

**ESTUDO DE DIFERENTES MATERIAIS PARA
FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR,
PRECEDENDO A FILTRAÇÃO RÁPIDA
DESCENDENTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA
PARA ABASTECIMENTO**

Ramon Lucas Dalsasso

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

Tese apresentada ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental

Florianópolis
2005

“ESTUDOS DE DIFERENTES MATERIAIS PARA FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR, PRECEDENDO A FILTRAÇÃO RÁPIDA DESCENDENTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO”

RAMON LUCAS DALSSASSO

Tese submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

DOUTOR EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na área de Engenharia Ambiental.

Aprovado por:

Prof^a. Rejane Helena Ribeiro da Costa, Dr^a.

Prof. Carlos Gomes da Nave Mendes, Dr.

Prof. Luiz Di Bernardo, Dr.

Prof. Péricles Alves Medeiros, Dr.

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
(Orientador)

Prof. Henry Xavier Corseuil, Dr.
(Coordenador)

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos Pablo e Maria Luiza, que me fazem sonhar, a minha esposa por sonharmos juntos, e aos meus pais pelo apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Maurício Luiz Sens pela orientação.

A todos os membros de minha família pelas manifestações de carinho e apoio recebidos, especialmente à minha esposa Susana, por não medir esforços para que eu pudesse realizar esta tarefa.

Aos colegas Deverson Simioni, Luiz Carlos de Melo Filho, Marcelo Emmendoerfer, Luciana Frassetto de Campos, Heloiza Rachel Willrich Boel, e Bianca Sens dos Santos, pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina pelos ensinamentos adquiridos.

À Companhia Catarinense de Águas e Saneamento pela parceria que permitiu o desenvolvimento da pesquisa junto à Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri.

Aos colegas e às amigas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	4
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	INTRODUÇÃO	5
3.2	COAGULAÇÃO - FLOCULAÇÃO	5
3.2.1	COAGULAÇÃO	6
3.2.2	FLOCULAÇÃO	7
3.2.3	TIPOS DE FLOCULADORES	12
3.2.4	ASPECTOS ECONÔMICOS NO DIMENSIONAMENTO DE FLOCULADORES	13
3.3	FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR	15
3.3.1	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS GRANULARES	17
3.4	FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR EXPANDIDO	20
3.4.1	PERDA DE CARGA	20
3.4.2	VELOCIDADE MÍNIMA DE FLUIDIFICAÇÃO (VMF)	22
3.4.3	VELOCIDADE MÁXIMA DE FLUIDIFICAÇÃO	23
3.4.4	EXPANSÃO DO LEITO	24
3.4.4.1	<i>Modelo de Feixe de Poros</i>	24
3.4.4.2	<i>Modelo de Richardson e Zaki</i>	25
3.4.4.3	<i>Gradiente de velocidade no meio granular expandido</i>	26
3.4.4.4	<i>Dimensionamento do floculador</i>	26
3.5	ESTUDOS EXPERIMENTAIS COM FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR	28
3.6	FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE - FDD	33
3.7	PRÉ-FLOCULAÇÃO E FILTRAÇÃO DIRETA	37
4	METODOLOGIA	45
4.1	FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA	46
4.2	PRIMEIRA FASE: AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DOS FLOCULADORES	46

4.2.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS FLOCULADORES _____	46
4.2.2	SISTEMA PILOTO _____	49
4.2.3	ENSAIOS COM ÁGUA TRATADA _____	51
4.3	SEGUNDA FASE: ESTUDO DA FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR _____	54
4.3.1	ÁGUAS DE ESTUDO _____	54
4.3.2	PRODUTOS QUÍMICOS E SISTEMA DE DOSAGEM _____	56
4.3.3	ENSAIOS DE BANCADA EM JARTESTE _____	57
4.3.3.1	<u>Equipamento de jarteste</u> _____	57
4.3.3.2	<u>Série I : Condições de coagulação</u> _____	58
4.3.3.3	<u>Série II: Verificação do tipo de areia dos FLAS</u> _____	59
4.3.3.4	<u>Série III: Verificação das condições de mistura rápida</u> _____	59
4.3.3.5	<u>Série IV: Verificação das condições de floculação</u> _____	61
4.3.3.6	<u>Série V: Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs</u> _____	61
4.3.4	ENSAIOS EM SISTEMA PILOTO COM ÁGUA COAGULADA _____	63
4.3.4.1	<u>Características gerais dos ensaios</u> _____	63
4.3.4.2	<u>Parâmetros de controle</u> _____	64
4.3.4.3	<u>Crterios de avaliação dos resultados</u> _____	64
4.4	TERCEIRA FASE DA PESQUISA: CARREIRAS DE FILTRAÇÃO EM FILTRO PILOTO _____	65
4.4.1	SISTEMA PILOTO _____	65
4.4.1.1	<u>Reservatório de água bruta</u> _____	66
4.4.1.2	<u>Câmara de mistura rápida</u> _____	66
4.4.1.3	<u>Filtro</u> _____	66
4.4.1.4	<u>Preparo e dosagem de produtos químicos</u> _____	67
4.4.2	ENSAIOS DE FILTRAÇÃO COM E SEM PRÉ-FLOCULAÇÃO _____	69
4.4.2.1	<u>Parâmetros de controle</u> _____	69
4.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DOS RESULTADOS _____	70
4.5.1	PERDA DE CARGA, GRADIENTE DE VELOCIDADE E EXPANSÃO DOS MEIOS GRANULARES _____	70
4.5.2	DURAÇÃO DAS CARREIRAS DE FILTRAÇÃO _____	71
5	<u>RESULTADOS E DISCUSSÕES</u> _____	72
5.1	QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA _____	72
5.2	RESULTADOS DA PRIMEIRA FASE DA PESQUISA _____	77
5.2.1	PERDA DE CARGA _____	78
5.2.2	EXPANSÃO _____	81

5.2.3	GRADIENTE DE VELOCIDADE	83
5.2.4	DIMENSIONAMENTO DE FLOCULADORES DE MEIO GRANULAR EXPANDIDO	85
5.2.4.1	<i>Equações e parâmetros de projeto</i>	85
5.2.4.2	<i>Exemplo de dimensionamento</i>	99
5.3	RESULTADOS DA SEGUNDA FASE DA PESQUISA	109
5.3.1	RESULTADOS OBTIDOS EM JARTESTE	109
5.3.1.1	<i>Resultados da Série I: Condições de coagulação</i>	109
5.3.1.2	<i>Resultados da Série II: Verificação do tipo de areia dos FLAS</i>	113
5.3.1.3	<i>Resultados da Série III: Verificação das condições de mistura rápida</i>	113
5.3.1.4	<i>Resultados da Série IV: Verificação das condições de floculação</i>	115
5.3.1.5	<i>Resultados da Série V: Verificação da evolução da perda de carga em FLAs</i>	117
5.3.2	RESULTADOS OBTIDOS EM SISTEMA PILOTO	118
5.4	RESULTADOS DA TERCEIRA FASE DA PESQUISA	121
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	128
	<u>APÊNDICE I</u>	<u>130</u>
	<u>APÊNDICE II</u>	<u>158</u>
	<u>APÊNDICE III</u>	<u>228</u>
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	249

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 - Gráfico Ilustrativo do Comportamento da Perda de Carga em Função _____	22
Figura 3-2 - Tecnologia de tratamento de menor custo em função do tamanho e _____	35
Figura 3-3 - Forma de trabalho de um filtro de escoamento descendente _____	38
Figura 3-4 - Esquema da remoção e desprendimento de partículas em um meio filtrante granular (AMIRTHARAJAH, 1988) _____	39
Figura 3-5 - Mecanismos de transporte da filtração (AMIRTHARAJAH, 1988) _____	41
Figura 3-6 - Índices de Willcomb para determinar o tamanho dos flocos _____	43
Figura 4-1 - Localização da lagoa do Peri e do laboratório LALP _____	45
Figura 4-2 - Fluxograma do trabalho experimental _____	47
Figura 4-3 - Esquema de funcionamento da Câmara de Distribuição de Vazão _____	50
Figura 4-4 - Sistema piloto para ensaios de floculação com diferentes materiais _____	53
Figura 4-5 - Equipamento de jarteste utilizado nos experimentos _____	58
Figura 4-6 - Detalhes do filtro de laboratório de areia (FLA) e do procedimento de lavagem _____	60
Figura 4-7 - Detalhe da retirada de amostra durante os ensaios de jarteste para avaliar a evolução da perda de carga nos FLAs _____	62
Figura 4-8 - Arranjo geral do sistema piloto para ensaios de floculação e filtração _____	68
Figura 4-9 - Variação da massa específica da água doce em função da temperatura _____	71
Figura 5-1 - Parâmetros de qualidade da água bruta tipo I _____	73
Figura 5-2 - Parâmetros de qualidade da água bruta tipo I – continuação _____	74
Figura 5-3 - Distribuição de partículas nas águas da lagoa do Peri _____	76
Figura 5-4 - Curvas de distribuição granulométrica para amostras de água da lagoa do Peri _____	77
Figura 5-5 - Variação da perda de carga para diferentes materiais em função da velocidade de aproximação, para 1m de leito e água com temperatura de $18 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ _____	78
Figura 5-6 - Expansão medida para diferentes materiais em função da velocidade de aproximação para água a $18 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. _____	82
Figura 5-7 - Curvas de expansão com respectivas equações, para diferentes materiais em função da velocidade de aproximação da água a $18 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. _____	83
Figura 5-8 - Gradientes de velocidade calculados para diferentes materiais em função da velocidade de aproximação da água a $18 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. _____	84
Figura 5-9 - Influência do tempo de floculação no tempo da filtragem de amostras no FLA em função do gradiente médio de velocidade _____	88

Figura 5-10 - Relação entre velocidade superficial V_a e porosidade ϵ_c para um meio granular ideal (todos os grãos com dimensões, forma e massa específica iguais) _____	92
Figura 5-11 - Comparação entre valores de “n” medidos e calculados _____	95
Figura 5-12 - Turbidez da água decantada ($v_s = 1,5$ cm/min) em função do gradiente de velocidade e do tempo de floculação em jarreste _____	100
Figura 5-13 - Paletas de um floculador de eixo vertical com algumas dimensões de interesse _____	101
Figura 5-14 - Planta e corte de um floculador mecânico com paletas verticais _____	103
Figura 5-15 - Floculador hidráulico com chicanas verticais _____	104
Figura 5-16 - Floculador hidráulico de meio granular expandido _____	108
Figura 5-17 - Diagrama de coagulação para água tipo I (lagoa do Peri) _____	110
Figura 5-18 - Diagrama de coagulação II para água tipo I (lagoa do Peri) _____	110
Figura 5-19 - Diagrama de coagulação III para água tipo I (lagoa do Peri) _____	111
Figura 5-20 - Diagrama de coagulação para água tipo II (rio Vargem do Braço) _____	112
Figura 5-21 - Diagrama de coagulação para água tipo III (rio Cubatão Sul) _____	112
Figura 5-22 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida – Água Tipo I (lagoa do Peri) _____	113
Figura 5-23 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida – Água Tipo II (rio Vargem do Braço) _____	114
Figura 5-24 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida – Água Tipo III (rio Cubatão Sul) _____	114
Figura 5-25 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de floculação – Água Tipo I (lagoa do Peri) _____	116
Figura 5-26 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de floculação – Água Tipo II (rio Vargem do Braço) _____	116
Figura 5-27 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de floculação – Água Tipo III (rio Cubatão Sul) _____	117
Figura 5-28 - Foto de flocos produzidos em jarreste durante a avaliação da evolução da perda de carga em FLA _____	118
Figura 5-29 - Valores médios de qualidade da água filtrada e duração das carreiras _____	124
Figura 5-30 - Comparativo da variação da perda de carga no meio filtrante nos ensaios de filtração direta, em função do tipo de leito e do coagulante _____	125
Figura 5-31 - Variações na perda de carga e na qualidade da água filtrada entre ensaios de filtração direta descendente com e sem pré-floculação _____	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - Valores de a e n _____	24
Tabela 3-2 - Valores de n para a equação de Richardson&Zaki para diferente regimes de escoamento _____	26
Tabela 3-3 - Estudos desenvolvidos com floculação em meio granular _____	32
Tabela 3-4 - Sugestão de tecnologia de tratamento em função da qualidade da água bruta (Kawamura, 2000 apud DE PÁDUA, 2001; DI BERNARDO et al., 2003) _	35
Tabela 4-1 - Características dos materiais utilizados nos flocladores _____	48
Tabela 4-2 - Características dos ensaios da primeira fase _____	51
Tabela 4-3 - Natureza das águas de estudo _____	54
Tabela 4-4 - Parâmetros de controle de qualidade da água bruta _____	56
Tabela 4-5 - Condições de floculação ensaiadas em jarteste _____	61
Tabela 4-6 - Ensaios de floculação realizados em sistema piloto _____	63
Tabela 4-7 - Composição dos meios filtrantes utilizados no filtro piloto _____	67
Tabela 4-8 - Ensaios de filtração direta descendente realizados _____	69
Tabela 5-1 - Amostras para avaliação do tamanho e distribuição de partículas _____	75
Tabela 5-2 - Distribuição de partículas em amostras de água da lagoa do Peri _____	76
Tabela 5-3 - Valores teóricos e medidos de perda de carga para leitos fluidificados (h_{fe}) e velocidade mínima de fluidificação (V_{mf}), para água a $18 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ____	80
Tabela 5-4 - Valores de V_s , V_{mf} , esfericidade e massa específica dos materiais utilizados no modelo de previsão de expansão _____	91
Tabela 5-5 - Relações observadas entre as variáveis V_a , V_i e n _____	93
Tabela 5-6 - Valores de V_{sm} , ψ , ρ_s , e V_i dos materiais estudados. _____	93
Tabela 5-7 - Determinação do coeficiente de expansão “ n “ _____	95
Tabela 5-8 - Alguns parâmetros envolvidos no dimensionamento do floclador ____	102
Tabela 5-9 - Gradientes de velocidade, perdas de carga e velocidades nas passagens entre câmaras do floclador e canais adjacentes _____	103
Tabela 5-10 - Elementos de dimensionamento do floclador de chicanas verticais__	105
Tabela 5-11 - Valores médios de K_B/K_A e K_A obtidos da Figura 5.10 _____	106
Tabela 5-12 - Elementos de dimensionamento do floclador granular _____	107

Tabela 5-13 - Custos de implantação e operação dos floculadores_____	109
Tabela 5-14 - Comparativo entre valores de cor , turbidez e pH das águas tipo I, II e III, durante os ensaios de otimização das condições de mistura rápida _____	115
Tabela 5-15 - Resultados de ensaios de filtração direta com e sem pré-floculação __	123
Tabela 5-16 - Alumínio residual nos ensaios de filtração direta com e sem pré- floculação _____	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	-Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	-acrilonitrila butadieno estireno
CASAN	-companhia catarinense de águas e saneamento
CD	-coeficiente de desuniformidade
CDV	-câmara de distribuição de vazão
CMR	-câmara de mistura rápida
CNC	-câmara de nível constante
COT	-carbono orgânico total
ETA	-estação de tratamento de água
FDD	-filtração direta descendente
FLA	-filtro de laboratório de areia
IDRC	-International Development Research Centre
LALP	-laboratório de águas da lagoa do peri
LAPOÁ	-laboratório de potabilização de águas
OMS	-Organização Mundial da Saúde
PAC	-hidroxicloreto de alumínio
PS	-poliestireno
PVC	-cloreto de polivinila
SA	-sulfato de alumínio
SAN	-estireno acrilonitrila
UPA	-unidade padrão de área
USEPA	-United States Environmental Protection Agency

LISTA DE SÍMBOLOS

Ψ	-coeficiente de esfericidade
ν	-coeficiente de viscosidade cinemática da água (m^2/s)
ρ	-massa específica da água (Kg/m^3)
γ	-peso específico da água (N/m^3)
ε	-porosidade do meio granular
θ	-tempo de floculação em reator estático (s)
ε_e	-porosidade do meio granular expandido
Δh	-perda de carga (m)
Δh_e	-perda de carga no meio granular expandido (m)
ε_o	-porosidade inicial do meio granular
ρ_s	-massa específica do grão (g/cm^3)
A	-área da seção de escoamento (m^2)
A_m	-fator de amortização de investimentos (R\$/ano)
A_p	-área de passagem entre câmaras de um floculador (m^2)
b	-altura das paletas de um floculador mecanizado (m)
B	-número de braços de um floculador
C	-capital investido (R\$)
C_a	-número de camp
C_d	-coeficiente de arraste
μ	-coeficiente de viscosidade dinâmica da água ($N.s/m^2$)
D	-diâmetro interno do reator (m)
d_{eq}	-diâmetro equivalente da partícula (mm)
d_i	-diâmetro da partícula tipo i (μm)
D_{imed}	-tamanho médio dos grãos na subcamada de meio granular (mm)
λ	-dimensão mínima da partícula (mm)
d_j	-diâmetro da partícula tipo j (μm)
d_n	-diâmetro nominal da partícula (mm)
d_v	-diâmetro volumétrico de um grão (mm)

