0,046	0,40	Q(L/s)	0,0727	0,0030493	7,8832035	0,400	0,097	0,4000	49,33
3600	17,47	1,4041	0,036	0,75	Te(uT)	30	0,0023683	16,5156539	0,750	0,126	0,7500	38,31
5400	15,37	1,4507	0,034	0,80	X%/100	0,006182	0,0034184	26,6855810	0,800	0,131	0,8000	55,30
7200	10,87	1,5938	0,033	0,85	A(uT.L/g)	191,24	0,0046324	40,2887323	0,850	0,135	0,8500	74,93
9000	9,421	1,6614	0,032	0,95	B (uT)	0,31	0,0051718	55,0502256	0,950	0,143	0,9500	83,66
10800	8,587	1,7084	0,031	1,05	pL (g/L)	1000	0,0054921	70,4936809	1,050	0,152	1,0500	88,84
12600	9,225	1,6719	0,032	1,10	pp (g/L)	2630	0,0060873	85,4143632	1,100	0,156	1,1000	98,47
14400	7,374	1,7917	0,032	1,15	t (s)	1800	0,0066606	101,8733384	1,150	0,160	1,1500	107,74
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	1,2365						

**Formulário 103:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 30uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$



## ANEXO 196

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
1800	17,38	1,4060	0,076	0,85	Q(L/s)	0,0727	0,0057679	50,1997714	0,850	0,135	0,8500	93,30
3600	10,64	1,6035	0,044	0,95	Te(uT)	100	0,0098811	105,4856004	0,950	0,143	0,9500	159,84
5400	8,647	1,7048	0,038	1,05	X%/100	0,006182	0,0125950	162,3800514	1,050	0,152	1,0500	203,74
7200	6,268	1,8900	0,037	1,20	A(uT.L/g)	191,24	0,0132590	221,2942212	1,200	0,165	1,2000	214,48
9000	4,76	2,0835	0,035	1,30	B (uT)	0,31	0,0143791	281,5688077	1,300	0,173	1,3000	232,60
10800	3,4	2,3817	0,036	1,45	pL (g/L)	1000	0,0140724	343,1513855	1,450	0,186	1,4500	227,64
12600	1,833	3,2308	0,034	1,65	pp (g/L)	2630	0,0131506	406,4023948	1,650	0,203	1,6500	212,72
14400	1,719	3,3551	0,033	1,85	t (s)	1800	0,0125534	469,7855357	1,850	0,220	1,8500	203,06
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	0,9768						

**Formulário 104:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 100uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 197

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	-	-	-	0,90	-	-	0,0016000	15,3937445	0,900	0,139	0,9000	51,61
1800	3,581	2,3303	0,051	1,10	Q(L/s)	0,0873	0,0015815	22,128991426	1,100	0,156	1,1000	51,02
3600	5,821	1,9384	0,065	1,00	Te(uT)	10	0,0022548	26,349982855	1,000	0,148	1,0000	72,74
5400	3,683	2,3034	0,232	1,10	X%/100	0,003100	0,0023548	32,964546435	1,100	0,156	1,1000	75,96
7200	5,034	2,0410	0,043	1,30	A(uT.L/g)	191,24	0,0019577	38,040608639	1,300	0,173	1,3000	63,15
9000	3,364	2,3925	0,141	1,20	B (uT)	0,31	0,0027161	45,035154268	1,200	0,165	1,2000	87,62
10800	2,961	2,5305	0,047	1,30	pL (g/L)	1000	0,0027017	52,521395909	1,300	0,173	1,3000	87,15
12600	2,506	2,7369	0,038	1,40	pp (g/L)	2630	0,0026818	60,581324791	1,400	0,182	1,4000	86,51
14400	2,298	2,8579	0,039	1,50	t (s)	1800	0,0026674	68,911279986	1,500	0,190	1,5000	86,05
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	1,6325						

**Formulário 105:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 10uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 198

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	-	-	-	1,05	-	-	0,0040000	51,2944929	1,050	0,152	1,0500	129,03
1800	15	1,4599	0,053	1,00	Q(L/s)	0,0873	0,0054518	63,836577003	1,000	0,148	1,0000	175,87
3600	8,746	1,6989	0,036	1,05	Te(uT)	30	0,0064024	82,2242043	1,050	0,152	1,0500	206,53
5400	5,345	1,9974	0,037	1,10	X%/100	0,003100	0,0074146	104,124557716	1,100	0,156	1,1000	239,18
7200	4,436	2,1396	0,034	1,15	A(uT.L/g)	191,24	0,0082972	127,034307990	1,150	0,160	1,1500	267,65
9000	3,977	2,2328	0,033	1,25	B (uT)	0,31	0,0083421	150,470171123	1,250	0,169	1,2500	269,10
10800	4,762	2,0832	0,034	1,35	pL (g/L)	1000	0,0082188	173,013321913	1,350	0,177	1,3500	265,12
12600	3,316	2,4073	0,033	1,45	pp (g/L)	2630	0,0081184	197,230834751	1,450	0,186	1,4500	261,89
14400	3,098	2,4798	0,032	1,60	t (s)	1800	0,0076009	221,713445666	1,600	0,199	1,6000	245,19
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	1,2365						

**Formulário 106:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 30uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 199

t(s)	Ts(uT)	fs (g/g)	Tf (uT)	hm	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	-	-	-	1,15	-	-	0,0100000	153,267178010	1,150	0,160	1,1500	322,58
1800	17,38	1,4060	0,076	0,85	Q(L/s)	0,0873	0,0242545	213,548334050	0,850	0,135	0,8500	782,40
3600	10,64	1,6035	0,044	0,95	Te(uT)	100	0,0259594	279,936956725	0,950	0,143	0,9500	837,40
5400	8,647	1,7048	0,038	1,05	X%/100	0,003100	0,0267732	348,257253517	1,050	0,152	1,0500	863,65
7200	6,268	1,8900	0,037	1,20	A(uT.L/g)	191,24	0,0249218	419,002879662	1,200	0,165	1,2000	803,93
9000	4,76	2,0835	0,035	1,30	B (uT)	0,31	0,0249284	491,382128634	1,300	0,173	1,3000	804,14
10800	3,4	2,3817	0,036	1,45	pL (g/L)	1000	0,0230537	565,332046648	1,450	0,186	1,4500	743,67
12600	1,833	3,2308	0,034	1,65	pp (g/L)	2630	0,0206537	641,285459521	1,650	0,203	1,6500	666,25
14400	1,719	3,3551	0,033	1,85	t (s)	1800	0,0190916	717,397539306	1,850	0,220	1,8500	615,86
					d (m)	0,0627						
					fe (g/g)	0,9768						

**Formulário 107:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 100uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

## ANEXO 200

t(s)	Is(uI)	Te (uI)	fe (g/g)	fs (g/g)	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	1,070	3,0	2,5156	4,6864			1,610000	1,7559075	0,000	0,063	0,0000	-
1800	0,939	3,0	2,5156	5,2615			1,610000	3,6499441	0,000	0,063	0,0000	-
3600	0,926	3,0	2,5156	5,3314			1,610000	5,5578811	0,000	0,063	0,0000	-
5400	1,077	3,0	2,5156	4,6610			1,610000	7,3065066	0,000	0,063	0,0000	-
7200	1,360	3,0	2,5156	3,9029			1,610000	8,7685602	0,000	0,063	0,0000	-
9000	2,179	5,0	2,0461	2,9377			1,610000	11,0175040	0,000	0,063	0,0000	-
10800	2,427	5,0	2,0461	2,7804			1,610000	13,0497117	0,000	0,063	0,0000	-
12600	2,630	5,0	2,0461	2,6738			1,610000	14,9082784	0,000	0,063	0,0000	-
14400	2,247	5,0	2,0461	2,8911			1,610000	17,0972542	0,000	0,063	0,0000	-
16200	2,743	7,0	1,8220	2,6211			1,610000	20,2810991	0,000	0,063	0,0000	-
18000	2,762	7,0	1,8220	2,6127			0,007605	23,4490036	0,450	0,101	0,4500	48,30
19800	2,666	7,0	1,8220	2,6565			0,008653	26,6977074	0,450	0,101	0,4500	54,95
21600	2,647	7,0	1,8220	2,6656			0,009705	29,9624802	0,450	0,101	0,4500	61,63
23400	4,056	10,0	1,6325	2,2155			0,011030	34,0819741	0,450	0,101	0,4500	70,05
25200	4,300	10,0	1,6325	2,1654			0,012293	38,0147511	0,450	0,101	0,4500	78,07
27000	3,750	10,0	1,6325	2,2864			0,012831	42,3718769	0,470	0,103	0,4700	81,48
28800	3,148	10,0	1,6325	2,4624			0,011552	47,2094411	0,540	0,109	0,5400	73,36
30600	3,551	30,0	1,2365	2,3385			0,013782	63,1667898	0,580	0,112	0,5800	87,52
32400	3,652	30,0	1,2365	2,3114			0,014691	79,0443301	0,640	0,117	0,6400	93,29
34200	3,527	30,0	1,2365	2,3451			0,015205	95,0207159	0,700	0,122	0,7000	96,56
36000	2,535	30,0	1,2365	2,7216			0,015199	111,8125499	0,770	0,128	0,7700	96,52
37800	2,739	50,0	1,1111	2,6229			0,015497	138,5647256	0,860	0,136	0,8600	98,41
39600	2,487	50,0	1,1111	2,7471			0,01704	165,5308239	0,900	0,139	0,9000	108,21
41400	2,275	50,0	1,1111	2,8727			0,017287	192,6807488	0,970	0,145	0,9700	109,78
43200	2,166	50,0	1,1111	2,9469			0,017957	219,9267116	1,020	0,149	1,0200	114,04
45000	1,898	70,0	1,0416	3,1671			0,018815	256,9296687	1,080	0,155	1,0800	119,49
46800	1,650	70,0	1,0416	3,4395	Q(L/s)	0,0582	0,019084	294,1628630	1,150	0,160	1,1500	121,19
48600	1,430	70,0	1,0416	3,7710	Xm%/100	0,015747	0,017436	331,6071413	1,280	0,171	1,2800	110,72
50400	2,808	70,0	1,0416	2,5927	A(uT.L/g)	191,24	0,014497	367,8175046	1,480	0,188	1,4800	92,06
52200	2,424	100,0	0,9768	2,7821	B (uT)	0,31	0,014268	417,9268615	1,600	0,199	1,6000	90,61
54000	2,432	100,0	0,9768	2,7776	pL (g/L)	1000	0,014373	468,0293142	1,700	0,207	1,7000	91,28
55800	1,932	100,0	0,9768	3,1356	pp (g/L)	2630	0,014472	518,5743029	1,800	0,216	1,8000	91,90
57600	0,781	100,0	0,9768	6,3632	t (s)	1800	0,014583	570,2632241	1,900	0,224	1,9000	92,61
					d (m)	0,0627						