E	-elongação da partícula
e	-excentricidade da partícula
Ex	-expansão do meio granular (%)
f	-fator de fricção
g	-aceleração da gravidade (m/s^2)
G	-gradiente médio de velocidade (s^{-1})
G*	-gradiente de velocidade ótimo (s^{-1})
G'	-gradiente de velocidade mínimo (s^{-1})
Ga	-número de galileu
Gamr	-gradiente de velocidade médio após a mistura rápida (s^{-1})
Gfloc	-gradiente de velocidade médio na floculação (s^{-1})
Gmr	-gradiente de velocidade médio na mistura rápida (s^{-1})
H	-altura do meio granular (m)
He	-altura do leito expandido (m)
hfe	-perda de carga num leito fluidificado (m)
Ho	-altura do meio granular antes da expansão (m)
hpc	-perda de carga por atrito nos canais formados pelas chicanas (m)
hpv	-perda de carga nas voltas (m)
IW	-índice de Willcomb (mm)
i	-taxa de juros anuais (%aa)
J	-perda de carga unitária (m/m)
KA	-coeficiente de agregação de flocos
KB	-coeficiente de quebra de flocos (s^{-1})
L	-dimensão máxima de uma partícula (mm)
Lt	- comprimento total percorrido pela água (m)
m	-número de câmaras de um floculador
Mg	-massa de grãos no reator (Kg)
N	-concentração total de partículas correspondente a um tempo t de floculação (m^{-3})
n	-coeficiente de expansão de um meio granular
nc	-número de chicanas igualmente espaçadas
Ne	-número de Newton

Ng	-número de grãos no reator
ni	-concentração de partículas tipo i na câmara de floculação (m^{-3})
nj	-concentração de partículas tipo j na câmara de floculação (m^{-3})
n_m	-coeficiente de Manning
No	-concentração total de partículas no início da floculação (m^{-3})
Nr	-número de rotações das paletas do floclador (rpm)
P	-potência dissipada na massa líquida (N.m/s)
Q	-vazão de alimentação do reator (m^3/s)
Re	-número de Reynolds
Rej	-raio externo da paleta j de um floclador (m)
Rh	-raio hidráulico (m)
Rij	-raio interno da paleta j de um floclador (m)
Rmf	-número de Reynolds correspondente à velocidade mínima de fluidificação
S	-superfície específica do grão (m^2/m^3)
T	-tempo total de floculação em reatores de escoamento contínuo(s)
t	-temperatura da água ($^{\circ}C$)
Te	-tempo de detenção no meio granular expandido (s)
Tf	-tempo de floculação em cada câmara de um floclador (s)
Tmr	-tempo de mistura rápida (s)
V	-volume de líquido na câmara de mistura rápida (m^3)
Va	-velocidade de aproximação da água (m/s)
Vc	-volume total ocupado num reator ($V_c = V_v = V_g = m^3$)
Ve	-velocidade entre os grãos do leito expandido (m/s)
Vf	-velocidade máxima de fluidificação (m/s)
Vfl	-volume de uma das câmaras de um floclador (m^3)
Vg	-volume de grãos num reator (m^3)
ve	-velocidade de escoamento entre os grãos (m/s)
V_{ec}	.velocidade de escoamento nos canais formados pelas chicanas (m/s)
V_{ev}	-velocidade de escoamento nas voltas (m/s)
Vi	-velocidade correspondente a porosidade de 100% do meio (mm/s)
Vmf	-velocidade mínima de fluidificação (m/s)

V _{mf}	-velocidade mínima de fluidificação medida (m/s)
V _ℓ	- velocidade limite de queda livre de uma esfera isolada (m/s)
V _s	-velocidade de sedimentação da partícula (meio granular) (mm/s)
v _s	-velocidade de sedimentação da partícula (ensaio de decantação em jarreste ou em sistema piloto) (cm/min)
V _{sm}	-velocidade de sedimentação medida de uma partícula (mm/s)
V _v	-volume de vazios de um meio granular (m ³)
x	-período de amortização (ano)
X _i	-fração do material entre duas peneiras consecutivas na série granulométrica

RESUMO

DALSASSO, R. L. (2005). *Estudo de diferentes materiais para floculação em meio granular precedendo a filtração rápida descendente no tratamento de água para abastecimento.* Florianópolis, 2005. 272p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

A floculação pode ser realizada em meio granular fixo ou expandido, em tempos da ordem de 2 a 5 minutos. A floculação em meio granular expandido surgiu da necessidade de evitar a retenção de sólidos, para manter inalteradas as condições de floculação no reator. A operação necessita de condições hidráulicas em termos de gradiente de velocidade e tempo de floculação, que nem sempre podem ser obtidas utilizando materiais granulares naturais como areia e carvão antracitoso.

Diante dessa necessidade, foram estudados em sistema piloto, composto por floculação e filtração rápida descendente, materiais sintéticos esféricos e não esféricos, com diâmetro entre 3 e 6 mm. Inicialmente as condições hidráulicas dos materiais granulares como expansão e velocidade mínima de fluidificação, foram avaliadas utilizando-se água tratada. A floculação em sistema piloto, precedida de ensaios em jarreste, foi feita com água da lagoa do Peri, caracterizada por valores relativamente baixos de cor e turbidez, e forte presença de fitoplâncton.

Dentre os materiais estudados um foi escolhido para testar a floculação como pré-tratamento à filtração direta descendente. Os resultados mostram que apenas a floculação em meio granular expandido permitiu a autolimpeza dos floculadores. Os materiais utilizados permitiram a obtenção de valores adequados de gradiente de velocidade para produção de flocos. A pré-floculação aumentou a duração das carreiras de filtração em 68% e melhorou a qualidade da água filtrada, quando associada à mudanças no meio filtrante e no coagulante. Um exemplo de comparativo econômico entre floculador mecânico de paletas, hidráulico de chicanas verticais, e de meio granular expandido, mostrou que esse último possui custo 50% menor.

Palavras-chave: floculação granular, filtração direta, tratamento de água, meio expandido, meio fixo, filtração descendente.

ABSTRACT

DALSASSO, R. L. (2005). *Study of different materials for granular media flocculation preceding rapid descending filtration on public supply water treatment.* Florianópolis, 2005. 272p. Thesis (PhD) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

Flocculation can be accomplished in fixed or expanded granular media, in periods of 2 to 5 minutes. Expanded granular media flocculation was created due to the need to avoid solid retention, in order to keep the reactor's flocculation conditions unaltered. Its operation requires certain hydraulic conditions, such as speed gradient and flocculation periods, which cannot always be obtained using natural granular materials, such as sand and anthracite coal.

For this reason/ Therefore, a pilot system was set up, comprising flocculation and rapid descending filtration, spherical and non-spherical synthetic materials, with diameters of 3 and 6 mm. Initially, the granular material's hydraulic conditions, such as expansion and minimum fluidization speed, were evaluated using treated water. Flocculation in the pilot system, preceded by Jar Test analyses, was done using water from Peri Lake, which is characterized by relatively low values of color and turbidity, and a strong presence of phytoplankton.

One of the studied medium was chosen to test the flocculation as a pre-treatment to rapid descending filtration. The results showed that only the flocculation stage that happened in expanded granular media allowed the flocculator's auto cleaning. The materials used allowed the acquisition of flow gradient values adequate to produce flakes. Pre-flocculation increased the duration of the filtering careers by 68% and improved the water quality, when associated to changes in the filtering media and in the coagulant. A comparative economic example between a mechanical paddle flocculator, a hydraulic vertical partition flocculator, and an expanded granular media flocculator showed that the latest has a 50% lower cost.

Keywords: granular flocculation, direct filtration, water treatment, expanded media, fixed media, rapid descending filtration.

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) bilhões de pessoas no mundo continuam sem acesso aos serviços de saneamento básico, incluindo o fornecimento de água tratada. O Brasil reflete bem essa situação e a universalização do acesso ao saneamento básico ainda está longe de ser uma realidade.

Dentre as etapas do tratamento de águas para abastecimento, a floculação é uma das mais importantes. A floculação tem por finalidade aumentar o tamanho das partículas em suspensão na água que será encaminhada aos decantadores, flotores ou filtros. Aplica-se tanto para tratamento de águas, como para efluentes industriais e domésticos.

Flocos bem formados indicam que etapas anteriores do tratamento, como a mistura rápida e a coagulação foram feitas com êxito. Indicam também a possibilidade de elevada eficiência nas etapas subsequentes do tratamento, responsáveis pela remoção da matéria em suspensão.

Em termos de tratamento de água, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicado em 2002, no Brasil predominam os sistemas de tratamento do tipo convencional ou de ciclo completo, nos quais a floculação é necessária, antecedendo a decantação ou a flotação. Sistemas ditos não convencionais de tratamento de água, onde não existe a remoção prévia da matéria em suspensão, como a filtração direta ascendente ou descendente, a dupla filtração, e a filtração lenta, são utilizados em vários países inclusive no Brasil.

A adoção desses sistemas está fortemente condicionada a manutenção de certas características da água bruta, restringindo a sua utilização. Em alguns casos o sistema de tratamento tem sido modificado para convencional em função da deterioração da qualidade dos mananciais.

Os sistemas de tratamento convencionais, apesar da evolução no dimensionamento de unidades como os decantadores e os filtros, apresentam custos de implantação, operação e manutenção relativamente altos comparados aos sistemas não convencionais anteriormente citados, porém são mais adequados ao tratamento de águas com elevada carga de sólidos, matéria orgânica, e às variações destas e outras características.

Os flocladores mecânicos permitem grande flexibilidade operacional, notadamente com relação a automação, mas o custo de operação e manutenção é relativamente alto. Neste sentido os flocladores hidráulicos levam vantagem para países em desenvolvimento (SENDER, 1981; MCCONNACHIE et al., 1999).

O custo da floclação depende essencialmente de dois fatores: o tempo de floclação, aspecto que irá determinar o volume dos tanques, e a energia a ser transferida para a água, aspecto ligado ao gradiente de velocidade para a floclação.

Nos flocladores comumente utilizados, mecânicos com paletas ou turbinas, ou hidráulicos com chicanas, o tempo de floclação varia de 25 a 35 minutos, dependendo de fatores como a qualidade da água e dos produtos químicos utilizados. Os flocladores citados normalmente possuem três ou quatro câmaras em série.

A eficiência da floclação durante um tempo determinado, é tanto maior quanto mais câmaras em séries tiver o floclador. Os flocladores de meio granular possuem um número elevado de câmaras em série, e são considerados de elevada eficiência energética. Por isso, nessas unidades a floclação pode ser feita em tempos reduzidos da ordem de 2 a 5 minutos (SENS, 1997).

A floclação prévia pode melhorar o desempenho de sistemas não convencionais de tratamento como a filtração direta descendente, pela modificação do tamanho e quantidade das partículas que chegam ao filtro, dado que o desenvolvimento da perda de carga no meio filtrante varia na razão inversa do tamanho das partículas retidas (BRANDÃO et al., 1996; DE PÁDUA, 2001). Em geral, para a mesma concentração, as partículas menores geram perda de carga mais elevadas em relação às maiores.

A floclação em meio granular tanto fixo como expandido, foi utilizada inicialmente na Índia (CEPIS, 1984). A partir daí vários estudos foram desenvolvidos com vistas a sua aplicação em pequenos sistemas de tratamento de água e esgotos. Na América Latina os primeiros estudos foram feitos no Brasil pela Sanepar (Companhia de Saneamento do Estado do Paraná), utilizando meio granular fixo, no ano de 1979 (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991). Devido a problemas de colmatação as unidades implantadas pela Sanepar foram desativadas ou passaram a funcionar como filtros de escoamento ascendente em sistemas de dupla filtração.

A floclação em meio granular expandido surgiu da necessidade de manter constantes as condições de floclação no reator. Não havendo retenção de sólidos, a

porosidade do meio granular será mantida, assim como os demais parâmetros que dependem daquele fator. A operação necessita de condições hidráulicas em termos de gradiente de velocidade e tempo de floculação, que nem sempre podem ser obtidas utilizando materiais granulares naturais como areia e carvão antracitoso. Isso ocorre por conta dos valores de massa específica desses materiais, e conseqüentemente da velocidade necessária para fluidificação, permitindo obter apenas certos valores de gradiente de velocidade, não adequados ao tratamento específico.

Diferentes águas floculam sob condições diferentes. As características dos flocos formados variam em função da natureza da matéria em suspensão, dos produtos químicos utilizados, e das condições de floculação. Águas em que a matéria em suspensão é predominantemente de natureza orgânica, como águas de lagos e represas com forte presença de fitoplâncton, geralmente causam problemas aos sistemas de tratamento, seja ele convencional ou não.

Nos sistemas convencionais a dificuldade recai normalmente sobre a remoção dos flocos nos decantadores. Na filtração direta descendente o problema é o rápido crescimento da perda de carga, devido a colmatação do meio filtrante. Em cada caso é necessário que os flocos formados sejam adequados à etapa do tratamento em que ocorrerá a sua remoção.

Diante dessa necessidade, foram estudados materiais sintéticos granulares, esféricos e não esféricos, em sistema piloto, composto por unidades de floculação em meio granular e filtração direta descendente, para tratar água natural captada na lagoa do Peri, na cidade de Florianópolis, no Estado de Santa Catarina.

2 OBJETIVOS

Geral: Estudar diferentes materiais para floculação em meio granular, precedendo a filtração rápida descendente no tratamento de águas para abastecimento.

Específicos:

1. Avaliar as relações entre vazão e diferentes características do meio granular (dimensões, forma, densidade), e a aplicação de uma metodologia para o dimensionamento de flocladores de meio expandido, capaz de proporcionar condições pré-estabelecidas de floculação (tempo e gradiente de velocidade);
2. Estudar diferentes meios granulares e sua aplicabilidade na produção de flocos;
3. Projetar uma unidade de floculação de meio granular expandido, para uma ETA hipotética, apresentando análise de custos e comparando com outros tipos de flocladores;
4. Avaliar através de sistema piloto o desempenho da filtração direta descendente com e sem pré-floculação;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

Neste item são apresentados os aspectos teóricos gerais sobre os processos de coagulação e floculação, e a fundamentação teórica da floculação em meio granular. Também são apresentados aspectos sobre decantação e filtração, pois esses processos permitem avaliar a eficiência da floculação. É dedicada especial atenção a realização da floculação antecedendo a filtração direta descendente.

O parâmetro mais importante envolvido no processo de floculação é o gradiente de velocidade, usualmente calculado através da expressão deduzida por Camp & Stein. Para um meio expandido o cálculo do gradiente pode ser feito através da equação proposta por SENS & MARTIN (1992), incorporando a equação de CAMP & STEIN à equação de ERGUN deduzida originalmente para o cálculo da perda de carga.

Em floculadores granulares o gradiente de velocidade depende de variáveis como: a perda de carga, a porosidade, a velocidade da água, as características do material granular, entre outras. Por esse motivo o estudo da floculação em meio granular, além das condições físico-químicas de coagulação e floculação, deve conter uma avaliação hidráulica detalhada do sistema.

3.2 Coagulação - Floculação

Através da coagulação-floculação ocorre o aglutinamento de partículas em pequenas massas ou flocos, com peso específico maior que o da água, suscetíveis de remoção por filtração ou decantação. Permite remover partículas cujos tamanhos variam entre 0,001 e 10 μm , incluindo nessa faixa as partículas coloidais e algumas partículas suspensas. Em geral esse processo é utilizado para remover: turbidez, cor, bactérias, vírus e outros organismos, fitoplâncton, substâncias causadoras de odor e sabor.

Com base em ensaios laboratoriais é possível otimizar diversas etapas do tratamento. A realização da coagulação e da floculação com a otimização dos parâmetros T (tempo), G (gradiente de velocidade), e pH, pode conduzir a utilização de menores dosagens de produtos químicos. Melhores condições de floculação implicam em melhor sedimentação de partículas nos decantadores, ampliação das carreiras de filtração, e conseqüentemente menor volume de água de lavagem dos filtros.

Além dos aspectos citados, a escolha de produtos químicos alternativos (coagulantes naturais, coagulantes mais eletropositivos), o controle de qualidade dos produtos químicos, a recuperação da água de lavagem dos filtros, a manutenção preventiva do sistema produtivo, e a automação, também podem contribuir para a redução da geração de lodo.

GREGORY & DUPONT (2001), fizeram um estudo comparativo em Jarreste utilizando Sulfato de Alumínio – S.A e três tipos também comerciais de hidroxiclreto de alumínio – PAC. Monitoraram opticamente a dinâmica de formação e quebra de flocos. Para todos os tipos e dosagens de PAC utilizados, verificaram em relação ao S.A : produção de flocos maiores e mais resistentes, formação de menores volumes de lodo (15% menos) , água decantada com menores valores de turbidez.

A propósito a utilização de ácido sulfúrico para ajustar o pH de coagulação, ao invés de utilizar dosagens maiores de sulfato de alumínio, pode reduzir tanto a geração de lodo como os custos de produção (USEPA, 1999).

3.2.1 Coagulação

Considerando que a água bruta contém no seu interior suspensões e sistemas coloidais, responsáveis respectivamente pela turbidez e cor, torna-se necessário remover esses colóides, para o que se deve desestabilizá-los. Isto é feito através de processos químicos, mediante a adição de coagulantes e eventualmente produtos auxiliares. A coagulação tem início assim que o coagulante é adicionado na água e dura frações de segundos. Consiste basicamente numa série de interações físicas e químicas envolvendo o coagulante, a superfície das partículas e algumas substâncias químicas presentes na água, especialmente as que lhe conferem alcalinidade, e a própria água. (VIANNA, 1997).

A coagulação pode ser considerada como o resultado da ação de quatro mecanismos distintos: a) compressão da dupla camada; b) adsorção-neutralização; c) varredura; d) adsorção-formação de pontes. Conforme citado em FERREIRA (1997), o mecanismo de compressão da dupla camada é o menos importante do ponto de vista prático no processo de tratamento de água. A desestabilização de partículas coloidais através do mecanismo de ponte interparticular, ocorre somente quando da utilização de polímeros naturais ou sintéticos como agentes coagulantes.

Segundo AMIRTHARAJAH (1982), a desestabilização de colóides na água ocorre predominantemente nos mecanismos de adsorção-neutralização e varredura. A desestabilização por neutralização, mecanismo desejado quando se aplica a filtração direta, exige que a mistura rápida seja feita com muita energia (número de Camp: $Ca = GT \geq 30.000$), e durante tempo muito pequeno, isto porque os produtos da hidrólise de sais como os de alumínio, que podem combinar-se com os colóides, se desenvolvem num curto espaço de tempo (0,01 a 1,0 s).

3.2.2 Floculação

De forma elementar, a floculação consiste nas colisões de partículas desestabilizadas (mecanismo de adsorção-neutralização), ou através de colisões entre colóides e partículas floculentas, formadas pela presença de hidróxidos devido à adição de coagulantes inorgânicos (mecanismo da varredura).

No processo de floculação faz-se distinção entre floculação pericinética e ortocinética. Em geral todas as partículas estão submetidas a esses dois tipos de floculação, porém, para partículas pequenas ($< 1\mu\text{m}$) predomina o movimento browniano, e portanto, a floculação pericinética. Nesse caso, as moléculas de água, devido a energia térmica, proporcionam movimentos erráticos das partículas, favorecendo a colisão entre as mesmas.

Por outro lado, para partículas maiores, a floculação ortocinética, criada pelas diferenças de velocidades dentro do líquido, tanto em regime laminar como no turbulento, é a que tem maior importância (SENDER, 1981). DHARMAPPA et al. (1993), ressaltam a importância da distribuição do tamanho das partículas primárias na otimização da floculação. Após comparar três casos de estudo, de águas preparadas com suspensões de caulinita, com diâmetros efetivos $0,3\mu\text{m}$, $1,8\mu\text{m}$, $3,5\mu\text{m}$ e coeficientes de desuniformidade 10, 2,78 e 2,86, respectivamente, os autores concluíram que melhores resultados são obtidos quando as partículas são distribuídas de forma mais desuniforme e possuem diâmetros maiores.

As experiências comprovam que é necessário promover uma mistura de grande intensidade, de maneira que o coagulante seja distribuído de forma homogênea em toda massa líquida, obtendo uma floculação eficiente. Essa mistura intensa não perturba o movimento Browniano, sendo esse superado pela floculação ortocinética, caracterizada

pela maior probabilidade de colisões entre as partículas, o que facilita a agregação (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

VON SMOWLUCHOWSKI citado em AYOUB(1996), propôs a equação 3.1 para descrever a taxa de colisões por unidade de tempo entre as partículas na floculação.

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = \frac{1}{6} n_i n_j (d_i + d_j)^3 G \quad \text{Equação 3.1}$$

onde: dN_{ij}/dt = taxa de colisões entre partículas do tipo i e do tipo j (s^{-1}); n_i e n_j = concentrações das partículas i e j, respectivamente, por unidade de volume (m^{-3}); d_i e d_j = diâmetros das partículas i e j, respectivamente (m); G = gradiente de velocidade médio (s^{-1}).

As partículas tipo “i” podem ser partículas desestabilizadas responsáveis pela cor ou turbidez, e as partículas tipo “j” podem ser os flocos.

O gradiente de velocidade médio, G , pode ser calculado pela equação 3.2 de CAMP & STEIN (apud RICHTER & AZEVEDO NETTO,1991).

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad \text{Equação 3.2}$$

onde: P = potência dissipada na massa líquida (N.m/s); V = volume de líquido na câmara de mistura (m^3); μ = coeficiente de viscosidade dinâmica (N.s/m²).

A potência P pode ser calculada em função da perda de carga em dispositivos de mistura hidráulica, seja em condições de fluxo laminar ou turbulento, tornando a equação 3.2 muito útil no cálculo dos floculadores e dos sistemas de veiculação de água floculada.

Combinando as equações 3.1 e 3.2 resulta:

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = \frac{1}{6} n_i n_j (d_i + d_j)^3 \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad \text{Equação 3.3}$$

A equação 3.3 indica que o número de colisões por unidade de tempo e de volume na massa líquida aumenta em função do número e do tamanho das partículas, da potência útil introduzida e da temperatura do líquido, pois a viscosidade muda com a temperatura.

A partir das relações representadas pela equação 3.3, diversos autores propuseram expressões para descrever o processo de floculação ortocinética, relacionando o tempo de floculação e o gradiente de velocidade.

FAIR, GEYER & OKUN propuseram que o produto do gradiente de velocidade pelo tempo de detenção ($G.T = Ca =$ número de Camp) constitui um parâmetro auxiliar no desenvolvimento de unidades de dispersão de coagulantes e de floculação, entretanto THOMAS et al. (1999), ressaltam que este parâmetro por si só não é suficiente para categorizar a floculação, por que não leva em conta o fenômeno de quebra dos flocos.

O número de Camp é adimensional e representa a probabilidade do número de colisões entre partículas floculentas. O valor de G está associado ao consumo de energia e o de T à dimensão do floclador ou câmara de floculação, sendo dois parâmetros econômicos muito importantes (SENS, 1997).

Na teoria para valores iguais ao número de Camp (Ca) em diferentes instalações, a probabilidade de que ocorram choques entre as partículas é a mesma, portanto, para valores elevados de G e baixos de T ou vice-versa, o desempenho das unidades seria similar. A experiência mostra que nem sempre isso ocorre, sendo necessário realizar ensaios em cada caso para se determinar os valores mais adequados de G e T (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

ARGAMAN & KAUFMAN (apud RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991) definiram o modelo teórico que representa a velocidade de agregação ou taxa de crescimento dos flocos como:

$$\frac{dN_A}{dt} = -K_A \cdot N \cdot G \quad \text{Equação 3.4}$$

e o modelo para a ruptura (KAUFMAN apud RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991)

$$\frac{dN_B}{dt} = K_B \cdot N_0 \cdot G^2 \quad \text{Equação 3.5}$$

Combinando os efeitos de agregação e quebra dos flocos, ARGAMAN & KAUFMAN (apud SENS, 1997) propuseram calcular a variação do número de partículas por unidade de volume conforme:

$$\frac{dN}{dt} = -K_A \cdot N \cdot G + K_B \cdot N_0 \cdot G^2 \quad \text{Equação 3.6}$$

onde: N_0 = concentração de partículas primárias ao entrar no floculador (m^{-3}); N = concentração de partículas primárias em relação ao tempo T (m^{-3}); K_A = constante de agregação (adimensional); K_B = coeficiente de ruptura (s^{-1}).

Integrando-se a equação 3.6 entre ($t = 0$; $N = N_0$) e ($t = T$; $N = N$), tem-se a equação 3.7 válida para apenas um reator:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1 + K_B \cdot G^2 \cdot T}{1 + K_A \cdot G \cdot T} \quad \text{Equação 3.7}$$

Admitindo que os coeficientes K_A e K_B mantenham-se constantes em um floculador com “ m ” câmaras em série completamente misturadas, em um tempo de detenção total T , e aplicando a teoria de reatores em série, tem-se:

$$\frac{Nm}{N_0} = \frac{1 + K_B G^2 \frac{T}{m} \sum_{i=0}^{i=m-1} (1 + K_A \frac{GT}{m})^i}{(1 + K_A \frac{GT}{m})^m} \quad \text{Equação 3.8}$$

onde: m = número de câmaras em série que integram o floculador; Nm = concentração de partículas saindo da última câmara de floclulação (m^{-3}); T = tempo médio de floclulação (s).

BRATBY et al. (1977) demonstrou que a relação equivalente para um ensaio de coagulação ou um reator de fluxo pistão ($m \rightarrow \infty$) é a seguinte:

$$\frac{No}{Nm} = \left[\frac{KB}{KA} \cdot G + \left(1 - \frac{KB}{KA} \cdot G \right) e^{-KA \cdot G \cdot T} \right]^{-1} \quad \text{Equação 3.9}$$

Os valores de gradiente de velocidade normalmente aplicados em tratamento de águas estão entre 75 e 20 s⁻¹. Nessa faixa de valores verifica-se que o fator de ruptura de flocos é pequeno, da ordem de 1000 vezes menor que o de agregação, podendo-se simplificar a equação 3.8 isolando T, resultando:

$$T = \frac{m}{KA \cdot G} \left[\left(\frac{No}{Nm} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] \quad \text{Equação 3.10}$$

A porosidade do floco cresce com o seu volume (DHARMAPPA et al., 1993; THOMAS et al., 1999). ARGAMAN & KAUFMAN observaram que o diâmetro de um floco pode crescer até certo valor máximo. Quanto maior o gradiente de velocidade G, menor o tamanho do floco e maior a sua densidade. Destacam ainda que a eficiência global possa ser obtida em tempos cada vez menores, à medida que se aumenta o número m de câmaras em série, conforme equações 3.8. Os autores concluíram também que:

- ✓ Para um dado tempo T de floculação, a eficiência cresce quase linearmente com o gradiente de velocidade G até um valor máximo. A partir daí qualquer incremento de G faz diminuir a eficiência.
- ✓ Para uma eficiência dada, existe um tempo de residência mínimo. O gradiente G* associado a esse tempo T constitui um valor ótimo para uma eficiência dada. Qualquer outro valor de G*, maior ou menor, dará uma eficiência menor.

Em um estudo experimental em Jarteste, ANDREW VILLEGAS & LETTERMAN (apud SENDER, 1981) verificaram que entre um dado gradiente de velocidade G* e um tempo de floculação T, os melhores resultados são obtidos quando:

$$(G^*)^n \cdot T = K \quad \text{Equação 3.11}$$

onde: n e K são fatores que dependem da dosagem de coagulante, pH de coagulação, e qualidade da água, sobretudo das características dos colóides. Os autores encontraram $n = 2,8$ e $k = 4,9 \times 10^5$; $1,9 \times 10^5$; e $0,7 \times 10^5$ para doses de sulfato de alumínio de 10 mg/L; 25mg/L e 50 mg/L respectivamente.

A equação 3.11 mostra que quando o período de floculação tende para valores elevados, o valor de G tende para zero, porém estudos realizados por MENDES (1989), não mostraram o comportamento sugerido. O autor citado desenvolveu uma série de ensaios em Jarreste utilizando águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis. Em seus estudos com tempos T de floculação de até 100 min. observou que, aumentando T o valor G decrescia até um valor mínimo, abaixo do qual as eficiências de remoção da turbidez eram prejudicadas. Com base em seus estudos concluiu sobre a existência de um gradiente de velocidade mínimo (G'), abaixo do qual não são caracterizadas as condições ótimas de floculação para um dado período T de floculação, e propôs a equação 3.12 para representar os parâmetros ótimos de floculação.

$$(G^* - G')^n \cdot T = K \quad \text{Equação 3.12}$$

Reescrevendo a Equação 3.11, e fazendo $1/n = k$ e $K' = K^k$ resulta:

$$G^* = K' \left(\frac{1}{T} \right)^k + G' \quad \text{Equação 3.13}$$

A Equação 3.13 representa uma reta, e plotando G' contra $(1/T)^k$, para cada valor de k é possível obter pelo método dos mínimos quadrados, os valores de K' e G' .

3.2.3 Tipos de floculadores

Os sistemas de floculação podem ser classificados de forma simplificada em mecânicos e hidráulicos. De uma maneira mais ampla podem ser divididos em floculadores de potência ou de dissipação (hidráulico, mecânico ou pneumático) e floculadores de contato em manta de lodo. Dentre os que utilizam potência hidráulica encontram-se:

- ✓ Floculadores de chicanas com escoamento horizontal ou vertical;

- ✓ Floculadores de malhas ou telas;
- ✓ Floculadores de escoamento helicoidal;
- ✓ Floculadores tipo “cox” e tipo “alabama”;
- ✓ Floculadores em meio granular.

Os sistemas de floculação mecanizada se distinguem basicamente pelo tipo de movimento: giratório e alternativos (ou oscilantes):

- ✓ Floculadores giratórios: de eixo vertical ou horizontal com paletas que operam a baixas velocidades de rotação ou com turbinas que operam com velocidades relativamente altas;
- ✓ Floculadores alternativos: apresentam dois tipos básicos conhecidos por “Walking Beam” (velocidade angular constante) e “Ribbon Flocculator” (velocidade angular de uma função senoidal).

Os floculadores pneumáticos utilizam a injeção de ar difuso através de compressores ou sopradores de ar para produzir pequenas bolhas a fim de provocar a flotação das partículas floculentas.

Os floculadores de contato de sólidos ou em mantas de lodo têm como princípio a precipitação das partículas em suspensão por meio do lodo recém coagulado, sendo controlados pela concentração de sólidos presentes no meio líquido.

As principais vantagens dos floculadores hidráulicos sobre os mecanizados é que os primeiros não dependem de equipamentos e manutenção eletromecânica, nem de energia elétrica. Além do mais, para pequenas variações de vazão, os floculadores hidráulicos sofrem um auto ajuste pela redução do gradiente de velocidade e aumento do tempo de floculação, o que dentro de certos limites, não prejudicando a operação. A desvantagem dos floculadores hidráulicos é a dificuldade de alterar valores do gradiente de velocidade sem alterar a vazão.

3.2.4 Aspectos econômicos no dimensionamento de floculadores

O custo de um floculador está diretamente ligado ao seu volume e suas necessidades operacionais, dentre elas, manutenção e consumo de energia. Sendo assim, pode-se inicialmente relacionar o custo de um floculador com dois parâmetros hidráulicos utilizados no seu dimensionamento, que são: o Gradiente de velocidade médio (G) e o tempo médio de floculação (T). Quanto maior o valor de G mais energia

deve ser fornecida à unidade. Essa energia pode ser fornecida por agitadores mecanizados ou ser resultado da dissipação de uma carga hidráulica previamente estabelecida. Quanto maior o valor de T, maior o volume útil do floculador. Os custos podem ser anualizados e representados pela soma dos custos de capital com os custos de manutenção e operação. Mesmo para os floculadores hidráulicos deve-se computar o custo de energia equivalente a perda de carga na unidade.

A escolha do sistema de floculação que tenha o menor custo possível, será fruto de uma análise mais abrangente do sistema de tratamento, levando em conta aspectos como: qualidade da água a ser tratada, vazão e tipo de ETA.