**Formulário 108:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 3 a 100uT e taxa de  $160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 201

t(s)	Ts(uT)	Te (uT)	fe (g/g)	fs (g/g)	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	0,632	3,0	2,5156	8,3790			1,610000	2,7843294	0,000	0,063	0,0000	-
1800	1,602	3,0	2,5156	3,5030			1,610000	4,3178805	0,000	0,063	0,0000	-
3600	1,312	3,0	2,5156	4,0032			1,610000	6,2036353	0,000	0,063	0,0000	-
5400	1,416	3,0	2,5156	3,7962			1,610000	7,9611981	0,000	0,063	0,0000	-
7200	1,859	3,0	2,5156	3,2047			1,610000	9,1949116	0,000	0,063	0,0000	-
9000	3,047	5,0	2,0461	2,4982			0,000866	11,0824155	1,050	0,152	1,0500	14,01
10800	3,547	5,0	2,0461	2,3396			0,001174	12,4665213	0,950	0,143	0,9500	18,99
12600	3,552	5,0	2,0461	2,3382			0,001595	13,8456757	0,850	0,135	0,8500	25,80
14400	3,689	5,0	2,0461	2,3018			0,002164	15,0897471	0,750	0,126	0,7500	35,01
16200	4,374	7,0	1,8220	2,1512			0,002237	17,4483240	0,800	0,131	0,8000	36,18
18000	3,428	7,0	1,8220	2,3734			0,002656	20,7252742	0,800	0,131	0,8000	42,97
19800	3,400	7,0	1,8220	2,3817			0,003079	24,0301902	0,800	0,131	0,8000	49,80
21600	3,568	7,0	1,8220	2,3338			0,002822	27,1680545	0,900	0,139	0,9000	45,64
23400	3,835	10,0	1,6325	2,2657			0,003060	32,5277544	0,950	0,143	0,9500	49,50
25200	3,599	10,0	1,6325	2,3254			0,003385	38,1188223	0,980	0,146	0,9800	54,75
27000	3,729	10,0	1,6325	2,2917			0,003726	43,5820460	1,000	0,148	1,0000	60,27
28800	1,930	10,0	1,6325	3,1374			0,003635	50,9287471	1,100	0,156	1,1000	58,80
30600	2,038	30,0	1,2365	3,0445			0,004225	72,4477711	1,220	0,166	1,2200	68,35
32400	2,612	30,0	1,2365	2,6826			0,004795	93,3412071	1,300	0,173	1,3000	77,57
34200	2,894	30,0	1,2365	2,5570			0,004146	113,9391066	1,550	0,194	1,5500	67,06
36000	3,459	30,0	1,2365	2,3644			0,004601	133,9634342	1,600	0,199	1,6000	74,43
37800	2,108	50,0	1,1111	2,9896			0,005191	168,0618816	1,700	0,207	1,7000	83,97
39600	1,714	50,0	1,1111	3,3609			0,005214	202,6095444	1,900	0,224	1,8995	84,34
41400	1,370	50,0	1,1111	3,8831			0,005771	237,5695336	1,970	0,230	1,9700	93,35
43200	1,229	50,0	1,1111	4,1994			0,006007	272,7052335	2,100	0,241	2,1000	97,16
45000	1,140	70,0	1,0416	4,4503			0,006893	319,8408281	2,130	0,244	2,1300	111,50
46800	1,196	70,0	1,0416	4,2869	Q(L/s)	0,0727	0,007064	366,9049676	2,300	0,258	2,3000	114,27
48600	1,291	70,0	1,0416	4,0499	Xm%/100	0,006182	0,009648	413,8495538	2,020	0,234	2,0200	156,06
50400	0,809	70,0	1,0416	6,1183	A(uT.L/g)	191,24	0,008874	461,4235137	2,300	0,258	2,3000	143,54
52200	0,863	100,0	0,9768	5,7148	B (uT)	0,31	0,009801	525,8786156	2,350	0,262	2,3500	158,53
54000	2,460	100,0	0,9768	2,7619	pL (g/L)	1000	0,010958	588,4335045	2,350	0,262	2,3500	177,26
55800	1,615	100,0	0,9768	3,4854	pp (g/L)	2630	0,012132	651,9389796	2,350	0,262	2,3500	196,25
57600	1,612	100,0	0,9768	3,4895	t (s)	1800	0,013304	715,4480104	2,350	0,262	2,3500	215,21
					d (m)	0,0627						

**Formulário 109:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 3 a 100uT e taxa de  $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$





ANEXO 202

t(s)	Ts(uT)	Te (uT)	fe (g/g)	fs (g/g)	valores constantes		X	qar	hm(adote)	b (m)	hm (calc)	fer(%)
0	0,742	3,0	2,5156	6,7565			1,610000	3,1620644	0,000	0,063	0,0000	-
1800	1,036	3,0	2,5156	4,8166			1,610000	5,8491922	0,000	0,063	0,0000	-
3600	1,392	3,0	2,5156	3,8407			1,610000	7,9950051	0,000	0,063	0,0000	-
5400	1,666	3,0	2,5156	3,4192			1,610000	9,7456841	0,000	0,063	0,0000	-
7200	1,925	3,0	2,5156	3,1420			1,610000	11,1366192	0,000	0,063	0,0000	-
9000	2,843	5,0	2,0461	2,5779			1,610000	13,6560432	0,000	0,063	0,0000	-
10800	2,826	5,0	2,0461	2,5850			1,610000	16,1967196	0,000	0,063	0,0000	-
12600	2,944	5,0	2,0461	2,5371			1,610000	18,5904609	0,000	0,063	0,0000	-
14400	3,070	5,0	2,0461	2,4898			1,610000	20,8287565	0,000	0,063	0,0000	-
16200	4,253	7,0	1,8220	2,1746			1,610000	23,7989365	0,000	0,063	0,0000	-
18000	4,302	7,0	1,8220	2,1650			1,610000	26,7131562	0,000	0,063	0,0000	-
19800	4,250	7,0	1,8220	2,1752			1,610000	29,6867668	0,000	0,063	0,0000	-
21600	5,866	7,0	1,8220	1,9332			1,610000	30,8769313	0,000	0,063	0,0000	-
23400	8,148	10,0	1,6325	1,7362			0,006784	32,6935157	0,600	0,114	0,6000	218,85
25200	5,489	10,0	1,6325	1,9786			0,005587	37,2721075	0,730	0,125	0,7300	180,23
27000	5,210	10,0	1,6325	2,0157			0,004846	42,1546764	0,850	0,135	0,8500	156,33
28800	4,258	10,0	1,6325	2,1737			0,004989	48,1018035	0,900	0,139	0,9000	160,94
30600	5,779	30,0	1,2365	1,9432			0,005617	69,5331115	1,030	0,150	1,0300	181,20
32400	3,035	30,0	1,2365	2,5026			0,006154	94,0930975	1,150	0,160	1,1500	198,51
34200	2,849	30,0	1,2365	2,5754			0,007035	118,8836645	1,210	0,166	1,2100	226,93
36000	2,346	30,0	1,2365	2,8281			0,005248	144,3158630	1,550	0,194	1,5500	169,28
37800	1,600	50,0	1,1111	3,5058			0,005126	185,9628496	1,820	0,217	1,8200	165,37
39600	1,480	50,0	1,1111	3,6857			0,005020	227,7825236	2,100	0,241	2,1000	161,94
41400	1,241	50,0	1,1111	4,1690			0,005204	269,9561991	2,300	0,258	2,3000	167,85
43200	1,407	50,0	1,1111	3,8127			0,005794	281,8825071	2,200	0,250	2,2000	186,92
45000	1,342	70,0	1,0416	3,9395			0,006513	338,1786725	2,300	0,258	2,3000	210,11
46800	1,621	70,0	1,0416	3,4774	Q(L/s)	0,0873	0,008014	359,0696114	2,080	0,239	2,0800	258,51
48600	1,293	70,0	1,0416	4,0454	Xm%/100	0,003100	0,007994	415,4388624	2,300	0,258	2,3000	257,87
50400	1,522	70,0	1,0416	3,6190	A(uT.L/g)	191,24	0,010931	426,4715878	1,900	0,224	1,9000	352,60
52200	1,105	100,0	0,9768	4,5635	B (uT)	0,31	0,009678	503,4867364	2,300	0,258	2,3000	312,19
54000	1,293	100,0	0,9768	4,0454	pL (g/L)	1000	0,010806	580,2154546	2,350	0,262	2,3500	348,60
55800	1,100	100,0	0,9768	4,5804	pp (g/L)	2630	0,011872	657,2383595	2,400	0,267	2,4000	382,97
57600	1,151	100,0	0,9768	4,4166	t (s)	1800	0,012874	734,1824972	2,450	0,271	2,4500	415,30
					d (m)	0,0627						

**Formulário 110:** Cálculo teórico comparativo da fração em massa de argila na manta com fator de ajuste - Turbidez 3 a 100uT e taxa de  $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