DHARMAPPA et al. (1993), estudaram a otimização de projetos de floculadores através de um modelo matemático, buscando, dentro de uma faixa pré-estabelecida, valores de G e T que minimizem os custos de capital, manutenção e operação para floculadores mecanizados. Os estudos foram feitos para três águas sintéticas contemplando diferentes faixas de distribuição e tamanhos de partículas. Concluíram que os menores custos foram para valores de T até 25 minutos e G até 35 s^{-1} , e para a água com partículas maiores e com faixa mais ampla de distribuição de tamanhos. O tempo de floculação é mais sensível as variações da eficiência da floculação do que as variações do gradiente de velocidade. Recomendam dar ênfase ao tipo de produto químico, a dosagem, ao tempo e gradiente de velocidade na mistura rápida, para redução dos custos. Saliendam que a eficiência na agregação das partículas é mais elevada quando a desestabilização ocorre pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas.

De um modo geral os floculadores hidráulicos apresentam menor custo, comparados aos mecanizados. Segundo RICHTER & AZEVEDO NETTO (1991), os floculadores hidráulicos de chicanas de fluxo horizontal demandam grandes áreas e, portanto, a não ser em algum projeto de ETA de pequeno porte, possuem custos superiores aos de fluxo vertical. Esses últimos, podem ser utilizados em sistemas de tratamento de água com capacidade desde 25 L/s até 1000 L/s. Os autores ressaltam ainda, que nos floculadores hidráulicos o aproveitamento energético é superior ao obtido nos mecanizados, onde as perdas por atrito e por indução podem ser superiores a 100% da energia útil aplicada na água. Nos floculadores hidráulicos e mecânicos de uso mais frequente, a floculação ocorre em regime turbulento.

A floculação pode ser feita entretanto em regime laminar ou bastante próximo dele, onde caracteriza-se a existência de uma menor escala de turbulência, tal como ocorre na floculação em meio granular.

SNEL & ARBOLEDA (1982), salientam que é necessário a dissipação de uma grande energia em uma ampla escala de turbulência, para produzir o mesmo gradiente que se consegue com um mínimo de energia, se a escala de turbulência é pequena.

3.3 Floculação em meio granular

A floculação em meio granular desperta bastante interesse por suas possibilidades de aplicação, principalmente em estações de tratamento de água de pequeno porte, devido a sua eficiência e compacidade. Um meio granular pode ser considerado como um floculador hidráulico com um número “m” elevado de câmaras (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991). A equação 3.10 mostra que a eficiência de um reator de floculação é tanto mais elevada quanto maior for o número de câmaras dispostas em série. O tempo T de floculação necessário para se obter um resultado preestabelecido N_0/N_m tende ao valor limite, e a equação 3.10 torna-se:

$$T = \frac{1}{KA.G} \ln\left(\frac{N_0}{N_m}\right) \quad \text{Equação 3.14}$$

A potência para um sistema hidráulico de floculação pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$P = \rho \cdot ve \cdot \Delta h \cdot g \cdot A \quad \text{Equação 3.15}$$

onde: ρ = massa específica da água (Kg/m^3); ve = velocidade de escoamento entre os grãos (m/s) [$ve = Va/\epsilon$ sendo: Va = velocidade de aproximação da água (m/s) e ϵ = porosidade do meio granular]; A = seção de escoamento (m^2).

O gradiente de velocidade está associado à potência dissipada P, a qual é função da perda de carga Δh . Pela equação de ERGUN para perda de carga, obtém-se o gradiente de velocidade para um floculador hidráulico granular combinando-se as equações 3.2 e 3.15 (SENS, 1991):

$$G = \sqrt{\frac{\rho.v_i.\Delta h.g.A}{\mu.V}} = \sqrt{\frac{\gamma.v_i.J}{\mu}} \quad \text{Equação 3.16}$$

Para um reator granular, onde $v_i = Va/\epsilon$ e $\gamma = \rho.g$

$$G = \sqrt{\frac{\gamma.Va.J}{\epsilon.\mu}} \quad \text{Equação 3.17}$$

onde: γ = peso específico da água (N/m^3); μ = coeficiente de viscosidade dinâmica da água ($N.s/m^2$); ϵ_o = porosidade do meio granular; Va = velocidade de aproximação (m/s); J = perda de carga unitária (m/m).

O tempo de detenção para um flocculador granular pode ser calculado pela expressão seguinte:

$$T = \frac{H.\epsilon}{Va} \quad \text{Equação 3.18}$$

onde: H = altura do meio granular (m); T = tempo de floculação.

A perda de carga unitária em um meio granular, determinada pela expressão de ERGUN, é válida para qualquer regime de escoamento, desde que não ocorra fluidificação e o número de Reynolds esteja compreendido entre 1 e 2000 (DI BERNARDO, 1993).

$$J = 150.\frac{\mu}{\gamma}.\frac{(1-\epsilon_o)^2}{\epsilon_o^3}.\left(\frac{S}{6}\right)^2.Va + 1,75.\frac{(1-\epsilon_o)}{\epsilon_o^3}.\left(\frac{S}{6}\right).\frac{Va^2}{g} \quad \text{Equação 3.19}$$

onde: S = superfície específica média dos grãos (m^3/m^2). Para grãos esféricos, $S = 6/d$, sendo d o diâmetro do grão (m).

SENS (1992) em seus estudos, combinando as equações de ERGUN para a perda de carga, da potência hidráulica P e do gradiente de velocidade G de CAMP &

STEIN, deduziu as equações 3.20 e 3.21 para o cálculo de G e Ca para um reator granular, respectivamente:

$$G = \left[150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon_o)^2}{\varepsilon_o^4} \cdot \left(\frac{S}{6}\right)^2 \cdot Va^2 + \frac{1,75}{\nu} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_o)}{\varepsilon_o^4} \cdot \left(\frac{S}{6}\right) \cdot Va^3 \right]^{1/2} \quad \text{Equação 3.20}$$

$$Ca = \left[150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon_o)^2}{\varepsilon_o^2} \cdot \left(\frac{S}{6}\right) + \frac{1,75}{\nu} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_o)}{\varepsilon_o^2} \cdot \left(\frac{S}{6}\right) \cdot Va \right]^{1/2} \cdot Ho \quad \text{Equação 3.21}$$

onde: ν = coeficiente de viscosidade cinemática da água (m^2/s); Ho = altura do leito fixo (m); Ca = número de Camp ($Ca = G.T$).

Em um floculador granular, dependendo da granulometria e da velocidade de escoamento, a porosidade pode mudar durante o tratamento. A porosidade do meio granular esférico homogêneo é sempre a mesma, mas os tamanhos das cavidades formados entre os grãos cresce com o diâmetro dos mesmos. Assim, se as cavidades são maiores, os depósitos de flocos no leito serão menos significativos. Para construir um floculador procura-se diminuir o volume ocupado pelos grãos, isto é, aumentar a porosidade sem diminuir o número de cavidades. Quanto maior a porosidade, menor o volume total do floculador. Para o mesmo volume de reator, quanto maior for o número de cavidades, mais se aproxima da teoria de um grande número de reatores em série.

3.3.1 Características dos materiais granulares

Os materiais utilizados em floculadores granulares nem sempre possuem formas geométricas regulares. Determinadas características, como a área superficial, esfericidade, diâmetro e porosidade, são de fundamental importância, pois estão relacionadas com fenômenos físicos e químicos durante a floculação.

Para a determinação do diâmetro representativo de uma partícula de forma geométrica irregular, algumas equações tem sido propostas. PEARSON & MCDONNELL (apud SENDER, 1981), propõem a adoção do diâmetro nominal “ d_n ”, definindo-o como sendo o diâmetro de uma esfera que tem o volume equivalente ao volume da partícula, podendo ser calculado pela expressão seguinte:

$$dn = \frac{1,24}{\frac{1,19}{L} + \frac{0,35}{\lambda}} \quad \text{Equação 3.22}$$

onde: L = dimensão máxima da partícula (mm); ℓ = dimensão mínima da partícula (mm).

CLEASBY (1981), DI BERNARDO et al. (2003), definem diâmetro equivalente “deq” como sendo o diâmetro de uma esfera que tem o volume equivalente ao volume da partícula, e esse último autor apresenta a seguinte equação para o cálculo daquele diâmetro:

$$deq = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{Xi}{D_{imed}}} \quad \text{Equação 3.23}$$

onde: deq = diâmetro equivalente (mm); X_i = fração do material entre duas peneiras consecutivas da série granulométrica, no caso do material granular não uniforme; D_{imed} = tamanho médio correspondente a cada subcamada do meio granular, dado pela média geométrica das aberturas das duas peneiras consideradas (mm).

Ainda de acordo com os últimos autores, pode-se determinar o diâmetro volumétrico médio “dv” de uma partícula, através do método gravimétrico e a seguinte equação:

$$dv = \sqrt[3]{\frac{6.M_g}{\pi.\rho_s.N_g}} \quad \text{Equação 3.24}$$

onde: M_g = massa dos grãos (Kg); N_g = número de grãos; ρ_s = massa específica dos grãos (Kg/m³).

Superfície específica do grão “S”(m²/m³), é a relação entre a área superficial e o volume do grão. Para grãos esféricos, S é dado pela equação 3.25, e para grãos não esféricos, pela equação 3.26 (CLEASBY, 1981).

$$S = \frac{6}{d_{eq}} \quad \text{Equação 3.25}$$

$$S = \frac{6}{\psi \cdot d_{eq}} \quad \text{Equação 3.26}$$

onde: Ψ = coeficiente de esfericidade da partícula ou fator de forma (adim.).

Coeficiente de esfericidade é a relação entre a área superficial de uma esfera com o mesmo volume que o grão, e a área superficial do grão. Conforme descrito em RICHTER & AZEVEDO NETTO(1998), a esfericidade pode ser calculada em função da alongação “E” e da excentricidade “e” da partícula, dadas pelas seguintes equações:

$$E = \frac{L}{d_n} \quad \text{Equação 3.27}$$

$$e = \sqrt{1 - E^{-4}} \quad \text{Equação 3.28}$$

$$\psi = \frac{4}{\left[2.E^2 + \frac{\ln[(1+e)/(1-e)]}{e.E^4} \right]} \quad \text{Equação 3.29}$$

onde: E = alongação da partícula (adim.); e = excentricidade da partícula (adim.)

A porosidade é a relação entre o volume de vazios e o volume total do meio granular (vazios + grãos). A determinação dessa grandeza pode ser feita volumetricamente utilizando-se uma amostra representativa do material e um recipiente de volume aferido. O resultado é expresso pela equação:

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V_c} \quad \text{Equação 3.30}$$

onde: ε = porosidade do meio granular (adim.); V_v = volume de vazios; V_c = volume total ocupado no recipiente (volume dos grãos + V_v)

3.4 Floculação em meio granular expandido

Em uma série de estudos tem sido relatada a elevada eficiência da floculação em meio granular fixo, entretanto, nesses estudos tem sido ressaltado o efeito filtrante dessas unidades, sobretudo com a utilização de águas contendo elevada carga de sólidos. A partir dessas observações alguns estudos com a floculação em meio granular expandido passaram a ser desenvolvidos. De acordo com SENS (1995), nessa floculação a expansão do material granular, que tem densidade levemente superior a da água, pode ser muito pequena, de forma que os grãos permaneçam ainda muito próximos uns dos outros, garantindo a eficiência da operação.

A fluidificação é um fenômeno de deslocamento de partículas sólidas pela corrente líquida. As partículas movem-se desordenadamente no interior da massa líquida. O crescimento da vazão implica numa expansão da camada de grãos, provocando um crescimento da energia potencial.

Segundo PEREIRA (2000), a fluidificação total de um meio granular ocorre quando a perda de carga no leito permanece praticamente constante, independente do aumento da velocidade de aproximação.

3.4.1 Perda de Carga

Em 1948, WILHELM & KWAIK (apud SENS, 1997) equacionaram a perda de carga em função da massa de grãos do reator, das massas específicas do grão e da água, e da área da secção transversal do reator, aqui apresentada com algumas transformações de unidades.

$$\Delta h_e = \frac{Mg}{\rho_s \cdot D^3 \cdot He \cdot \pi^2 \cdot 2500} (\rho_s - \rho) \cdot g$$

Equação 3.31

onde: Δh_e = perda de carga no meio expandido (m); D = diâmetro interno do reator (m); π = constante (Pi); Mg = massa das partículas do leito (Kg); ρ_s = massa específica do material granular (Kg/m³); ρ = massa específica da água (Kg/m³); g = aceleração da gravidade (m/s²); He = altura do leito expandido (m); 2500 = constante para

transformação de unidades

Conforme DI BERNARDO et al. (2003) a condição de equilíbrio, quando o leito encontra-se completamente fluidificado a perda de carga passa a ser constante e pode ser expressa por:

$$\Delta h_e = \frac{Ho(\rho_s - \rho).(1 - \varepsilon_o)}{\rho} \quad \text{Equação 3.32}$$

onde: Ho = altura do leito fixo (m); ε_o = porosidade no leito fixo.

Segundo DI BERNARDO (1993), para grãos de areia ou antracito com tamanho maior que 1mm e velocidades ascensionais superiores a 0,20 m/min (estudo de lavagens de filtros), o regime de escoamento pode resultar em transição ou turbulento, invalidando a aplicação da equação de Carman-Kozeny. A equação de ERGUN pode ser utilizada para qualquer regime de escoamento, desde que o número de Reynolds, dado pela equação $\{Re = (1/\mu) \cdot \rho \cdot Va \cdot d\}$, esteja compreendido entre 1 e 2000. As velocidades para o caso em estudo são pequenas, porém o diâmetro do grão é grande em relação aos diâmetros normalmente adotados para filtros de areia.

A Equação 3.19 de ERGUN pode ser usada para os cálculos de perda de carga nos experimentos, por ser uma fórmula que serve a qualquer regime de escoamento, e aplicável no leito fixo até o momento da expansão. A Figura 3.1, extraída de DI BERNARDO et al. (2003), ilustra como se comporta a perda de carga em um leito expandido. No ponto B há curvas de dois meios granulares que, em decorrência da compactação estão localizados acima da linha ideal; pode ocorrer de a curva real situar-se abaixo da ideal, em razão da não uniformidade dos grãos, da esfericidade ou da formação de caminhos preferenciais no escoamento ascensional. A partir do ponto C, a perda de carga permanece praticamente constante, independentemente do aumento da velocidade ascensional, já que o meio está totalmente fluidificado.

De acordo com SENS (1997), para materiais com baixa densidade, quando ocorre a expansão do material, a perda de carga cresce formando uma curvatura cujo ápice está acima da velocidade mínima de fluidificação, posteriormente decresce para em seguida permanecer constante. Quanto menor a densidade do grão mais acentuada e

mais longa será a curvatura. Para grãos muito densos, como é o caso da areia, a perda de carga cresce proporcionalmente até a expansão para quase que instantaneamente decrescer e permanecer constante.

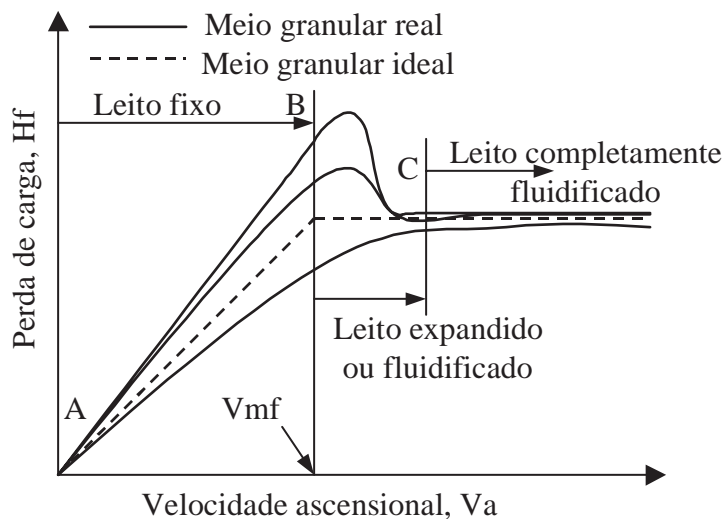


Figura 3-1 - Gráfico Ilustrativo do Comportamento da Perda de Carga em Função da Velocidade Ascensional

3.4.2 Velocidade Mínima de Fluidificação (V_{mf})

A passagem do estado fixo ao estado fluidificado corresponde a uma velocidade mínima de fluidificação V_{mf} . A maioria das equações que permitem o cálculo da velocidade mínima de fluidificação, utilizam correlações relativas ao estado fixo ou ao estado fluidificado, principalmente entre a porosidade e a velocidade de escoamento do líquido.

A relação mais utilizada é a relação de NARSIMMAN (apud SENS, 1997) que se refere ao estado fixo do meio, dando a perda de carga por unidade de comprimento (altura da camada) com a ajuda da equação de ERGUN. Assim, a velocidade mínima de fluidificação é:

$$V_{mf} = \frac{g(\rho_s - \rho)deq^2 \cdot \epsilon_o^3}{180\mu(1 - \epsilon_o)} \quad \text{Equação 3.33}$$

onde: deq = diâmetro equivalente do grão (m); μ = coeficiente de viscosidade dinâmica da água ($N \cdot s/m^2$).