ANEXO 203

	UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "Júlio de Mesquita Filho" FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA								
<b>ENSAIO DE GRANULOMETRIA CONJUNTA</b>									
<b>Classificação</b>									
Amostra: Argila cerâmica	Obs: Argila utilizada no preparo de água sintética, com finalidade de conferir turbidez à água.								
Data: 24/10/2005									
Operador Mário									
<b>SEDIMENTAÇÃO</b>									
<b>Umidade %</b>	<b>Dados Gerais</b>								
Cápsula      242	Solo Umido (g):                      34,39								
(S + A + T) (g)    45,90	Solo Seco (g):                        33,21								
(S + T) (g)        45,14	ps (g/cm <sup>3</sup> ):                          2,63								
(S) (g)             21,38	Solo Seco Retido - # 200 (g):    2,50								
(A) (g)             0,76	Densímetro:                        1								
(T) (g)             23,76	Defloculante:                      Hexametáfosfato de Sódio								
w (%)                3,6	Am Total (Pen.Grosso)            33,21								
<b>T</b>									
(°C)	Tempo (min)	Leitura	Correção	Leitura Corrig.	Viscosid. $\mu \times 10^4$	pw (g/cm <sup>3</sup> )	Alt. Queda (cm)	Diâmetro $\phi$ (mm)	Porc. %
				0,00				0,075	92,5
31,5	1	18,5	-0,8	17,70	7,82	0,9951	14,7	0,0464	85,7
31,5	2	17,8	-0,8	17,00	7,82	0,9951	14,8	0,0329	82,3
31,5	4	17,3	-0,8	16,50	7,82	0,9951	14,9	0,0233	79,9
31,5	8	16,2	-0,8	15,40	7,82	0,9951	15,1	0,0166	74,6
31,5	15	15,0	-0,8	14,20	7,82	0,9951	15,4	0,0123	68,8
31,0	30	14,4	-0,9	13,50	7,98	0,9954	15,5	0,0088	65,4
30,5	60	13,7	-1,0	12,70	7,98	0,9954	15,7	0,0063	61,5
30,0	120	12,9	-1,2	11,70	8,16	0,9957	15,9	0,0045	56,7
29,0	240	12,1	-1,4	10,70	8,34	0,9960	16,1	0,0032	51,9
30,0	480	11,1	-1,2	9,90	8,16	0,9957	16,2	0,0023	48,0
<b>PENEIRAMENTO</b>									
<b>Peneiramento Grosso</b>				<b>Peneiramento Fino</b>					
Peneira Nº	Diâmetro $\phi$ (mm)	Massa Retida	Porc. % < $\phi$	Peneira Nº	Diâmetro $\phi$ (mm)	Massa Retida	Porc. % < $\phi$		
	50	0,00	100,0	10	2,0	0,00	100,0		
	38	0,00	100,0	20	0,800	0,00	100,0		
	25	0,00	100,0	40	0,420	0,00	100,0		
	19	0,00	100,0	60	0,250	0,10	99,7		
	13,5	0,00	100,0	100	0,150	0,93	97,2		
	9,5	0,00	100,0	140	0,104	1,47	95,6		
4	4,8	0,00	100,0	200	0,075	2,50	92,5		
10	2,0	0,00	100,0	Prato	-				
<b>Fração</b>			<b>Intervalo de Diâmetros - mm</b>			<b>Peneiras</b>			
Pedregulho	4,8 < $\phi$ < 76	Grosso : 19 < $\phi$ < 76							
		Fino: 4,8 < $\phi$ < 19							
Areia	0,05 < $\phi$ < 4,8	Grossa: 2,0 < $\phi$ < 4,8		#10	#4				
		Média: 0,42 < $\phi$ < 2,0		#40	#10				
		Fina: 0,05 < $\phi$ < 0,42		#270	#40				
Silte	0,005 < $\phi$ < 0,05	-		-					
Argila	$\phi$ < 0,005	-		-					
<b>Porcentagem de Ocorrência</b>									
Fração	Subdivisão	( % )							
Pedregulho	-	0,0							
Areia	Grossa	0,0							
	Média	0,0							
	Fina	14,0							
Silte	-	28,0							
Argila	-	58,0							

**Formulário 111:** Caracterização da argila utilizada para preparo da água sintética

## ANEXO 204

TIPO DE ENSAIO: JAR TEST				Data: 28/03/2006				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Ensaio realizado com água bruta natural, retirada do Lago do Ipê, Ilha Solteira-SP. A filtração foi feita em filtros descendentes de areia com taxa de filtração em torno de 200m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia. As cores verdadeiras foram feitas apenas para a dosagem aplicada ao SFML.	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 18,6uT					
				pH: 7,8					
				Temperatura: 28,5°C					
				Cor ap.: 135uC Cor verd.: 83uC					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm						
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm						
Para vazão de 0,00278 m <sup>3</sup> /s no SFML									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Cubas	Turbidez							
		1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		
5		17,20	16,50	17,70	17,30	12,40	11,20		
10		16,60	16,50	16,70	16,40	11,60	9,94		
14:30		16,60	16,20	16,30	15,80	9,48	8,66		
Cor									
aparente		105	101	99	70	53	47		
verdadeira				41					
Filtração									
Turbidez		5,53	5,27	3,04	3,03	2,48	2,43		
Cor ap.		53	44	30	27	26	26		
Cor verd.				10					
Dosagem (mg/l)		2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		

**Formulário 112:** Jar-test para o SFML com água do Lago do Ipê e taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 205

TIPO DE ENSAIO: JAR TEST				Data: 28/03/2006				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Ensaio realizado com água bruta natural, retirada do Lago do Ipê, Ilha Solteira-SP. A filtração foi feita em filtros descendentes de areia com taxa de filtração em torno de 200m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia. As cores verdadeiras foram feitas apenas para a dosagem aplicada ao SFML.	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 18,6uT					
				pH: 7,8					
				Temperatura: 28,5°C					
				Cor ap.: 135uC Cor verd.: 83uC					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm						
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm						
Para vazão de 0,00370 m <sup>3</sup> /s no SFML									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Turbidez								
	Cubas	1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		17,40	16,90	15,10	12,30	10,20	10,00		
10:50		16,70	15,90	15,00	6,40	5,60	4,12		
Cor									
aparente		111	83	41	32	30	26		
verdadeira				26					
Filtração									
Turbidez		6,80	6,70	6,00	2,30	2,00	1,40		
Cor ap.		26	22	22	17	17	20		
Cor verd.				26					
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 113:** Jar-test para o SFML com água do Lago do Ipê e taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 206

TIPO DE ENSAIO: JAR TEST				Data: 28/03/2006				Observações	
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira				Ensaio realizado com água bruta natural, retirada do Lago do Ipê, Ilha Solteira-SP. A filtração foi feita em filtros descendentes de areia com taxa de filtração em torno de 200m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia. As cores verdadeiras foram feitas apenas para a dosagem aplicada ao SFML.	
Solução 0,50% em massa				Turbidez: 18,6uT					
				pH: 7,8					
				Temperatura: 28,5°C					
				Cor ap.: 135uC Cor verd.: 83uC					
	Gradiente	tempo	rotação						
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	1s	300 rpm						
floculação	104s <sup>-1</sup>	4:30 min.	75 rpm						
Para vazão de 0,00463 m <sup>3</sup> /s no SFML									
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Decantação									
Tempo (min.)	Cubas	Turbidez							
		1	2	3	4	5	6		
	dose (ml)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		
5		17,30	17,40	17,00	14,20	13,70	12,90		
08:30		17,10	16,10	16,50	10,50	9,83	9,81		
Cor									
aparente		110,0	99,0	95,0	81,0	73,0	73,0		
verdadeira					27,0				
Filtração									
Turbidez		3,01	1,12	5,04	0,48	0,38	0,36		
Cor ap.		56	23	40	10	6	8		
Cor verd.					9				
Dosagem (mg/l)		7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0		

**Formulário 114:** Jar-test para o SFML com água do Lago do Ipê e taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

## ANEXO 207

TIPO DE ENSAIO: SFML				Data: 27/03/2006		Observações			
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira		Troca de 1 cm da camada superior do filtro por ainda não haver sistema de lavagem dos filtros e haver necessidade de se testar a filtração. Com isso o filtro iniciou com uma taxa de 240m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia e 0,60m de carga e terminou o ensaio com uma taxa de 128m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia e carga de 0,75m. Teve-se falha na dosagem de coagulante com 2,5h de ensaio e revolvimento da camada superior do filtro com 3h de ensaio. No final do ensaio a cor da água decantada era 82 e da filtrada 2uC. O aumento gradativo da turbidez das torneiras mostra um acúmulo de material particulado no floclador.			
Solução 0,50% em massa				Início: 10h					
	Gradiente	tempo	rotação	término: 18h					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	8s	300 rpm	pH: 7,7					
floculação	63s <sup>-1</sup>	7:45 min.	55 rpm	Temperatura: 27,2°C					
Para vazão de 0,0028 m <sup>3</sup> /s no SFML									
Dosagem variável									
Tabela para taxa de filtração de 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Tempo (h)	Turbidez bruta	Dosagem mg/L	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)	Carga no filtro (m)			
			Decantador	Filtro					
0	15,0	8,1	12,3	0,23	-	0,60			
0,5	14,7	8,1	10,7	0,53	-	0,70			
1	15,4	8,2	10,5	0,37	-	0,75			
1,5	15,9	8,2	10,6	0,48	-	0,75			
2	20,7	8,8	12,1	0,52	-	0,75			
2,5	22,4	9,1	15,6	2,75	-	0,75			
3	22,0	9,0	10,1	0,42	-	0,75			
3,5	13,1	7,8	12,1	0,33	-	0,75			
4	13,5	7,9	10,7	0,30	-	0,75			
4,5	13,5	7,9	9,3	0,28	-	0,75			
5	13,7	8,0	9,4	0,19	-	0,75			
5,5	13,9	8,0	9,3	0,20	-	0,75			
6	15,2	8,2	9,2	0,28	-	0,75			
6,5	16,4	8,3	9,9	0,30	-	0,75			
7	15,6	8,2	10,7	0,41	-	0,75			
7,5	15,7	8,2	10,3	0,43	-	0,75			
8	15,6	8,2	10,4	0,44	-	0,75			

Formulário 115: Ensaio no SFML junto ao Lago do Ipê - taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



## ANEXO 208

TIPO DE ENSAIO: SFML				Data:26/03/2006		Observações			
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira		<p>Ensaio realizado com descarga parcial da SFML para limpeza das placas paralelas, no início. Com 0,5h de ensaio choveu por 20 min. Os filtros passaram a não ter carga suficiente para filtrar toda a água do SFML com 0,5h de ensaio. Com 1,5h de ensaio a taxa de filtração estava em 290 e no final do ensaio estava em 133m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia. Teve-se uma falha na dosagem de coagulante com 2h de ensaio. No final do ensaio a cor da água decantada era 62 e da filtrada 21uC. Estima-se a formação de uma manta dispersa, de 1,20m, no início do ensaio. O aumento gradativo da turbidez das torneiras mostra um acúmulo de material particulado no floculador.</p>			
Solução 0,50% em massa				Início: 9h					
	Gradiente	tempo	rotação	término:17h					
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	pH: 7,9					
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm	Temperatura:25,4°C					
Para vazão de 0,0037 m <sup>3</sup> /s no SFML									
Dosagem variável									
Tabela para taxa de filtração de 320 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia									
Tempo (h)	Turbidez bruta	Dosagem mg/L	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)	Carga no filtro (m)			
			Decantador	Filtro					
0	16,0	11,5	14,4	0,23	1,20	0,70			
0,5	15,9	11,5	10,3	0,53	-	0,75			
1	18,9	12,2	12,4	0,29	-	0,75			
1,5	18,9	12,2	10,0	0,43	-	0,75			
2	15,4	11,4	13,3	0,40	-	0,75			
2,5	13,8	11,0	10,3	0,43	-	0,75			
3	13,6	10,9	10,4	1,64	-	0,75			
3,5	13,6	10,9	10,8	1,33	-	0,75			
4	13,6	10,9	11,1	1,65	-	0,75			
4,5	13,6	10,9	11,9	1,71	-	0,75			
5	16,2	11,6	12,3	1,66	-	0,75			
5,5	20,5	12,6	16,7	2,40	-	0,75			
6	20,5	12,6	13,9	2,56	-	0,75			
6,5	18,4	12,1	10,6	3,76	-	0,75			
7	14,1	11,0	8,3	4,02	-	0,75			
7,5	15,7	14,3	8,8	4,31	-	0,75			
8	18,2	14,0	8,5	4,70	-	0,75			
Turbidez (uT)									
Torneira	0h	2h	4h	7h					
1	46,3	16,5	16,2	17,1					
2	50,8	16,4	15,4	17,7					
3	46,3	15,7	14,7	16,6					
4	47,8	15,9	13,9	15,8					
5	13,1	15,8	13,7	16,1					
6	42,4	16,3	13,4	15,3					

Formulário 116: Ensaio no SFML junto ao Lago do Ipê - taxa de 320m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

ANEXO 209

TIPO DE ENSAIO: SFML				Data:25/03/2006		Observações		
COAGULANTE: Polieletrólito C				Local: Ilha Solteira		<p>Ensaio realizado com taxa de filtração muito acima do máximo recomendado visando observar a coagulação da água após passagem pelo SFML.</p> <p>Ensaio realizado com taxa de filtração de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia e finalizado com taxa de filtração de 327m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia.</p> <p>O filtro extravasou com 5,5h de ensaio.</p> <p>O aumento gradativo da turbidez das torneiras mostra um acúmulo de material particulado no floculador (manta). Teve-se uma chuva de 40min. no início do ensaio.</p> <p>No final do ensaio a cor da água decantada era 91e da filtrada 3uC.</p>		
Solução 0,50% em massa				Início: 9h				
	Gradiente	tempo	rotação	término:17h				
Mistura rápida	600 s <sup>-1</sup>	6s	300 rpm	pH: 7,9				
floculação	83s <sup>-1</sup>	5:45 min.	65 rpm	Temperatura:25,4°C				
Para vazão de 0,0046 m <sup>3</sup> /s no SFML								
Dosagem variável								
Tabela para taxa de filtração de 400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia								
Tempo (h)	Turbidez bruta	Dosagem mg/L	Turbidez, saída do:		Altura da manta (m)			Carga no filtro (m)
			Decantador	Filtro				
0	17,6	12,5	13,8	2,50	-	0,25		
0,5	22,5	13,4	14,8	2,60	-	0,35		
1	27,3	12,8	14,3	2,50	-	0,40		
1,5	16,4	14,2	14,7	1,80	-	0,45		
2	21,6	13,6	15,0	2,00	-	0,50		
2,5	16,9	14,1	14,7	2,10	-	0,55		
3	13,6	14,6	13,7	1,60	-	0,60		
3,5	19,7	13,8	15,1	0,74	1,00	0,65		
4	22,4	13,5	16,7	0,44	-	0,70		
4,5	19,1	13,9	15,9	0,48	1,20	0,75		
5	17,0	14,1	13,1	0,23	-	0,75		
5,5	19,7	13,8	8,0	0,44	-	0,75		
6	18,3	14,0	16,3	0,48	-	0,75		
6,5	20,8	13,7	16,1	0,37	-	0,75		
7	19,2	13,9	16,2	0,31	-	0,75		
7,5	18,8	13,9	16,3	0,23	-	0,75		
8	18,3	14,0	16,2	0,28	-	0,75		

Turbidez (uT)		
Torneira	3,5h	4,5h
1	24,4	33,5
2	37,1	42,0
3	33,6	38,4
4	35,4	37,2
5	24,0	32,6
6	26,0	26,8

Formulário 117: Ensaio no SFML junto ao Lago do Ipê - taxa de 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia



## AP01 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MEIO AMBIENTE

Para garantia da sustentabilidade dos recursos naturais – inclusive a água - foi criada a Agenda 21. Maranhão e Assae (2003) mostraram em seu discurso o quadro 01, no qual comparam o programa da Agenda 21 com seus objetivos gerais.

**Quadro 01:** Agenda 21 - Objetivos gerais e diretrizes

Programa da Agenda 21 (Art. 18)	Objetivos Gerais e Diretrizes
A. Desenvolvimento e gerenciamento integrado dos recursos hídricos	Satisfazer as demandas hídricas, em contexto de desenvolvimento sustentável. Promover a gestão integrada dos recursos hídricos como parte integrante dos ecossistemas, bem social e econômico, cuja quantidade e qualidade condicionam a sua utilização.
B. Avaliação dos recursos hídricos	Avaliar e prognosticar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos; estimar o volume desses recursos; estudar alternativas de abastecimento; determinar as condições de qualidade; prever conflitos eventuais; e proporcionar base científica de dados para sua utilização racional.
C. Proteção dos recursos hídricos, da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos	Manter a integridade dos ecossistemas e protegê-los da degradação. Proteger a saúde pública, assegurar água potável livre de elementos patogênicos e combater os vetores de enfermidades no meio aquático. Desenvolver recursos humanos para controle da qualidade das águas.
D. Abastecimento de água potável e saneamento ambiental	Proteção do meio ambiente e da saúde mediante a gestão integrada dos recursos de água e dos despejos líquidos e sólidos.

**Quadro 01:** continuação

E. Os recursos hídricos e o desenvolvimento ambiental	Gestão ambientalmente racional dos recursos hídricos destinados a utilização urbana, com identificação e aplicação de estratégias e medidas que permitam o abastecimento de água, a um preço acessível, para as necessidades atuais e futuras, assim como reverter as tendências atuais de degradação e esgotamento desses recursos.
F. Os recursos hídricos para a produção de alimentos e para o desenvolvimento rural sustentável	A água deve ser considerada um recurso finito e com valor econômico. As comunidades locais devem participar da gestão da água, em especial as mulheres, em razão de suas atividades cotidianas. A gestão da água deve considerar políticas de: i) saúde humana; ii) produção, conservação e distribuição de alimentos; iii) planos de atenuação dos desastres naturais; iv) proteção do meio ambiente e conservação dos recursos naturais.
G. Repercussões das mudanças climáticas nos recursos hídricos	Aprofundamento das informações disponíveis.

Fonte: Aspectos Institucionais para o Desenvolvimento de Recursos Hídricos (1996) – Anais do Encontro Nacional: Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável. Agenda 21 – Capítulo 18

Além dos aspectos tratados no quadro 01 existem aqueles de cunho mais contínuo, baseados numa reeducação cultural quanto ao uso de todos os recursos naturais, a Educação para o Desenvolvimento Sustentável. Assim, chegar-se-ia a sustentabilidade de recursos através de um realinhamento das formas de extração, manufatura e uso direto ou indireto desses recursos (Sato, 2005).

Di Bernardo e Dantas (2005) dedicam uma discussão importante no contexto de sustentabilidade ao deixarem claras as necessidades e limitações da aplicação das várias tecnologias de tratamento de água dependendo de seu local de aplicação sendo destaque a necessidade da manutenção da bacia hidrográfica para a manutenção da qualidade da água destinada ao consumo humano; qualidade essa já há muito discutida por Batalha (1977), o qual vincula a água para consumo humano a um produto.

Uma proposta marcante de Fernando Almeida no Congresso Ibero Americano para o Desenvolvimento Sustentável é que a obtenção do sucesso nesse processo de desenvolvimento está inserida dentro do contexto de desenvolvimento de tecnologias sociais (Almeida, 2005a). Da mesma forma, Pacheco (2004) ao comentar o III Fórum Social Mundial deixa claro o caráter democrático e participativo do evento que trata a integração e a sustentabilidade como objetos principais para o desenvolvimento.

E assim, a difusão de pesquisas relacionadas à cadeia produtiva, à geração e ao reaproveitamento de resíduos, da água potável e da energia, obedecendo a discussões multidisciplinares para uma produção mais limpa, com ética ambiental, torna-se muito importante vistas às observações atuais (Pacheco, 2004). Magalhães (2005) e Almeida (2005b) demonstraram que se podem utilizar Mecanismos de Desenvolvimento Limpo para o desenvolvimento de tais projetos uma vez esses tenham importância e tamanho viáveis.