A equação proposta necessita do conhecimento da porosidade antes da fluidificação ou

da expansão. Para um leito homogêneo com esferas quase idênticas como meio granular ($\epsilon_0 = 0,38$).

WEN & YON (apud DI BERNARDO, 1993; RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991) propuseram uma relação que permite o cálculo da velocidade mínima de fluidificação sem o conhecimento da porosidade ϵ_0 .

$$V_{mf} = \frac{v}{d_{eq}} \left[\sqrt{1135 + 0,0408 \cdot Ga} - 33,7 \right] \quad \text{Equação 3.34}$$

onde: v = coeficiente de viscosidade cinemática da água (m^2/s)

O número de Galileu é dado pela expressão seguinte:

$$Ga = \frac{d_{eq}^3 \cdot \rho(\rho_s - \rho)g}{\mu^2} \quad \text{Equação 3.35}$$

3.4.3 Velocidade Máxima de Fluidificação

A velocidade máxima de fluidificação é a velocidade limite de queda livre dos grãos. A importância do conhecimento desta velocidade está em saber qual o valor de velocidade de aproximação ascensional que arrasta os grãos. A resultante das forças que exercem sobre um grão ou partícula permite aplicar, expressando a força de arraste em função da energia cinética específica do líquido, o critério de NEWTON, (JABBOURI, 1988 apud SENS, 1997)

$$Ne = \frac{4 \cdot d_{eq}(\rho_s - \rho)g}{3 \cdot \rho \cdot V_f^2} \quad \text{Equação 3.36}$$

onde: V_f = velocidade máxima de fluidificação (m/s); Ne = número de Newton

A análise dimensional mostra que a relação entre os diferentes parâmetros que caracterizam o sistema deve ser colocados sob a forma de uma relação geral entre dois critérios adimensionais, o Ne (número de Newton) e Re (número de Reynolds):

$$Ne = \frac{a}{Re^n} \quad \text{Equação 3.37}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot Va \cdot d}{\mu} \quad \text{Equação 3.38}$$

A combinação das equações 3.36, 3.37 e 3.38, fica:

$$Vf^{2-n} = \frac{4 \cdot deq^{1+n} \cdot (\rho_s - \rho) \rho^{n-1} \cdot g}{3 \cdot \mu^n \cdot a} \quad \text{Equação 3.39}$$

Para facilitar o uso da equação 3.39, introduz-se dois outros números adimensionais:

$$x(d) = Ne \cdot Re^2 \quad \text{e} \quad y(Va) = Re/Ne.$$

Os valores de “a” e “n” são tirados em função dos valores de x (d) e y (Va) e de Re, de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3-1 - Valores de a e n

Re	y (Va)	x (d)	a	n
< 1	< 1/24	< 24	24	1
> 1000	> 2270	44 x 10 ⁴	0,44	0
entre estes dois valores			18,5	0,6

3.4.4 Expansão do Leito

A maioria dos estudos sobre expansão de um leito granular foram efetuados para estudar o comportamento hidrodinâmico nas lavagens de filtros de areia.

3.4.4.1 Modelo de Feixe de Poros

O escoamento em regime laminar neste modelo é representado pela equação de KOZENY-CARMAN:

$$Ve = \frac{\Delta h \cdot deq^2 \cdot \epsilon_e^3}{He \cdot 180 \cdot \mu \cdot (1 - \epsilon_e)^2} \quad \text{Equação 3.40}$$

onde: Ve = velocidade da água entre os grãos no leito expandido (m/s); He = altura do leito expandido (m); ϵ_e = porosidade do leito expandido

O volume de grãos no leito fixo é exatamente o mesmo no leito expandido (LEME, 1979). Assim a equação de conservação se escreve:

$$H_e (1 - \epsilon_e) A = H_o (1 - \epsilon_o) A$$

$$H_e (1 - \epsilon_e) = H_o (1 - \epsilon_o) \quad \text{Equação 3.41}$$

A combinação das equações 3.33, e 3.40 permite escrever a relação:

$$\frac{Ve}{Vmf} = \frac{(1 - \epsilon_o) \cdot \epsilon_e^3}{\epsilon_o^3 \cdot (1 - \epsilon_e)} \quad \text{Equação 3.42}$$

A relação é aplicável para meios suficientemente densos para ser assimilado a feixes de poros, isto é, para porosidade inferior a 0,80 e para um escoamento laminar no interior dos poros, ou seja, $Re < 1$.

3.4.4.2 Modelo de Richardson e Zaki

RICHARDSON & ZAKI (apud SENS, 1997) verificaram uma lei baseada em três dados experimentais com valores de porosidade indo até 1.

$$\frac{Ve}{Vf} = \epsilon_e^n \quad \text{Equação 3.43}$$

A velocidade Vp pode ser expressa em função da velocidade limite de queda livre $V\ell$ de uma esfera isolada:

$$\log Vf = \text{Log } V\ell - (\text{deq} / D)$$

Equação 3.44

onde: deq = diâmetro equivalente do grão (m); D = diâmetro do reator (m)

Os valores de n para diferentes regimes de escoamentos são apresentados na Tabela 3.2:

Tabela 3-2 - Valores de n para a equação de Richardson&Zaki para diferente regimes de escoamento

Re < 0,2	n = 4,65 + 20 deq/D
0,2 < Re < 1	n = (4,4 + 18 deq/D)Re ^{-0,03}
1 < Re < 200	n = (4,4 + 18 deq/D) Re ^{-0,01}
200 < Re < 500	n = 4,4 Re ^{-0,01}
Re > 500	n = 2,4

3.4.4.3 Gradiente de velocidade no meio granular expandido

Para o cálculo do gradiente de velocidade G para o leito expandido, utiliza-se a equação 3.45 , modificada a partir da equação 3.20, pela substituição da porosidade do leito fixo ε_o pela porosidade do leito expandido ε_e .

$$G = \left[150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon_e)^2}{\varepsilon_e^4} \cdot \left(\frac{S}{6}\right)^2 \cdot Va^2 + \frac{1,75}{v} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_e)}{\varepsilon_e^4} \cdot \left(\frac{S}{6}\right) \cdot Va^3 \right]^{1/2} \quad \text{Equação 3.45}$$

3.4.4.4 Dimensionamento do floculador

Para dimensionar um reator de floculação em meio granular, é necessário conhecer a vazão (Q), o tempo de detenção (T) e o gradiente de velocidade (G), conhecer propriedades físicas dos grãos relativas a tamanho, forma e densidade, a velocidade de aproximação (Va), a porosidade inicial do meio granular (ε_o), e a expansão do leito (Ex). Para um dimensionamento completo é necessário dispor de um modelo de previsão de expansão do meio granular para diferentes materiais, de forma que seja permitido escolher o material adequado à obtenção dos valores de G e T

previamente fixados. A seguir são apresentadas algumas equações utilizadas para tal dimensionamento.

O tempo de detenção num meio granular expandido é dado pela expressão:

$$T_e = \frac{H_e \cdot \varepsilon_e}{V_a} \quad \text{Equação 3.46}$$

onde: T_e = tempo de detenção no meio granular expandido (s); H_e = altura do leito expandido (m).

A porosidade do meio expandido é dada por:

$$\varepsilon_e = \frac{Ex - 1 + \varepsilon_o}{Ex} \quad \text{Equação 3.47}$$

onde: ε_e = porosidade no meio expandido; ε_o = Porosidade no meio fixo (antes da expansão)

Ex = Expansão. Por exemplo, se a expansão é de 30%, $Ex = 1,30$.

O volume útil do floculador é dado por:

$$V = \frac{Q \cdot T_e}{1 - \varepsilon_o} \quad \text{Equação 3.48}$$

Onde: Q = vazão (m^3/s); V = volume útil = volume dos espaços intergranulares (m^3).

Para um reator cilíndrico, o diâmetro D é:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_a}} \quad \text{Equação 3.49}$$

A altura do leito expandido será:

$$H_e = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad \text{Equação 3.50}$$

3.5 Estudos Experimentais com Floculação em Meio Granular

A floculação em meio granular ocorre associada à filtração direta, atribuindo-se a essas unidades denominações como: filtro-floculador por contato (MCCONNACHIE et al., 1999), floculação por contato (MONSCVITZ et al., 1978), filtração por contato (ADIN & REBHUN, 1977; CLARK et al., 1992) ou filtração direta em linha (GRAHAM et al., 1992).

De acordo com DI BERNARDO (1993), em função do tamanho e distribuição das partículas presentes na água bruta, das características do meio filtrante e da taxa de filtração, a filtração pode ser precedida apenas pela coagulação, sem a necessidade de formação prévia de flocos em uma unidade de floculação.

Tanto a floculação em meio granular fixo, como a floculação em meio granular expandido, foram utilizadas inicialmente na Índia (BHOLE, A .G apud CEPIS, 1984). IVES & DIBOUNI (1979) desenvolveram estudos em sistema piloto, em leito fixo e fluidizado sobre a floculação ortocinética de microesferas de látex. O leito fixo foi constituído de esferas de vidro com diâmetro de 0,55mm, e o leito fluidizado por microesferas de PVC com diâmetro de aproximadamente 100 μm . Os reatores foram alimentados com microesferas de látex com diâmetro da ordem de 1,2 μm , suspensas numa solução de água destilada contendo 0,1M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

A avaliação da floculação foi feita por um contador de partículas, em função da quantidade e tamanho das partículas efluentes do reator. Os resultados foram negativos com o leito fixo que funcionou como filtro, não permitindo avaliar corretamente a agregação das partículas. Com o leito fluidizado para uma porosidade de 0,6 e gradiente de velocidade 22 s^{-1} , e tempo de floculação de 5 min, houve significativa alteração na distribuição do número e tamanho de partículas decorrente da agregação. Para tempos maiores da ordem de 25 min, o efeito foi mais pronunciado.

As primeiras experiências com a realização da floculação prévia em floculadores de pedra na América Latina, foram realizadas em 1979, pela SANEPAR em colaboração com o IDRC (Internacional Development Research Centre, do Canadá) (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991). Uma dessas experiências foi desenvolvida numa unidade piloto junto a ETA Iguaçu na cidade de Curitiba. Nesse trabalho, segundo RICHTER e MOREIRA (1982), eficiências em termos de remoção da turbidez, superiores às obtidas tanto em jarreste como nos floculadores mecânicos da ETA,

foram conseguidas utilizando pedregulho com diâmetro efetivo $d_{ef} = 6,0$ mm, altura do leito (fixo) $H_o = 2,1$ m, tempo de floculação $T = 2,8$ min., Gradiente de velocidade $G = 85$ s⁻¹, Velocidade de aproximação da água $V_a = 346$ m/d.

Os autores salientam no entanto, a ocorrência de colmatação do leito para águas contendo argila em suspensão, aspecto que demandaria medidas auxiliares, como ar comprimido por exemplo, para promover a limpeza do meio granular, operação que não seria complicada para sistemas com vazão de até 10 L/s.

Dando continuidade as pesquisas sobre floculação em meio granular fixo, a Sanepar passou a implantar e operar alguns sistemas de tratamento de água utilizando essa tecnologia. Como exemplo vale citar as ETAS de Ponta Grossa (120 L/s), Bituruna (20 L/s), e Guaratuba (400 L/s). Os principais parâmetros de projeto praticados foram: material granular com diâmetro $\phi = 25$ a 38mm; porosidade inicial $\epsilon_o = 40\%$; tempo de floculação $T = 8$ a 10 min.; gradiente de velocidade $G = 40$ a 60 s⁻¹.

De acordo com informações recentes obtidas junto a companhia, por conta da deterioração dos mananciais e o conseqüente aumento do aporte de sólidos em suspensão aos flocladores, ocorreram muitos problemas de colmatação com necessidade de limpezas freqüentes. As unidades projetadas passaram a funcionar como pré-filtros, com um período de estabilização da perda de carga e retenção de sólidos, até atingir um estágio de equilíbrio entre as forças de retenção e as forças de cisalhamento, quando então a unidade passava a liberar maior quantidade de flocos, configurando-se num processo combinado de floculação em manta de lodo com floculação em meio granular.

A ETA de Bituruna funciona atualmente com um sistema de dupla filtração, sendo o filtro ascendente de pedregulho e o descendente de camada única de areia.

Na tentativa de solucionar os problemas de colmatação, a Sanepar experimentou a floculação em meio granular fixo utilizando recheios sintéticos em forma de anéis com porosidade da ordem de 90%. Atualmente a companhia tem projetado flocladores hidráulicos de chicanas ou com placas teladas.

Seguindo a linha da floculação em meio granular fixo, SENS (1991;1992) avaliou em sistema piloto a produção de flocos e a autolimpeza dos flocladores, utilizando como meio granular esferas de vidro com diâmetros de 3, 5 e 10 mm. A água utilizada era proveniente de um rio. Com esferas de 3 mm houve excessiva retenção de

sólidos, funcionando como filtro. Com as esferas de 5 mm de diâmetro os melhores resultados foram obtidos para as seguintes condições operacionais: $G = 35$ a 50 s^{-1} ; $T = 3$ min; Velocidade de aproximação $V_a = 370$ m/d; decantação em descontínuo com velocidade de sedimentação $v_s = 1$ cm/min; remoção da turbidez = 82%; remoção da cor aparente = 72%; Retenção de sólidos no meio granular = 27%. A retenção de sólidos foi considerada expressiva, demandando a limpeza periódica do floculador, a qual era feita com facilidade mediante a injeção de ar na base da coluna através da tubulação condutora de água coagulada.

Os estudos com esferas de 10 mm de diâmetro forneceram melhores resultados, não havendo praticamente retenção de sólidos. Utilizando $V_a = 370$ m/d, resultou $G = 25 \text{ s}^{-1}$ com o tempo $T = 3$ min. Mantida a velocidade de sedimentação de 1 cm/min. a remoção da turbidez variou de 87 a 93%.

Em busca de maior eficiência no processo de floculação e eliminação da retenção de material no meio granular, SENS e HANSEN(1995) estudaram a floculação em meio granular ligeiramente expandido, utilizando esferas de 5 mm de diâmetro e densidade $\delta_s = 1,04$ para tratar água de um lago adicionada de bentonita. A água de estudo tinha turbidez de 25 uT e cor aparente de 240 uH. A floculação foi realizada em tempos de 1 a 2 min. A retenção de sólidos observada foi pequena, da ordem de 6%, e a remoção da turbidez superior a 90% para velocidades de sedimentação variando de 1,3 cm/min a 0,65 cm/min. Nos estudos realizados por aqueles autores o coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio.

A floculação em meio granular expandido também foi testada no tratamento de efluentes urbanos e industriais. COMA (1990) estudou a floculação de uma águas residuárias urbanas em leito fluidificado associado a um decantador lamelar, comparando com outros tipos de processos como, jarteste e flocteste. Os dados experimentais em autofloculação (sem uso de coagulante) mostraram ser possível obter resultados interessantes, 60% de abatimento de turbidez para um tempo de detenção global (floculação+decantação) inferior a 15 minutos. Em presença do coagulante cloreto férrico as eficiências são comparáveis nos três sistemas, mas a dose de coagulante requerida ficou duas vezes menor, o que diminuiu a quantidade de lodo produzido.

Como meio granular foram empregados os seguintes materiais e características: areia (diâmetro equivalente $d_{eq} = 0,25\text{mm}$; densidade $\delta_s = 2,65$, resina: (diâmetro equivalente $d_{eq} = 0,8\text{mm}$; densidade $\delta_s = 1,17$). Os melhores resultados em termos de remoção de turbidez foram obtidos utilizando o leito de resina, atribuído aos menores valores de gradiente proporcionado por esse tipo de leito. Em ambos a expansão foi mantida em torno de 40% para garantir a autolimpeza.

CUBAS (1999) estudou a floculação em meio granular expandido, utilizando três colunas em série, variando o gradiente de velocidade entre elas. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência do sistema em termos de remoção da turbidez, através da decantação. A disposição em série permite obter tempos maiores de floculação sem aumentar a altura dos flocladores, tornando compacto o sistema. Os melhores resultados para águas de rio, de lago, e para efluente doméstico, foram obtidos com um tempo de floculação em meio granular da ordem de 157s. O tempo total de floculação, ou seja, a soma dos tempos de permanência no meio granular, mais o tempo de percurso na tubulação de interligação de um floclador com o outro, foi da ordem de 190s.