Exemplo da necessidade de mudança é a condição insustentável sofrida pelos países do Cone Sul, uma vez terem sua matriz exportadora baseada na exploração de recursos naturais e energia causando problemas na regulação de suas economias. Esse fato levou à formação do Programa Cone Sul Sustentável para análise do processo produtivo e seus reflexos na economia, sociedade e meio ambiente (Schlesinger, 2004).

## AP02 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE AUTOMAÇÃO

Desde seu surgimento na década de sessenta o Controlador Lógico Programável (CLP) tem revolucionado os sistemas de comandos e controles industriais, antes regidos por relés eletromagnéticos especialmente projetados (Michel, 1990).

Natale (2000) comenta as dificuldades de modificação e manutenção dos sistemas automatizados por relés, os quais implicavam num rearranjo de montagem, o que era “dispendioso, demorado e cansativo” e, para certos componentes, a substituição era impossível, em função da evolução dos componentes. Os CLPs vieram, antes de tudo, trazer um avanço tecnológico dos componentes, de forma que uma necessidade de modificação do sistema implicasse em uma simples alteração do programa, tornando a operação fácil e rápida.

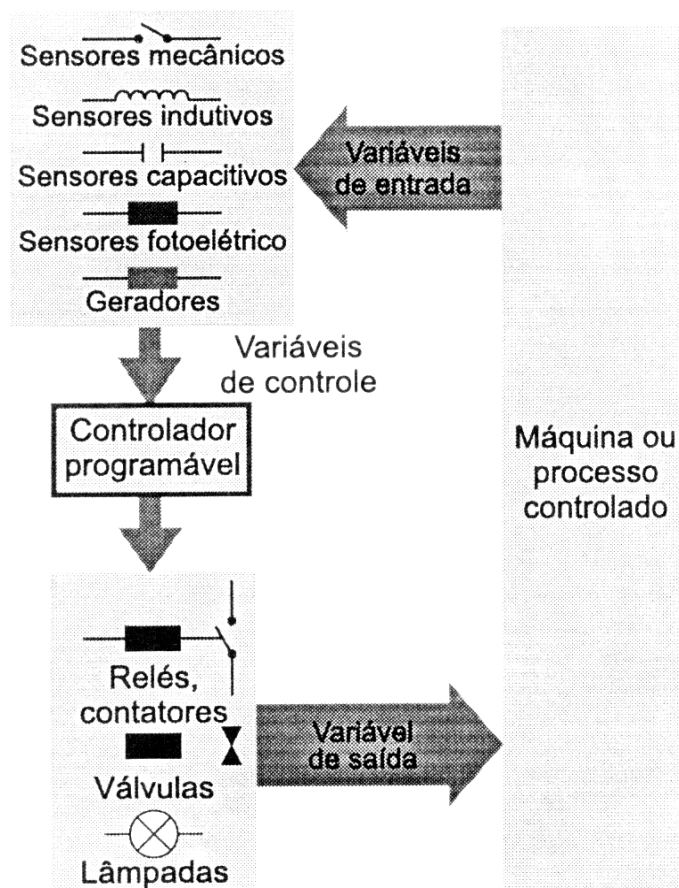
A evolução tecnológica dos CLPs nos últimos 30 anos é um dos mais nobres exemplos da aplicação da eletrônica nos processos de automação industrial. Segundo Natale (2000), os CLPs podem ser empregados em qualquer tipo de sistema que se deseja tornar automático (inteligente).

Esses controladores podem ser definidos como miniaturas de computadores industriais, contendo um hardware e um software utilizado para executar as funções controladoras. Um CLP possui duas seções básicas: a unidade central de processamento (CPU – Central Processing Unit) e a interface de entradas e saídas do sistema (Natale, 2000).

A CPU controla toda a atividade do CLP e pode ser dividida em processador e sistema de memória. Os sistemas de entradas e saídas são compostos de conexões com dispositivos de campo (interruptores, sensores, solenóides, etc.) e interface entre a CPU e o meio externo (interface OPERADOR X SISTEMA) quando da necessidade de mudança de algumas variáveis do processo sem interferências no programa normal de operação. Assim, a CPU lê os dados de entradas dos dispositivos de campo através da interface de entrada, e então executa, ou realiza os controles de programa que tinham sido armazenados na memória (Natale, 2000).

A maneira como o CLP atua no sistema está simbolizada na figura 01, quando as variáveis de entrada, coletadas por sensores, informam a cada instante as condições em que se encontra o sistema sob controle. Esses sensores, que podem ser de turbidez, de vazão, de nível, de temperatura, de pH, dentre outros, dão entrada no CLP um dado nível lógico, e em função do programa instalado em sua memória, atuam no sistema por meio de suas saídas. Essas variáveis de saída executam, a cada instante, por exemplo, o fechamento de válvulas e acionamentos de motores (Natale, 2000).

Moraes e Castrucci (2001) comentam que os CLPs contém uma linguagem de programação de alto nível caracterizando um sistema bastante amigável com relação ao operador. Os programas são normalmente realizados na linguagem Ladder, a linguagem que mais se aproxima de um esquema elétrico baseado em relés, e são colocados na memória da CPU em forma de operações. Finalmente, baseado no programa, o CLP escreve ou atualiza as saídas atuando nos dispositivos de campo. Este processo, também conhecido como um ciclo continua na mesma seqüência, sem interrupções, apenas quando as mudanças são realizadas através de comandos de programa (Natale, 2000).



**Figura 01:** Implementação elétrica de um CLP

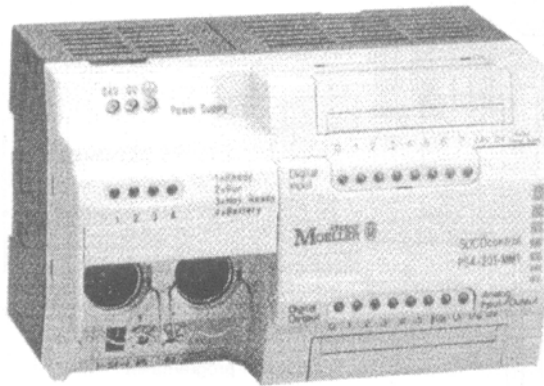
Fonte: Natale (2000)

Com o transcorrer do tempo os controladores programáveis passaram a tratar variáveis analógicas e no início dos anos oitenta incorporaram a função do controle dinâmico de processos, com algoritmos de controle proporcionais, integrais e derivativos (PID). Ainda na década de oitenta, com a evolução dos microcomputadores e das redes de comunicação entre os



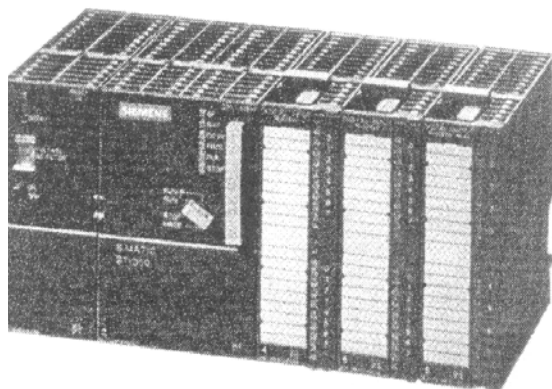
CLPs, passaram a elevar sua performance, permitindo que vários controladores programáveis pudessem partilhar os dados em tempo real e que nesta mesma rede estivessem conectados vários microcomputadores, os quais, através de um software de supervisão e controle, podiam monitorar, visualizar e comandar o processo como um todo a partir de uma sala de controle, que não necessariamente precisava estar localizada no setor de produção (Miyagi, 1996).

Esse processo de automação apresenta duas formas básicas de configuração: compacta, em que a CPU e todos os módulos de entrada e saída se encontram no mesmo rack; e a modular, em que a CPU e cada um dos módulos de entrada e saída se encontram separados e vão sendo montados em função da configuração exigida. Ver figuras 02 e 03 (Natale, 2000).



**Figura 02:** Configuração CLP Compacto

Fonte: Natale (2000)



**Figura 03:** Configuração CLP Modular

Fonte: Natale (2000)

Basicamente, um Controlador Lógico Programável apresenta as seguintes

características e vantagens em relação aos sistemas convencionais: hardware e/ou dispositivo de controle de fácil e rápida programação ou reprogramação, com a mínima interrupção da produção; ocupa menor espaço físico e requer menor potência elétrica; capacidade de operação em ambiente industrial; sinalizadores de estado e módulo tipo plug-in de fácil manutenção e substituição; possibilidade de monitoração do estado e operação do processo ou sistema, através da comunicação com computadores; compatibilidade com diferentes tipos de sinais de entrada e saída; capacidade de alimentar, de forma contínua ou chaveada, cargas que consomem correntes de até 2A; hardware de controle que permite a expansão dos diversos tipos de módulos, de acordo com a necessidade; Softwares supervisórios responsáveis pela aquisição e envio de dados entre os controladores lógicos programáveis e o computador; Custo de compra e instalação competitivos em relação aos sistemas de controle convencionais; Possibilidade de expansão da capacidade de memória, e Conexão com outros CLPs através de rede de comunicação. (Morais e Castrucci, 2001).

Embora tenham semelhanças básicas com os computadores, os Controladores Lógicos Programáveis se distinguem por suportarem as severas condições do ambiente industrial (como ruídos elétricos, interferências eletromagnéticas, vibrações mecânicas e umidade), além de permitirem sua utilização por parte de pessoal técnico (Morais e Castrucci, 2001).

Atualmente é praticamente impossível encontrar uma indústria de tecnologia que não utilize, de uma forma ou outra, um Controlador Lógico Programável, já que as raízes de seu projeto se baseiam em princípios de simplicidade e aplicação prática (Morais e Castrucci, 2001).

Di Bernardo e Di Bernardo (2005) trabalham a automação dos processos de tratamento de água para abastecimento visando sua otimização, levando a uma redução dos custos de operação e de insumos, como já destacado por Cavazzana e Matsumoto (2003b) e por Libânio e Lopes (2005).

Assim, analisando o processo de produção de água para abastecimento envolvendo uma tecnologia de ponta, como é o caso do Sistema Floco Decantador de Manta de Lodo seria importante a automação, via CLPs, desse processo (Cavazzana e Matsumoto, 2004c, d).

## AP03 - PROPOSTA DE UMA ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO

A figura 01 mostra o fluxograma e a figura 02 as partes principais do SFML, cujos funcionamentos lógicos, obtidos pela operação manual e semi-automática do MFDML e SFML, poderão ser controlados como descrito a seguir na tabela 01:

Inicialmente a bomba 01 (item 004) recalca água bruta para a caixa de nível constante (item 007). Essa bomba funciona com um inversor de frequência, para que sua vazão seja controlada, conforme se deseja, através de um medidor de vazão de entrada da água bruta (item 003). Nesse passo, a água escoa pelas tubulações de sucção (item 002) e de recalque (item 005);

A válvula de retenção (item 006) assegurará o funcionamento adequado da bomba 01 quando houver repartida da mesma;

Após a captação, na entrada da sucção, uma válvula de pé e crivo (item 001) evita a entrada de material grosseiro na tubulação;

Após a caixa 007, a água bruta passa por um sensor de turbidez (item 008) e um medidor de vazão (item 009), o qual envia um sinal para o CLP acionando a bomba 03 (item 027), dosadora de coagulante conectada à caixa de armazenamento de coagulante (item 026), a qual, por sua vez, injeta coagulante num tubo venturi (item 010) para promover a mistura rápida;

A caixa de armazenamento (item 026) é alimentada pela solução de coagulante da caixa de preparo de coagulante (item 022) por meio da bomba 02 (item 023) que é acionada de acordo com o sinal de um sensor de nível (colocado na caixa do item 030);

A dosagem de coagulante é feita em acordo com a turbidez e a vazão de água bruta medidos nos itens 008 e 009, respectivamente, pela bomba dosadora de coagulante (item 027);

A tubulação que conecta as caixas de preparo e armazenamento de coagulante é a referente ao item 024 e a tubulação que conecta a caixa de armazenamento e a tubulação de entrada no SFML é a do item 011;

A tubulação do item 024 possui uma válvula de retenção de forma a garantir um bom funcionamento da bomba 02 (item 023); e a tubulação do item 011 possui um registro de gaveta (item 012) para limpeza, parada ou manutenção do conjunto;

Em seguida, a água escoa pelo Sistema Floco Decantador (item 013) para o qual é colocado um sensor de nível de manta de lodo para limitar a altura da manta e delinear descargas da mesma ou a limpeza geral do Sistema de Tratamento. A descarga da manta é feita pela tubulação referente ao item 031, e é controlada por uma válvula solenóide (item 032) e, a descarga de fundo é feita pela tubulação 029 e controlada por uma válvula solenóide (item 030);

Todas as descargas são direcionadas para o leito de secagem (item 041);

Após percorrer o SFML, a água decantada passa por um sensor de turbidez (item 014). Se a turbidez exceder pouco o limite máximo, é enviado sinal para o CLP ajustar a dosagem de coagulante, caso exceda muito, a água será descartada para o leito de secagem pela tubulação do item 034 (controlada pela válvula do item 033);

No Filtro de areia com sensor de nível (item 015), a água pode escoar por três caminhos distintos conforme a leitura do sensor de turbidez da água filtrada (item 019). Da tubulação inferior, primeiramente, a água pode ser encaminhada para o tanque de água filtrada (item 021) pela tubulação de água filtrada (item 020), conforme a turbidez da água decantada esteja dentro do limite máximo; em segundo, acaso a água atinja a turbidez limite ou perda de carga limite, indicando o momento de lavagem do filtro, então é enviado sinal de manobra de válvulas solenóides, para fechamento da válvula solenóide do item 018, e abertura da válvula solenóide de descarga de lavagem (item 040) e da

válvula solenóide de descarga de fundo (item 033), dando descarga de fundo; em terceiro, é liberada a água de retro-lavagem através da tubulação do item 037 - a qual é controlada pela bomba 04 (item 035), pela válvula solenóide do item 038 e pelo medidor de vazão do item 036 - que estará ligada à caixa de água filtrada (item 021), sendo que nessa operação a válvula do item 033 é fechada e a do item 040 aberta; em seguida, repete-se o comando de válvulas do segundo passo, para a completa drenagem do filtro para o leito de secagem (item 041) – controlada pelo sensor de nível do filtro – antes do reinício das operações. Nesses instantes, fica óbvio o bloqueio das fases anteriores, visto que a produção de água não estará sendo aproveitada;

A bomba 04 (item 035) funciona em consonância com um inversor de frequência;

Do leito de secagem (item 041) a água é encaminhada pela tubulação do item 042, controlada pela válvula solenóide do item 043, para o tanque de armazenamento (item 044).

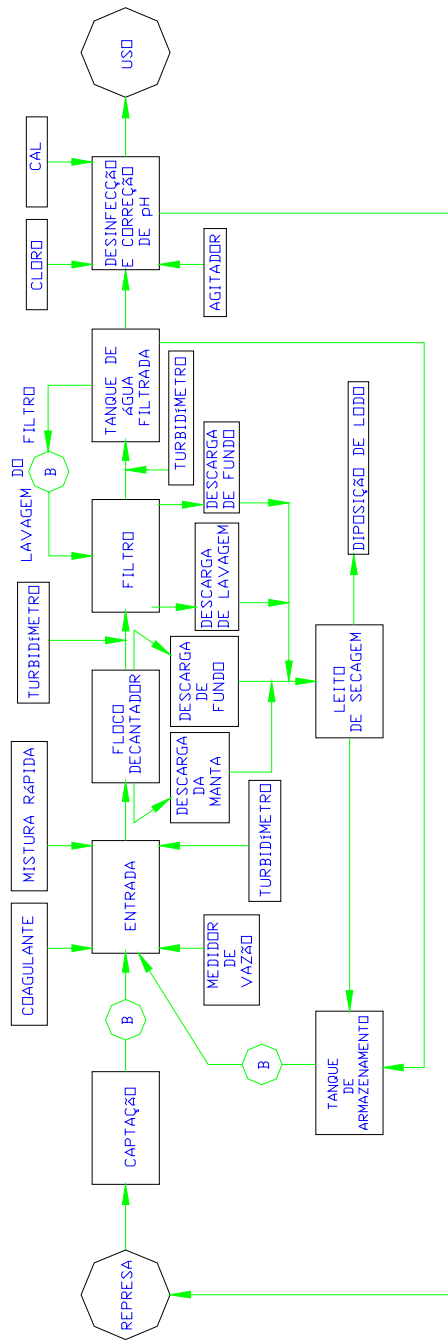
Desse tanque (item 044) a água é enviada ao tanque de entrada de água bruta (item 007) pelo acionamento da bomba 08 (item 045), através da tubulação do item 046. Essa tubulação (item 046) possui uma válvula de retenção (item 047), de forma a garantir o funcionamento da bomba 08 (item 045);

O tanque do item 050 recebe água filtrada através da tubulação do item 049 e abertura da válvula solenóide do item 048. Esse tanque (item 050) possui um agitador de forma a otimizar a homogeneidade da cal (cal hidratada) e do cloro (em pastilhas) a serem adicionados para correção de pH e desinfecção, respectivamente.

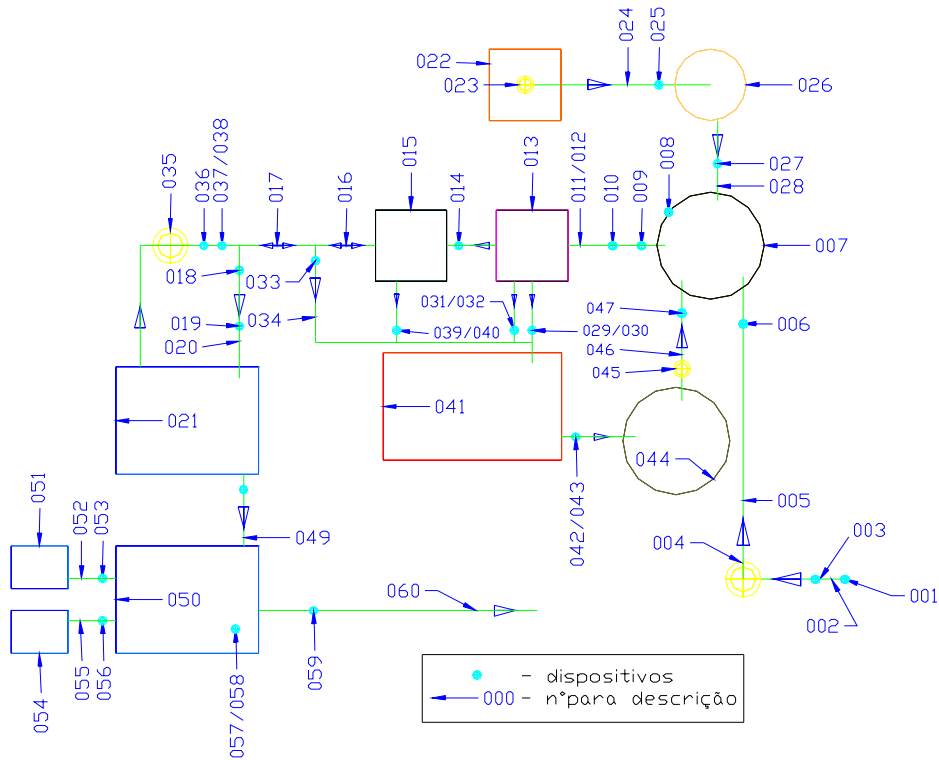
O reservatório de cal (item 051) está interligado ao tanque 050 por uma tubulação (item 052) e possui um agitador para se homogeneizar a solução de cal. A cal será dosada pela bomba 06 (item 053) em consonância com o medidor de pH do item 057.