HASSEMER (2000) dando continuidade aos estudos de CUBAS (1999), utilizando o mesmo piloto de floculação, avaliou a tratabilidade de efluentes têxteis. Como variantes, antes da floculação foram feitos alguns tratamentos como: a pré-ozonização, o tratamento biológico em reator aeróbio de leito fluidizado trifásico além da combinação entre eles. Os melhores resultados em termos de remoção de matéria orgânica, medidos no efluente decantado, foram obtidos com a realização prévia de ozonização e tratamento biológico. Com relação aos sólidos suspensos, os melhores resultados foram obtidos nos ensaios sem pré-tratamento do efluente. O tempo total de floculação associado aos melhores resultados foi da ordem de 153s.

PHILIPPI (2001) estudou a floculação em meio granular expandido, em série, utilizando duas colunas com escalonamento do gradiente de velocidade. O objetivo do trabalho foi avaliar a aplicabilidade do sistema funcionando como um flocteste em fluxo contínuo, e comparar os resultados com os obtidos em jarteste. O tempo de floculação global foi da ordem de 60s, e forneceu resultados semelhantes aos do jarteste com tempo de floculação de 20 min, avaliados em termos de cor e turbidez da água decantada. Cabe ressaltar que o autor citado utilizou água sintética preparada com bentonita.

A Tabela 3-3 mostra algumas características de estudos sobre floculação em meio granular desenvolvidos por vários pesquisadores.

Os trabalhos envolvendo tanto a floculação em meio granular fixo, como expandido, mostram resultados de elevada eficiência e aproveitamento energético, refletido no reduzido tempo de floculação, quando comparado aos floculadores mecânicos.

Cabe ressaltar que os trabalhos relacionados foram feitos sob condições bastante diferenciadas em termos de características da água de estudo, tipo de coagulante e condições de coagulação, características do floculador e da floculação, e sobretudo em termos de avaliação da qualidade da água decantada. Os tempos de decantação e as velocidades de sedimentação associadas foram diferentes. Na maioria dos casos a sedimentação foi realizada em repouso, entretanto COMA(1990) fez avaliação em fluxo contínuo através de um decantador lamelar.

Tabela 3-3 - Estudos desenvolvidos com floculação em meio granular

Autor (es)- Ano	Água ou efluente	Características do meio granular							Condições de floculação			Rem. turbidez		
		Fixo/ Exp.	Tipo de Material	Densidade δ_s	ϕ (mm)	CD	Ho (m)	Exp (%)	Va (m/d)	G (s^{-1})	T (s)	GT (Ca)	Td (vs) min. (cm / min.)	%
RICHTER- 1980	rio	Fixo	Pedregulho	2,65	6,7	1,7	2,10	-	346	85	170	14500	-	88a 97
SENDER - 1981	rio	Fixo	Pedregulho	2,65	10,8	1,7	1,47	-	470	55	107	5885	10	60a 65
COMA 1990	# esgoto	Exp.	areia resina	2,65 1,17	0,25 0,8	- 1	0,9 0,9	>40 >40	*424 a 880	225 60	62 233	14000 14000	15 15	74 95
SENS 1991	rio	Fixo	esferas vidro	2,65	5 10	1 1	2 2	- -	370 370	45 25	180 180	8100 4500	10 (1) 10 (1)	82 87a 93
SENS e HANSEN- 1995	água sintética	Exp.	esferas PS	1,04	5	1	1,33	30	1260	102	60	6120	15 (1,3)	99,6
*** CUBAS- 1999	Rio lago esgoto	Exp. em série	esferas ABS	1,07	6	1	1,35 1,35	45 40 28	1952 1659 1434	134 106 113	49 55 53	6566 5830 5989	20	61 a 98,9
*** HASSEMER - 2000	têxtil	Exp. em série	esferas ABS	1,07	6	1	1,35 1,35	41 38 26	1952 1659 1434	145 112 116	47 53 53	6815 5936 6148	7 (1)	97
** PHILIPPI 2001	água sintética	Exp. em série	esferas ABS	1,07	6	1	0,4 0,4	60 28	2200 1528	123 121	16 15,6	1993 1888	20 (0,4)	90

* variação nos ensaios incluindo areia e resina; ** utilizou duas colunas em série; *** utilizaram três colunas em série; # utilizando coagulante; Ho = altura inicial do leito (fixo); CD = coeficiente de desuniformidade; ϕ = diâmetro representativo do grão (diâmetro equivalente); água sintética = água natural de lago adicionada de bentonita.

A floculação em meio granular fixo apresenta como principal desvantagem a retenção de material, aspecto que demanda operações freqüentes de limpeza, seja pela necessidade de recuperação da carga hidráulica, ou pela necessidade de manter as condições de floculação.

Na floculação em meio granular expandido, as velocidades de aproximação (V_a) normalmente são mais elevadas que as praticadas na floculação em meio granular fixo, representando, em termos de área, unidades menores. A elevada eficiência da floculação em meio granular é atribuída ao elevado número de compartimentos em série, variável de acordo com o tamanho e forma dos grãos.

Estudos de ARGAMAN & KAUFMAN (1970), revelam que para um dado tempo de floculação, existe um valor máximo de G , a partir do qual a eficiência diminui, correspondendo aos menores valores de G , os tempos maiores de floculação. Tempos maiores de floculação com valores adequados de G podem ser conseguidos combinando a altura do meio granular com o tamanho, forma e densidade dos grãos, garantindo a expansão adequada do meio.

Os meios granulares esféricos estudados indicados na Tabela 3-3 forneceram bons resultados, mas devido a sua hidrodinâmica, necessitam de maiores velocidades para expansão quando comparados em tamanho e densidade equivalentes a materiais não esféricos. A pouca flexibilidade na obtenção de valores adequados de G e T utilizando areia, pedregulho e outros meios granulares, além do inconveniente da necessidade de limpezas periódicas nos floculadores de leito fixo, são aspectos que contribuem para a restrita utilização dessa tecnologia.

3.6 Filtração Direta Descendente - FDD

De acordo com DI BERNARDO et al. (2003), a filtração direta é definida como uma tecnologia de tratamento que prescinde da separação prévia de sólidos, ou seja, de etapas como a decantação ou a flotação. A aplicação dessa tecnologia depende fundamentalmente da qualidade da água a ser tratada. A filtração direta pode ocorrer em filtros de escoamento ascendente ou descendente. A Filtração Direta Descendente – FDD pode ser realizada basicamente de duas formas:

- a) Filtração direta descendente sem pré-floculação: sistema composto por unidade de mistura rápida e encaminhamento da água coagulada diretamente ao filtro;
- b) Filtração direta descendente com pré-floculação: sistema composto por unidades de mistura rápida, de floculação e de filtro.

Diversos autores propõem parâmetros gerais que podem ser utilizados como critério de pré-seleção da tecnologia de tratamento a ser adotada numa ETA em função da qualidade da água bruta; um exemplo típico é mostrado na Tabela 3-4. Na Figura 3.2 tem-se outro exemplo, referente à proposta apresentada por WIESNER et al. 1987 apud DE PÁDUA (2001) para a escolha de uma das tecnologias de tratamento de água que empregam coagulação química em função da concentração e do diâmetro médio das partículas presentes na água bruta.

Quando a água pode ser tratada tanto por filtração direta quanto por ciclo completo, a primeira opção apresenta como vantagens menores custos (30 a 50% menor) de implantação, manutenção e operação, uma vez que não há necessidade de construir unidades de decantação (ou flotação), podendo-se, em alguns casos, dispensar até os floculadores. Além disso, na filtração direta são utilizadas dosagens menores de produtos químicos destinados à coagulação, o que permite reduzir gastos com o tratamento e disposição final do lodo gerado na ETA.

DI BERNARDO et al. (2003) apontam como desvantagens da filtração direta, entre outras, a impossibilidade de se tratar águas com turbidez ou cor elevadas e o pequeno tempo de detenção hidráulica na ETA (que dificulta ao operador tomar medidas corretivas quando é observada alteração brusca na qualidade da água, e que não possibilita o tempo de contato necessário para o emprego de produtos químicos tais como os destinados a oxidação de substâncias orgânicas).

Em geral, as ETAs de ciclo completo podem ser convertidas sem dificuldades para o tratamento por filtração direta nos períodos em que a água bruta do manancial apresentar qualidade compatível com esta tecnologia, o que viabiliza a redução do consumo de produtos químicos e da geração de lodo. Contudo, tal procedimento não é indicado para ETAs que possuem decantador de manto de lodo, pois caso haja deterioração repentina na qualidade da água bruta essas unidades de decantação, ao serem recolocadas em operação, levarão um tempo relativamente longo para apresentarem desempenho satisfatório.

Tabela 3-4 - Sugestão de tecnologia de tratamento em função da qualidade da água bruta (Kawamura, 2000 apud DE PÁDUA, 2001; DI BERNARDO et al., 2003)

PARÂMETRO	DI BERNARDO et al.(2003)		Kawamura (2000)		
	Filtração direta descendente (D)	Filtração direta ascendente (A)	Filtração direta (A) ou (D)	FAD seguida de filtração	Ciclo completo
Turbidez (uT)	90% ≤ 10	90% ≤ 10	<20	<100	<3.000
	95% ≤ 25	95% ≤ 25			
	100% ≤ 100	100% ≤ 100			
Cor verdadeira (uH)	90% ≤ 20	90% ≤ 20	<20	<100	<1.000
	95% ≤ 25	95% ≤ 25			
	100% ≤ 50	100% ≤ 50			
Sólidos suspensos (mg/L)	95% ≤ 25	95% ≤ 25	-	-	-
	100% ≤ 100	100% ≤ 100			
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	-	-	<200	<300	<500
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	-	-	<150	<200	<700
Ferro (mg/L)	-	-	<0,5	<0,6	<2,0
Manganês (mg/L)	-	-	<0,1	<0,1	<0,5
COT (mg/L)	-	-	<2,5	<5,0	<7,0
Sabor e odor (NLO)	-	-	<4,5	<5,0	<10,0
Alga (UPA/mL)	500	500	<10 ³	<10 ⁴	<10 ⁴
Giardia (100 L)	-	-	<3	<5	<20
Cryptosporidium (100 L)	-	-	<1	<3	<10
E. coli (NMP/100mL)	500 ⁽¹⁾	500 ⁽¹⁾	-	-	-
Coliformes totais (n° /mL) (sic)	1000 ⁽¹⁾	1000 ⁽¹⁾	<10 ³	<10 ⁴	<10 ⁶
Taxas de filtração (m ³ /m ² .d)	200 a 600	160 a 240	-	-	-

NOTAS: FAD (flotação por ar dissolvido), COT (carbono orgânico total), NLO (número limiar de odor), UPA (unidade padrão de área). O tratamento de ciclo completo inclui processo de abrandamento. Recomenda-se a adoção de pré-sedimentadores quando previsto valor de turbidez da água bruta superior a 1.000 uT. Em geral, a qualidade da água bruta para emprego da filtração lenta é a mesma daquela recomendada para a filtração direta. ⁽¹⁾ Limites mais elevados podem ser adotados com o emprego de pré-desinfecção.

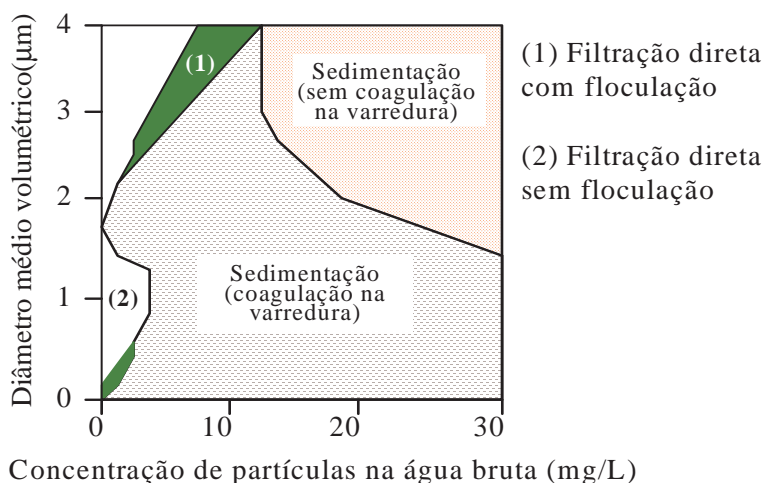


Figura 3-2 - Tecnologia de tratamento de menor custo em função do tamanho e da concentração de partículas presentes na água bruta (WIESNER et al. 1987 apud DE PÁDUA , 2001)

Independentemente da tecnologia de tratamento a ser adotada, é importante identificar os fatores que interferem nos processos e operações envolvidos e estabelecer corretamente os parâmetros de projeto e de operação das unidades que compõem a ETA. No caso da filtração direta, é de extrema relevância a realização de estudos para definir as condições de coagulação (tipo e dosagem dos produtos químicos), as condições de mistura rápida (tempo e gradiente de velocidade), a eventual necessidade de unidades de floculação e, caso estas se façam necessárias, o estabelecimento do tempo e do gradiente de velocidade correspondentes. Além disso, a taxa de filtração, o tipo, granulometria e espessura do meio filtrante e o método de lavagem e de operação dos filtros também influenciam significativamente no desempenho global das ETAs nas quais é empregada a filtração direta.

Quando se comparam trabalhos publicados por diferentes autores, observa-se que não há consenso em relação aos valores dos parâmetros que limitam a possibilidade de emprego da filtração direta. Segundo WIESNER et al. (1987) apud DE PÁDUA (2001), essa tecnologia é particularmente indicada nos casos em que a concentração de partículas na água bruta é inferior a 10 ou 20 mg/L. CLEASBY (1990) faz menção a um relatório da *American Water Works Association* em que é citado que uma água ideal para ser tratada pela filtração direta deve apresentar cor < 40 uH, turbidez < 5 uT, concentração de algas < 2000 UPA/mL, concentração de ferro < 0,3 mg/L e concentração de manganês < 0,05 mg/L. O autor cita também um estudo próprio no qual esse limite máximo de turbidez é considerado muito baixo, sendo sugerido 12 uT quando for utilizado somente sulfato de alumínio como coagulante ou 16 uT quando for empregado apenas polímero catiônico.

Durante os períodos de maior concentração de alga, é sugerido o limite de 7 uT, no caso de ser usado somente sulfato de alumínio e de 11 uT quando for empregado polímero catiônico. Por outro lado, EDZWALD et al. (1987) apresentam como fator limitante para o emprego da filtração direta a concentração de COT na água bruta, que os autores recomendam ser menor ou igual a 5 mg/L. De acordo com esses autores, em geral a filtração direta tem sido recomendada para águas com baixa turbidez (20 a 30 uT), baixa cor (inferior a 40 uH) e baixa concentração de algas. AMIRTHARAJAH (1988) menciona que comumente a filtração direta é o sistema mais econômico de tratamento de águas com baixa turbidez (< 50 uT), tais como aquelas de lagos, quando

necessitam de baixas dosagens de coagulante ($< 15 \text{ mg/L}$) para tratamento. Segundo DI BERNARDO (1993), muitos pesquisadores têm limitado a turbidez e o teor de sólidos suspensos na água bruta a ser tratada por filtração direta a 25 uT e a 50 mg/L, respectivamente, embora picos de turbidez de até 100 uT possam ocorrer, desde que por tempo inferior a 12 h.

WAGNER e HUDSON Jr. (1982) citam o tratamento de água bruta com turbidez superior a 40 uT em ETAs localizadas no Brasil e na Jordânia. TREWEEK (1979) faz referência a ETAs de filtração direta capazes de produzir efluente filtrado com turbidez inferior a 1 uT mesmo quando a água bruta apresenta turbidez de 60 uT.

Deve-se ressaltar que a temperatura da água pode influir de modo decisivo no desempenho da filtração direta. À medida que diminui a temperatura da água, reduz-se a velocidade das reações químicas durante a coagulação e aumenta-se a possibilidade de ocorrência de transpasse durante a filtração.

A realização de ensaios sob diferentes condições de temperatura, a falta de padronização quanto ao tipo de coagulante, das condições de mistura rápida e de floculação, o emprego de meios filtrantes com características distintas e as diferentes taxas de filtração durante os ensaios são fatores que podem explicar a grande variabilidade nos valores dos limites máximos recomendados por diferentes autores para o emprego da filtração direta.

De qualquer modo, como a temperatura da água pode exercer um papel preponderante no desempenho dessa tecnologia, não é recomendado que os limites estabelecidos em países com condições climáticas diferentes das brasileiras sejam aqui adotados sem questionamentos, principalmente quando se considera a possibilidade de emprego da filtração direta nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, as quais apresentam temperaturas médias relativamente elevadas.

3.7 Pré-floculação e filtração direta

Conforme mostrado esquematicamente na Figura 3.3, pode-se distinguir quatro etapas na carreira de um filtro em função da qualidade da água produzida e da evolução da perda de carga: Inicia-se com um período de maturação com melhora progressiva da qualidade da água, até atingir um valor crítico (valor máximo permitido ou desejado). Em seguida vem uma fase de máxima eficiência em que a qualidade da água produzida

atende aos padrões desejados. A partir do ponto de ruptura começa ocorrer transpasse de flocos e a qualidade supera o valor crítico, iniciando-se uma etapa de degradação progressiva da qualidade, até atingir um estágio de estabilização. Seja a filtração realizada com ou sem pré-floculação, a qualidade do floco produzido influencia fortemente na duração da carreira .

Os mecanismos da filtração em meio granular resultam da ação conjunta de três fenômenos: transporte, aderência e desprendimento das partículas em suspensão que se pretende remover. Em geral, o regime de escoamento na filtração é laminar, de modo que as partículas se movem ao longo de linhas de corrente. Para que sejam removidas é necessário que os mecanismos de transporte desviem suas trajetórias, conduzindo-as à superfície dos grãos (coletores) do meio filtrante. Após o contato com o coletor, a partícula poderá ou não ser removida da água dependendo da magnitude da resultante de forças que se opõem: as que tendem a mantê-la aderida ao coletor e as que atuam do sentido de desprendê-la (AMIRTHARAJAH, 1988).

A representação esquemática da retenção e desprendimento de partículas no interior de um filtro é mostrada na Figura 3-4.

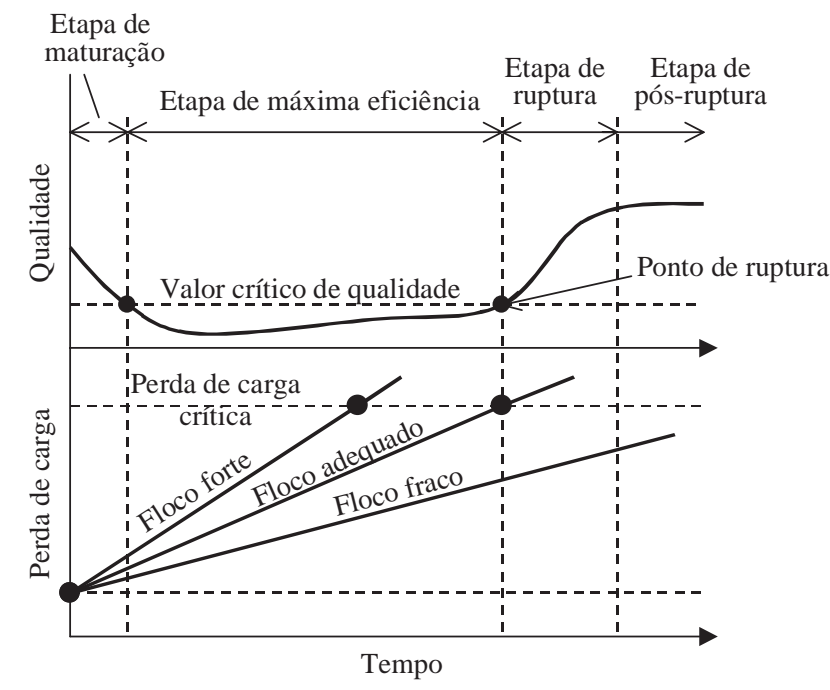


Figura 3-3 - Forma de trabalho de um filtro de escoamento descendente (ARBOLEDA, 2000)

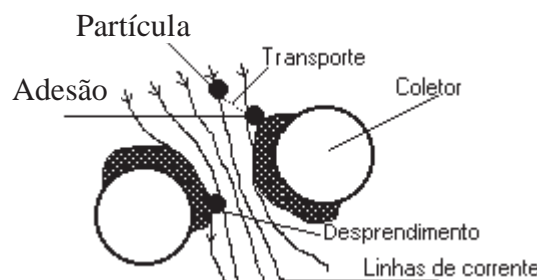


Figura 3-4 - Esquema da remoção e desprendimento de partículas em um meio filtrante granular (AMIRTHARAJAH, 1988)

Quando são removidas, as partículas tendem a acumular-se sobre os grãos do meio filtrante (coletores), formando depósitos cujas geometrias estão relacionadas à forma dos grãos e das partículas previamente removidas. Com o acúmulo de partículas, diminui o tamanho dos vazios intergranulares, de modo que se a taxa de filtração é mantida constante a velocidade do fluido dentro dos poros aumenta, assim como a intensidade da força de cisalhamento que atua sobre os depósitos.

Quando essa força atinge valores que superam os das forças de adesão, as partículas se desprendem dos coletores, sendo conduzidas às camadas inferiores do filtro, onde o fenômeno se repete. Assim, no interior do filtro os mecanismos de transporte, aderência e desagregação ocorrem simultaneamente. Outro fenômeno responsável pela remoção de partículas previamente aderidas é a colisão que ocorre entre as partículas suspensas no afluente e os depósitos formados sobre os coletores.

De modo geral, pode-se dizer que o transporte de partículas no interior do meio filtrante é um fenômeno físico, influenciado principalmente pelos parâmetros que governam a transferência de massa, tais como o tamanho dos coletores, a taxa de filtração, a temperatura da água, a massa específica e o tamanho das partículas presentes no afluente. A aderência é basicamente um fenômeno químico, que pode envolver interações eletrostáticas, forças de London - Van der Waals ou interações químicas de superfície, as quais sofrem influência do tipo e da dosagem dos produtos químicos utilizados no pré-condicionamento e das características da água bruta e do meio filtrante.

O ácido fúlvico, por exemplo, tende a estabilizar partículas naturais presentes na água, enquanto íons de cálcio tendem a desestabilizá-las. AMIRTHARAJAH (1988)

menciona o caso em que, para uma água contendo 5 a 10 mg/L de carbono orgânico dissolvido e concentração de Ca^{2+} de 2×10^{-4} , o fator calculado para medir a eficiência da colisão entre os colóides e os coletores foi de 0,007, enquanto numa outra água, proveniente de lago como a primeira, cuja concentração de Ca^{2+} era de $1,2 \times 10^{-3}$ e o teor de carbono orgânico dissolvido era igual a 1 mg/L, o fator de eficiência da colisão resultou cerca de 100 vezes superior ao do primeiro caso.

O mesmo autor comenta que, na filtração rápida, quando a água não recebe pré-condicionamento químico apropriado o efluente obtido apresenta qualidade insatisfatória mesmo se os filtros são operados com baixa taxa de filtração.

Enquanto a desestabilização das partículas presentes na água é uma condição essencial para assegurar a eficiência dos mecanismos de aderência, o tamanho relativo delas, que pode ser alterado por meio da floculação, está diretamente relacionado com a eficiência dos mecanismos de transporte, cuja representação esquemática é mostrada na Figura 3.5.

No escoamento da água, as linhas de corrente divergem nas proximidades dos coletores, mas se as partículas possuem quantidade de movimento suficiente para manter suas trajetórias elas são conduzidas até eles por meio do mecanismo de transporte denominado *impacto inercial*. Quanto maiores a velocidade de aproximação (V_a) e o tamanho e a massa específica das partículas, e menores a viscosidade da água e o tamanho dos grãos, mais eficiente é esse mecanismo de transporte, que é importante para a filtração de ar, mas considerado pouco significativo na filtração de água, quando se consideram as velocidades de aproximação, o tamanho efetivo da areia e o tamanho e a massa específica das partículas geralmente presentes na água a ser filtrada numa ETA.

O mecanismo da *intercepção* ocorre quando a distância entre a linha de corrente e a superfície do coletor é inferior à metade do tamanho da partícula, considerando-a esférica. A *sedimentação* ocorre pela atuação da força da gravidade sobre a partícula. O transporte por *difusão* está relacionado ao movimento browniano, a intensidade deste fenômeno é proporcional à energia termodinâmica da água e ao inverso do tamanho das partículas, sendo mais expressivo para aquelas menores que 1 μm .

O transporte por *ação hidrodinâmica* ocorre quando as partículas estão submetidas a gradiente de velocidade diferente de zero, de modo que suas extremidades

estejam sujeitas a velocidades tangenciais diferentes das do centro de gravidade, o que as fazem girar, produzindo uma diferença de pressão na direção perpendicular à do escoamento, dando origem a uma força que as conduz para a região de menor velocidade, de modo que elas podem ser transportadas para a superfície do coletor. A ação hidrodinâmica tem importância no transporte de partículas relativamente grandes ($\sim 10 \mu\text{m}$).

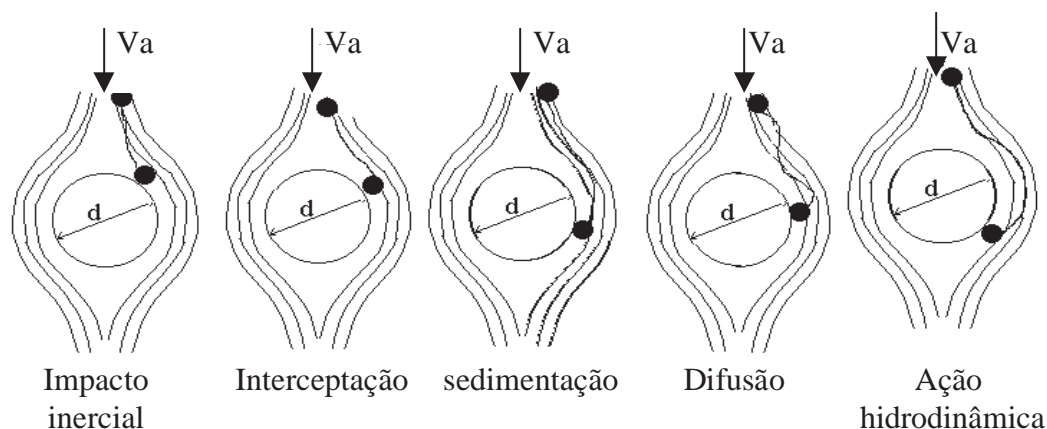


Figura 3-5 - Mecanismos de transporte da filtração (AMIRTHARJAH, 1988)

Segundo KAWAMURA (1999) apud DE PÁDUA (2001), ao contrário da crença popular, a qualidade da água produzida em unidades de filtração de alta taxa não é afetada substancialmente quando se adotam taxas de até 600 m/d, desde que a água seja adequadamente pré-condicionada, contudo, valores elevados de taxa de filtração influenciam de modo expressivo a perda de carga.

A perda de carga desenvolvida por um filtro, para um mesmo volume de sólidos retidos, será tanto menor quanto maior for o tamanho das partículas que chegam à unidade, o que, a princípio, permitiria adotar taxas de filtração mais elevadas (BRANDÃO et al., 1996; DE PÁDUA, 2001). Aquele autor cita estudos em que foi observado que a duração da carreira de filtração é inversamente proporcional à densidade do floco. Deve-se considerar também que ao alterar o tamanho das partículas primárias presentes na água, a floculação influi na distribuição e na morfologia dos depósitos formados sobre os coletores, o que, supõe-se, tem influência sobre a evolução da perda de carga no filtro.

As partículas menores promovem elevada perda de carga nos filtros, de modo que se elas estiverem presentes em concentração elevada é recomendada a floculação

antes de se iniciar a filtração da água. Outra alternativa é aumentar o tamanho efetivo do meio filtrante. Entretanto, quando as partículas primárias possuem tamanho adequado para assegurar o desempenho satisfatório dos filtros, a floculação deve ser dispensada, pois do contrário os custos de implantação, de operação e de manutenção da ETA seriam aumentados desnecessariamente. Em suspensões heterogêneas quanto ao tamanho das partículas, se as condições de floculação não forem estabelecidas corretamente, pode-se aumentar a filtrabilidade de determinadas partículas e diminuir a de outras, de modo que o resultado global pode ser contrário ao desejado.

Teoricamente, existe um tamanho crítico de partícula para o qual resulta a menor eficiência dos mecanismos de transporte. Para as partículas menores que este tamanho crítico, a difusão browniana desempenha o papel preponderante dentre os mecanismos de transporte, enquanto, para partículas maiores, a sedimentação e a interceptação atuam no sentido de aumentar a oportunidade de contato entre as partículas e o coletor. A princípio seria recomendável promover a floculação após a coagulação quando predominassem na água bruta partículas com tamanho médio na faixa de 1 a 3 μm .

Numa ETA, o aumento do tamanho das partículas pode ser conseguido por meio da floculação, mas é necessário avaliar se os flocos são capazes de resistir às forças de cisalhamento decorrentes do aumento da taxa de filtração, pois do contrário pode ser necessário interromper a carreira devido a ocorrência de transpasse. A resistência e a densidade dos flocos pode ser influenciada pelo tipo e pela dosagem de coagulante ou de auxiliar de coagulação utilizado no tratamento, embora seja esperado que flocos mais densos viabilizem mais espaços vazios para retenção de impurezas no interior dos filtros.

De acordo com CEPIS (1984), em águas tratadas com coagulantes, os flocos formados por óxidos metálicos (Al_2O_3 ou Fe_2O_3) possuem densidades variáveis de 1,002 quando predomina a cor na água bruta, e 1,03 quando predomina a turbidez. O diâmetro dos flocos varia desde menos de 0,001mm até mais de 5mm, dependendo das condições de mistura e floculação (gradiente de velocidade e tempo de retenção). O tamanho dos flocos pode ser estimado através do índice de Willcomb como mostra a Figura 3.6. Trata-se de um método comparativo através da visualização simultânea dos flocos formados no reator e a imagem representada na figura citada.

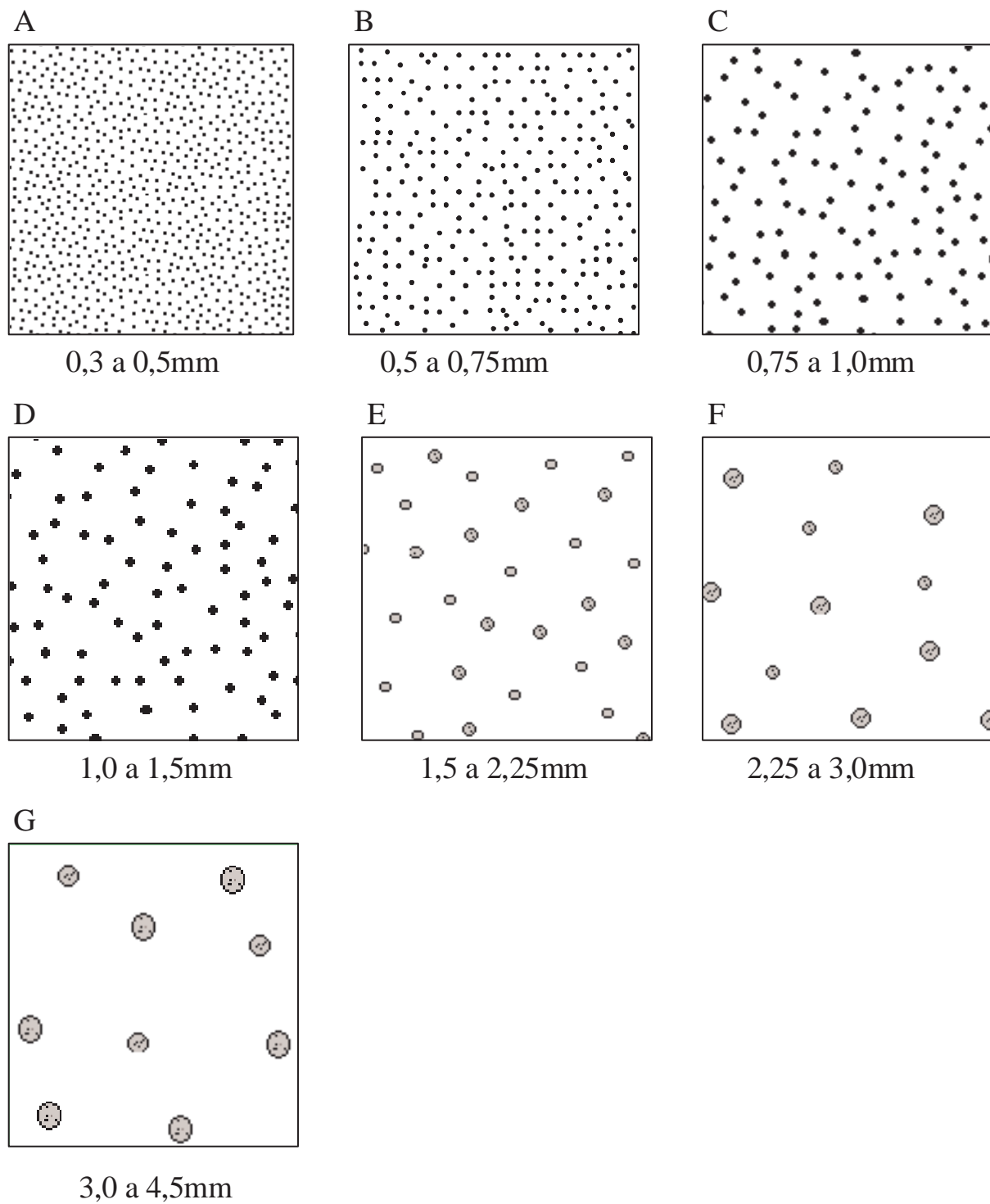


Figura 3-6 - Índices de Willcomb para determinar o tamanho dos flocos

ARBOLEDA (2000) ressalta que não há nada definitivo com relação à necessidade ou não de floculação prévia quando se aplica a filtração direta descendente. O autor discorre sobre uma série de experiências de vários outros autores, onde há casos de benefício na duração das carreiras de filtração pelo uso da pré-floculação, mas há casos também em que foi observado o efeito contrário. A mesma observação foi feita com relação à qualidade da água filtrada, principalmente em relação ao tempo de floculação. Sendo assim, o autor mencionado recomenda o estudo de cada caso em particular.