O reservatório de cloro (item 054) está interligado ao tanque 050 por uma tubulação (item 055) e possui um agitador para se homogeneizar a solução de cloro em pastilhas. O cloro é dosado pela bomba 07 (item 056) em consonância com o medidor de cloro do item 058.

Após o tanque do item 050, estando os limites de pH e cloro residual atendidos - verificados pelo medidor de pH e pelo de cloro (itens 057 e 058, respectivamente) – a água pode ser destinada a algum uso ou, como se pretende, ser reencaminhada à fonte da captação através do controle da válvula solenóide do item 059 pela tubulação de retorno do item 060;



**Figura 01:** Fluxograma geral do SFML



**Figura 02:** Fluxograma para descrição do funcionamento lógico e dispositivos necessários ao SFML.

**Tabela 01:** Descrição dos componentes do SFML/PMC

001	Válvula de pé e crivo
002	Tubulação de sucção
003	Medidor de vazão de entrada
004	Bomba 01
005	Tubulação de recalque
006	Válvula de retenção
007	Caixa de nível constante água bruta
008	Turbidímetro água bruta
009	Medidor de vazão
010	Tubo venturi
011	Tubulação
012	Registro de gaveta
013	Sistema Floco Decantador
014	Turbidímetro água decantada
015	Filtro de areia com sensor de nível
016	Tubulação de manobra
017	Tubulação de manobra 02

**Tabela 01:** continuação

018	Válvula solenóide
019	Turbidímetro água filtrada
020	Tubulação água filtrada
021	Tanque de água filtrada
022	Caixa de preparo de coagulante
023	Bomba 02
024	Tubulação
025	Válvula de retenção
026	Caixa de armazenamento de coagulante
027	Bomba 03 dosadora de coagulante
028	Tubulação
029	Tubulação
030	Válvula solenóide
031	Tubulação
032	Válvula solenóide
033	Válvula solenóide
034	Tubulação
035	Bomba 04
036	Medidor de vazão da retrolavagem
037	Tubulação
038	Válvula solenóide
039	Tubulação
040	Válvula solenóide
041	Leito de secagem
042	Tubulação
043	Válvula solenóide
044	Tanque de armazenamento
045	Bomba 05
046	Tubulação
047	Válvula de retenção
048	Válvula solenóide
049	Tubulação
050	Tanque de desinfecção
051	Tanque de cal
052	Tubulação

**Tabela 01:** continuação

053	Bomba 06
054	Tanque de cloro
055	Tubulação
056	Bomba 07 dosadora de cloro
057	Medidor de pH
058	Medidor de Cloro
059	Válvula solenóide
060	Tubulação de retorno

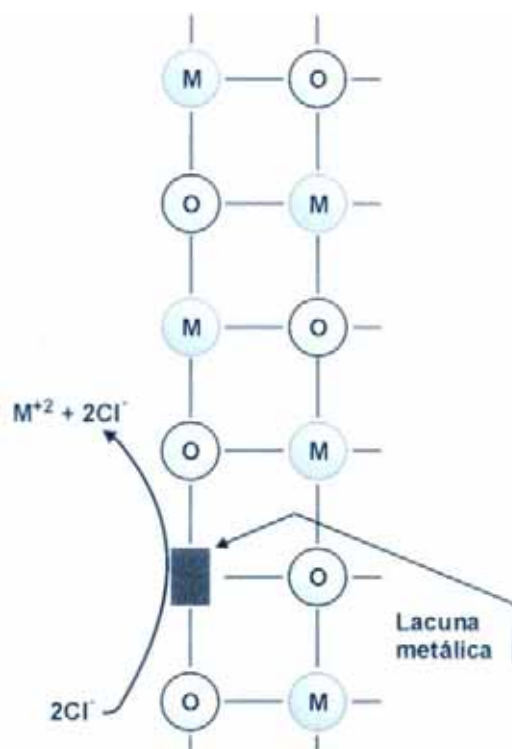
Uma observação a ser feita nesse tópico é que o SFML foi construído em aço carbono (Ver Apêndice 03) e sem automação uma vez os recursos financeiros disponíveis não terem sido suficientes.



## AP04 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A necessidade de se estudar materiais compatíveis com o local e condições de aplicação do equipamento que se deseja construir é imprescindível. Para o Tratamento de Água para Abastecimento em um SFML há a necessidade de utilização de um material de boa resistência mecânica e à corrosão em água e que não libere toxinas prejudiciais à saúde humana. Também, em se tratando de um Protótipo Modular Compacto (PMC), o material deve possuir espessura reduzida. Tais características são pertinentes aos aços em especial os inoxidáveis (Cavazzana e Matsumoto, 2004e).

Os aços inoxidáveis surgiram em 1912 na França e na Alemanha, através da constatação da diminuição da velocidade de corrosão através da adição de cromo nas ligas Fe-Cr. Ver figura 01 (Carbó, 2001).



**Figura 01:** Aços Inox: Resistência à corrosão pela formação de um filme superficial

Fonte: Carbó (2001)

onde:

M: metal de sacrifício (cromo, no caso);

O: oxigênio;

Cl: Cloro, o agente oxidante.

Esse aço, cuja marca é a presença de 10,5% ou mais de cromo, dentre outros (carbono, silício, manganês, fósforo, enxofre, níquel, titânio, nióbio, molibdênio) em sua composição. O aço inoxidável possui uma variedade muito grande, de forma geral, têm-se dois grupos, o da série 300 e o da série 400 (Carbó, 2001).

A série 300 é a dos aços inoxidáveis austeníticos, que são aços não magnéticos com estrutura cúbica de faces centradas, basicamente ligas Fe-Cr-Ni (Carbó, 2001).

Já a série 400 é a dos aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos. Os ferríticos são aços magnéticos com estrutura cúbica de corpo centrado, basicamente ligas Fe-Cr. E os martensíticos são ligas que apresentam um cromo mais baixo e um carbono mais alto que os ferríticos (Carbó, 2001).

Essa característica de proteção contra corrosão dos aços inoxidáveis é devido à formação de um filme passivo originado pela reação do metal base com o meio ambiente, o qual, aparentemente, é constituído por um óxihidróxido dos metais cromo e ferro (Carbó, 2001).

Nos aços inoxidáveis martensíticos o carbono se apresenta em uma concentração que permite a transformação da ferrita em austenita em altas temperaturas e, durante o resfriamento, a austenita se transforma em martensita (Carbó, 2001).

A martensita é uma fase rica em carbono, frágil e muito dura, cujo representante mais conhecido é o 420 que possui um pouco mais de 12% de Cr e aproximadamente 0,35% de C - (Carbó, 2001).

Os aços ferríticos em geral possuem maior quantidade de cromo que os martensíticos, o que melhora sua resistência à corrosão, mas piora outras propriedades, como a resistência ao impacto. O aço ferrítico mais popular é o 430, com cromo superior a 16%. É um material com ótima resistência à corrosão, com capacidade de estampagem considerada boa, desde que não muito profundas (Carbó, 2001).

No entanto, devido à fragilidade e pouca resistência à corrosão nos pontos de solda, utiliza-se uma variação dos aços 430 quando em situações de solda de responsabilidade, através da concepção de formas mais estabilizadas. Entre eles: o 439, com cerca de 17% de Cr; o 441,

semelhante em cromo ao anterior, mas com excesso de Nb; o 409, com 11% de Cr; e o 444, muito utilizado em aplicações com água, com 18% de Cr e cerca de 2% de Mo (CARBÓ, 2001).

A adição de níquel em determinadas quantidades permite transformar a estrutura ferrítica em austenítica tendo, como resultado, mudanças. Os aços inoxidáveis austeníticos, que têm como representante mais popular o 304 (18% de Cr e 8% de Ni), possuem excelentes resistência à corrosão, ductibilidade, soldabilidade e resistência a uma ampla faixa de temperaturas (de 1150°C até condições criogênicas) – Carbó (2001).

No entanto, o aço 304 apresenta problemas quanto à corrosão por pites e em frestas em determinados meios (especialmente cloretos) sendo interessante, nesses casos, sua substituição pelo austenítico 316, o qual apresenta molibdênio em sua composição (Carbó, 2001).

As figuras 02 e 03 mostram os tipos de aços das séries 300 e 400, respectivamente. Uma observação é que os números presentes à frente de cada elemento constituinte do aço representam sua porcentagem em massa. Por exemplo, Cr 16/18, representa que o aço possui entre 16 e 18% em massa de cromo (Carbó, 2001).

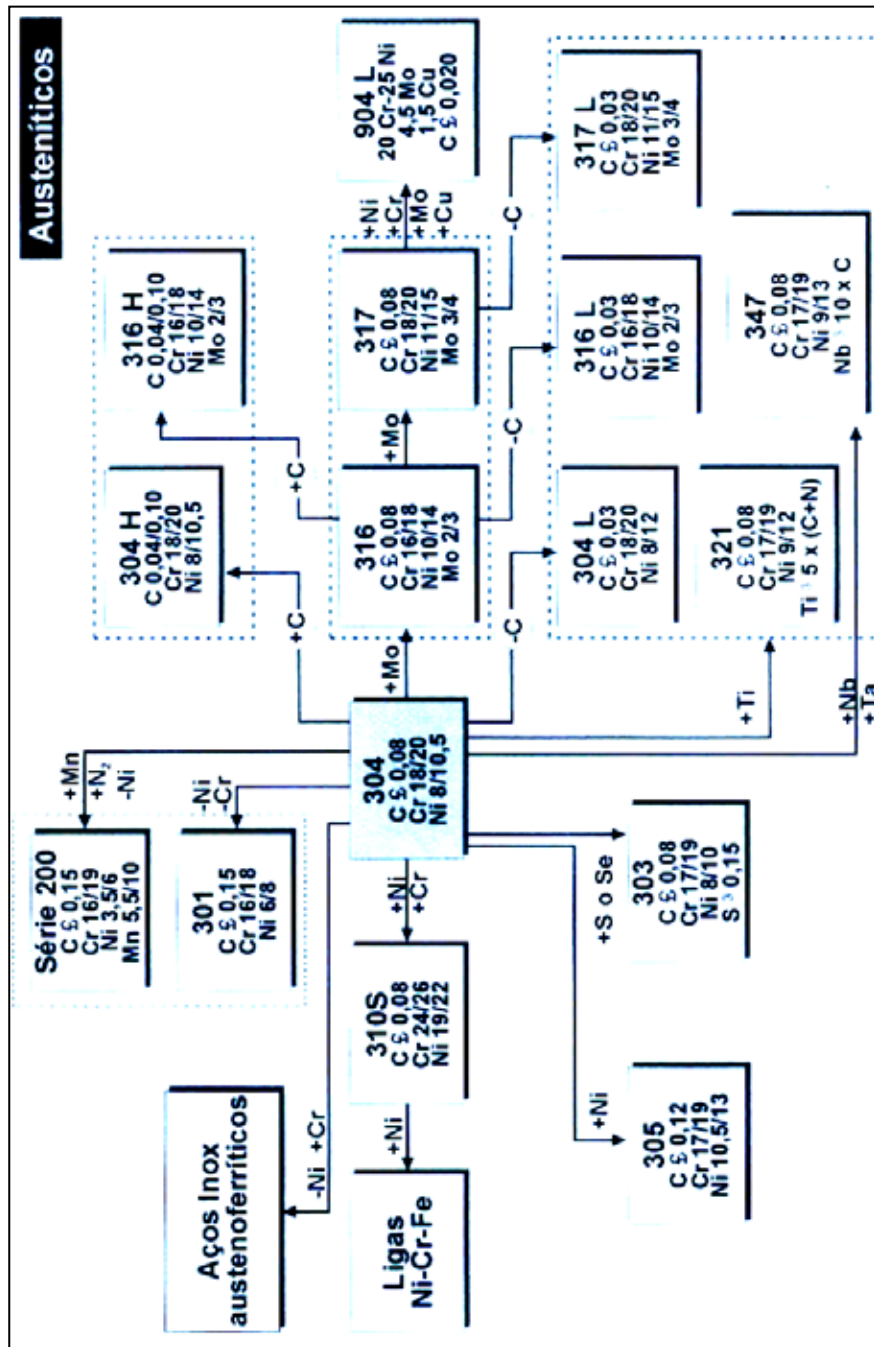


Figura 02: Aços inoxidáveis da Série 300

Fonte: Carbó (2001)

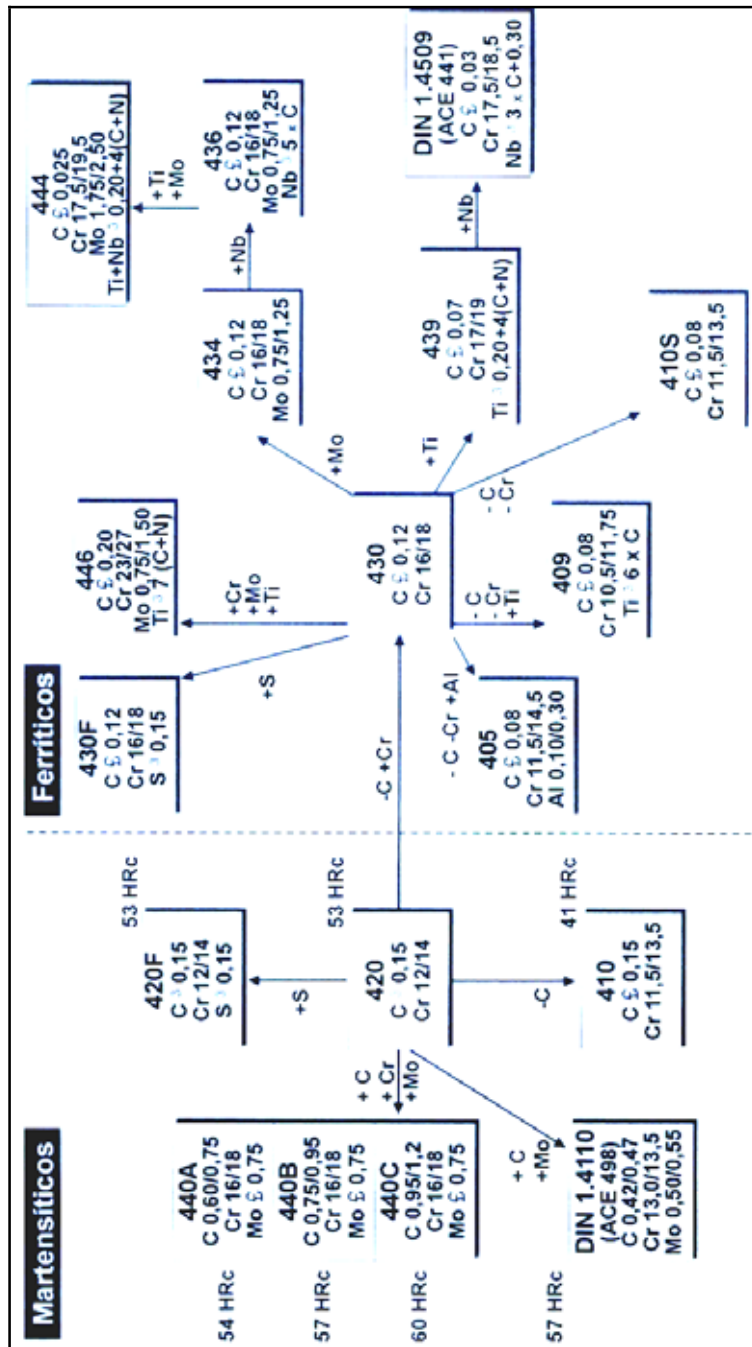


Figura 03: Aços inoxidáveis da Série 400

Fonte: Carbó (2001)

O Concreto é um dos materiais mais utilizados na Construção de Estações de Tratamento de Água (ETA) e, de fato, Bauer (2000) conclui que o concreto bem confeccionado apresenta boa resistência à água doce.

Macintyre (1996) comenta que certas águas possuem impurezas de interesse especial, como fluoretos, nitratos, sais de ferro, iodetos e substâncias radioativas. Outras possuem

substâncias capazes de causar envenenamento, caso do arsênico, do cromo hexavalente e do chumbo. E, ainda, há aquelas capazes de impedir a obtenção de produtos industriais e de comprometer a durabilidade das instalações.

A Empresa Mizumo, situada em Marília-SP, fabrica sistemas modulares para tratamento de esgotos possibilitando o reuso da água para lavagem de carros e calçadas. O sistema remove cerca de 96% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) a um custo cerca de US\$50,00 por habitante para uma produção de 200 litros por habitante por dia (L/hab/dia) - Revista Recursos Hídricos (2003).

The Steel Construction Institute (1999) mostra a capacidade do aço inox em atender vários aspectos de projeto, especialmente quanto às resistências à corrosão e mecânica, quando aplicados com água.

The Steel Construction Institute (2000) aponta o uso do aço e aço inox na concepção de projetos para tratamento de águas e águas residuárias compactos (Package Treatment Units).

O quadro 01 mostra algumas vantagens de utilização do aço inox.

**Quadro 01:** Atributos relevantes do aço inox para a indústria da água

Características	Vantagens conferidas
Alta resistência à corrosão	Sem re-investimento, operação consistente
Sem corrosão ou produtos lixiviados, sem problemas organolépticos ou de turbidez	Água potável clarificada e purificada
Superfície lisa	Menos limo de bactéria, menor consumo de energia, menor custo de limpeza, bom para transportar sólidos suspensos
Reciclável	Baixos custo benefício e impacto ambiental
Boas ductibilidade e soldabilidade	Compatível com construções industrializadas
Baixo peso (para componentes tubulares)	Simples construção e montagem
Boas propriedades mecânicas	Alto fator de utilização do material
Boa resistência ao desgaste e à fadiga	Baixa manutenção, longa vida útil (mesmo em instalações sujeitas a vibrações cíclicas)
Material reproduzido por especificações europeias normatizadas	Avaliabilidade comprovada na maioria das formas do produto
Aparência atrativa	Limpo, higiênico, imagem “high tech”

Fonte: The Steel Construction Institute (1999)

Bauer (1999) em seus demonstrativos sobre a utilização da madeira em meio aquoso, comenta que esse material possui boa resistência à agentes químicos, como ácidos e bases, com o inconveniente de ser deteriorada por insetos nocivos que se alimentam do tecido lenhoso.

Bauer (1999) apresentou, dentre as várias utilidades dos metais na construção civil, sua utilização em meios contendo água possibilitado por ligas de baixa corrosividade, caso do zinco, do cobre e de ligas especiais, com metal de sacrifício.

O autor comenta ainda, que tanto os metais quanto a madeira apresentam melhor resistência mecânica (em especial à tração e à flexão quando comparados ao concreto, possuindo peças estruturais mais delgadas) - Bauer (1999).

Apresenta, também, afirmações que comprovam que apesar da grande variedade de aplicação de peças plásticas na construção civil (inclusive para aplicações em meios contendo água) têm-se certos comprometimentos quanto à resistência desses materiais em relação aos metais, por exemplo. Da mesma forma, os plásticos apresentam grandes limitações com relação aos esforços de flexão (Bauer, 1999).

A maneira mais comum de se combater a deterioração ou destruição dos mais diversos materiais é protegendo suas superfícies com películas resistentes obtidas pela aplicação de tintas, vernizes, lacas ou esmaltes (Bauer, 1999).

Petrucci (1978) define tintas e vernizes como materiais de consistência líquida ou pastosa capazes, entre outros fatores, de colorir e proteger a superfície de um objeto de elementos agressivos. O mesmo autor comenta que a preparação adequada da superfície dos objetos é essencial para a adesão das tintas e vernizes nesses substratos.

Essas afirmações mostram a possibilidade de se utilizar aços comuns em ambientes submersos pela aplicação de película protetora capaz de inibir a ação corrosiva da água – e eventuais impurezas contidas nesta - nesses aços (Petrucci, 1978).