Em estudos realizados no âmbito do PROSAB, DE PÁDUA (2001) avaliou o efeito da floculação mecânica antecedendo a filtração direta descendente em filtros de areia. A floculação foi realizada com tempos de 9 a 12 min, e gradientes de velocidade de 130, 70, 30, e 10 s^{-1} na primeira, segunda, terceira e quarta câmaras, respectivamente. Foram utilizados sulfato de alumínio, cloreto férrico e hidroxicloreto de alumínio como coagulantes. As taxas de filtração testadas foram 195 e $260 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

A filtração foi realizada em duas configurações de meio filtrante, ambos com espessura de 80 cm e com as demais características: Meios A1 e B1: tamanho efetivo = 0,72 mm com grãos de tamanho entre 0,52 e 1,68 mm e coeficiente de desuniformidade = 1,6; Meios A2 e B2: tamanho efetivo = 1,0 mm com grãos de tamanho de 0,84 a 1,41 mm e coeficiente de desuniformidade = 1,2. Os ensaios foram realizados com quatro filtros operando em paralelo, A1 e A2 com floculação prévia, e B1 e B2 sem.

As principais características da água bruta registrada foram: turbidez = 4 a 6,5 uT, $\text{pH} \cong 7,75$, cor aparente $\cong 12 \text{ uH}$, alcalinidade total $\cong 64 \text{ mg/L CaCO}_3$, e temperatura $\cong 28 \text{ }^\circ\text{C}$. Os autores concluíram que a pré-floculação não trouxe benefícios sobre a qualidade da água filtrada produzida. O prolongamento na duração das carreiras em relação aquelas sem pré-floculação foi da ordem de 10%, considerado não significativo.

4 METODOLOGIA

Os experimentos foram feitos no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri - LALP, localizado junto à Estação de Tratamento de Água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN, no sul da ilha de Santa Catarina. O laboratório é fruto de uma parceria entre as instituições citadas. Neste item é apresentado o fluxograma dos trabalhos experimentais e a descrição dos procedimentos. Os trabalhos estão divididos em três fases: *Primeira fase*: Avaliação hidráulica dos flocladores - Estudos em sistema piloto de condições hidráulicas de funcionamento dos flocladores, com diferentes configurações de meios granulares. Nesta fase, os flocladores foram alimentados apenas com água tratada; *Segunda fase*: Estudo da floculação em meio granular - Nesta fase foram realizados ensaios de bancada em jarreste, e em sistema piloto com variação de material granular, tipo de leito, tempos e gradientes de floculação. Os flocladores foram alimentados com água coagulada. Foram realizados ensaios para avaliação da floculação, incluindo sedimentação e filtração; *Terceira fase*: Realização de carreiras de filtração em filtro piloto de escoamento descendente, com e sem a realização de pré-floculação. Nesta fase as condições de floculação adotadas, foram às definidas na Segunda fase. A Figura 4.1 ilustra a localização da lagoa do Peri e do laboratório LALP.



Figura 4-1 - Localização da lagoa do Peri e do laboratório LALP

4.1 Fluxograma da metodologia

A Figura 4.2 mostra o fluxograma da metodologia empregada para realização do trabalho experimental, incluindo o número de ensaios em cada fase.

4.2 Primeira fase: Avaliação hidráulica dos flocladores

Foram realizados estudos em sistema piloto de condições hidráulicas de funcionamento dos flocladores, com diferentes configurações de meios granulares em termos de tipo de material e altura do leito. Os ensaios foram feitos com água tratada, e tiveram por objetivos conhecer as faixas possíveis de gradiente e tempo de floclação em função do material utilizado, e verificar a aplicação de modelos para estimar a expansão do meio granular, permitindo dessa forma o dimensionamento dessas unidades para condições pré-estabelecidas de floclação, quais sejam, tempo e gradiente de velocidade.

4.2.1 Caracterização dos materiais utilizados nos flocladores

Os meios granulares utilizados e suas principais características estão indicados na Tabela 4.1. Todos os materiais foram adquiridos no comércio de Florianópolis ou em municípios vizinhos. A massa específica dos materiais e o volume das partículas foram determinados com base na NBR 6508 / 1984 da ABNT (método gravimétrico).

As dimensões das partículas foram determinadas com base em medições feitas com paquímetro em um grupo de 100 partículas representativas de cada tipo de material. O coeficiente de esfericidade foi determinado por cálculos com base na forma geométrica das partículas e no volume das mesmas.

A superfície específica foi determinada com as equações 3.25 e 3.26, exceto para os materiais m8, m9 e m10, que por não formarem uma figura geométrica sólida, calculou-se com base nas medições feitas de diâmetro e comprimento do fio formador da espira.

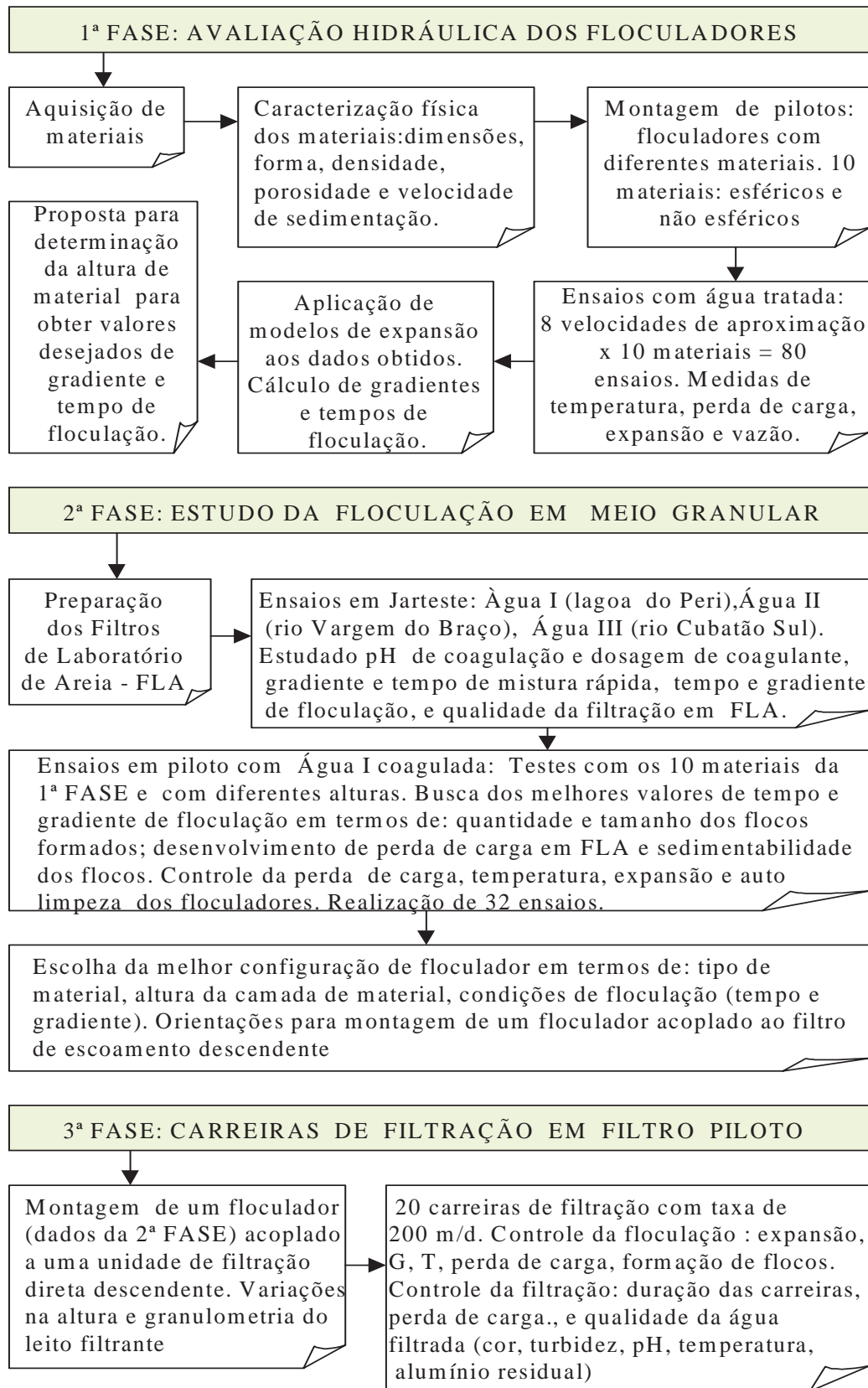
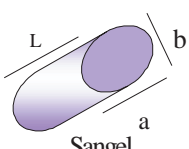


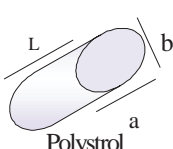
Figura 4-2 - Fluxograma do trabalho experimental

Tabela 4-1 - Características dos materiais utilizados nos floculadores

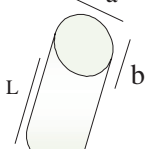
Nome Comercial	Esfera m1	B-08G1 m2	Esfera m3	Esfera m4	Sangel m5	Polystrol m6	Cycogel m7	Espira m8	Espira m9	Espira m10
Composição química	ABS	ABS	ABS	ABS	SAN	PS	ABS	PVC	PVC	PVC
Cor	amarelo forte	amarelo fraco	vermelho	verde	translúcido	translúcido	branco	preto	preto	preto
Fabricante	UHC	UHC	UHC	UHC	Bayer	Basf	Basf	CPT	CPT	CPT
Massa específica (g/cm ³)	1,07	1,02	1,043	1,39	1,08	1,055	1,04	1,67	1,63	1,54
Dimensões principais (mm)	d = 5,9	d = 6	d = 5,97	d = 5,96	a = 3,165 b = 2,274 L = 2,91	a = 3,220 b = 2,215 L = 3,315	a = 2,455 b = 1,705 L = 3,05	L=30 D=9,6 d=1,3	L= 30 D=14,5 d=1,1	L=30 D=20 d=1,6
Diâmetro equivalente (mm)	5,9	6	5,97	5,96	3,15	3,3	2,67	16,1	16,6	24
Área superficial (mm ²)	109,4	113,1	105,7	105,7	36,3	39,7	26,7	599	761	1582
Volume do grão (mL)	0,107	0,113	0,111	0,105	1,462x10 ⁻²	1,880x10 ⁻²	1,0x10 ⁻²	0,19	0,21	0,63
Coef. de Esfericidade de	1	1	1	1	0,79	0,86	0,84	0,27	0,22	0,22
Porosidade (%)	38	38	38	38	42	39	40	86	86	87
Superfície específica *(m ² /m ³)	1017	1000	1005	1007	2411	2114	2675	3,1	3,6	2,5
Descrição da forma	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	bastonete com secção elíptica	bastonete com secção elíptica	bastonete com secção elíptica	Espira	Espira	Espira



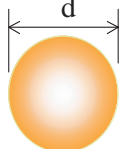
Sangel



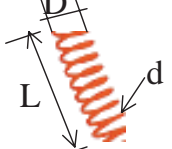
Polystrol



Cycogel



Esfera



Espira

SAN - (Estireno Acrilonitrila) ; ABS - (Acrilonitrila Butadieno Estireno); PS - (Poliestireno); PVC – (cloreto de polivinila) * relação entre a área superficial de um grão e o seu volume; ** área superficial dos grãos contidos em um metro cúbico de material.

A porosidade foi determinada com base nas massas específicas real e aparente. A velocidade de sedimentação foi determinada apenas para os materiais m1, m2, m3, m5, m6 e m7, utilizados nos ensaios com meio granular expandido. A determinação dessa velocidade foi feita numa coluna com diâmetro interno de 60mm e 1,3m de altura, contendo água tratada a 18°C. Essa temperatura foi adotada por ser a média das temperaturas da água nessa fase da pesquisa.

A temperatura foi controlada com termômetro de mercúrio e mantida por reposição de água gelada ou na temperatura ambiente conforme a necessidade. Um lote

de partículas representativo de cada material foi selecionado. Desse lote, 30 foram tomadas aleatoriamente e deixadas cair livremente na água, uma a uma, cronometrando-se o tempo para que elas percorressem 100 cm entre duas marcas estabelecidas. O valor da velocidade foi tomado como sendo a média entre as trinta determinações para cada material. As espiras empregadas são do tipo utilizadas para encadernações. O material adquirido foi cortado numa guilhotina em pedaços de três centímetros, por ser um tamanho prático de manusear e com boa acomodação no interior das colunas de floculação.

4.2.2 Sistema piloto

A Figura 4.4 mostra o esquema de funcionamento de um conjunto de floculadores, para a realização dos ensaios da primeira e segunda fases da pesquisa indicadas no item 4.1. Os floculadores são construídos em tubos de acrílico transparente, em módulos de 1 m de comprimento, diâmetro interno de 115mm, flangeados, com sistema de vedação por o-ring.

Possuem várias tomadas laterais com diâmetro $\phi = 20\text{mm}$ para colocação de piezômetros. As entradas de água coagulada tem diâmetro $\phi = 32\text{mm}$ e as saídas de água floculada $\phi = 50\text{mm}$. Possuem uma base para formar um fundo falso e uma placa perfurada sobre a qual é colocado uma tela de nylon para suportar o meio granular. Os floculadores possuem câmara de carga individual com possibilidade de by-pass. Ao deixar o floculador a água passa para um tanque de vidro, cuja finalidade principal é permitir a visualização do tamanho dos flocos sem as distorções possíveis causadas pela superfície convexa do floculador.

O fornecimento de água tratada ou coagulada ao sistema em questão, assim como as demais condições de funcionamento é descrito a seguir.

Na primeira fase da pesquisa o piloto foi alimentado com água tratada proveniente da ETA da lagoa do Peri. A água era bombeada a partir de um reservatório para a Câmara de Nível Constante - CNC. A vazão de recalque era sempre superior à utilizada nos ensaios e o excedente retornava para o reservatório citado.

A CNC foi projetada com área superficial relativamente grande, de forma que, em função da vazão máxima de alimentação do piloto e das possíveis oscilações no sistema de bombeamento de água, o nível de água sobre o vertedor oscilasse no máximo

2mm. Dessa forma, era mantido sobre um orifício com descarga livre uma carga hidráulica praticamente constante de 276 ± 2 mm. Variando-se o diâmetro dos orifícios, era possível alimentar o sistema com vazões desejadas praticamente constante.

A distribuição eqüitativa de vazão para os flocladores era feita por uma Câmara de Distribuição de Vazão – CDV. Essa unidade permite realizar a distribuição eqüitativa de vazão, de água tratada ou coagulada, para até sete unidades (filtros ou flocladores) simultaneamente. Em planta a unidade tem forma de um octaedro, recebe água proveniente da unidade de mistura rápida através de um tubo cilíndrico central, de onde verte livremente para as câmaras de saída distribuídas simetricamente conforme Figura 4.3. A unidade possui parafusos que permitem colocá-la no nível em relação ao plano horizontal.

A colocação dos materiais nos flocladores era feita pelo topo dos mesmos, mediante a retirada de uma tampa flangeada. A retirada dos materiais, exceto as espiras, era feita por arraste hidráulico através de saídas laterais providas de um tampão roscável. O floclador 4 mostrado na Figura 4.4 foi idealizado para reduzir a altura da unidade sem reduzir o tempo de floclação.

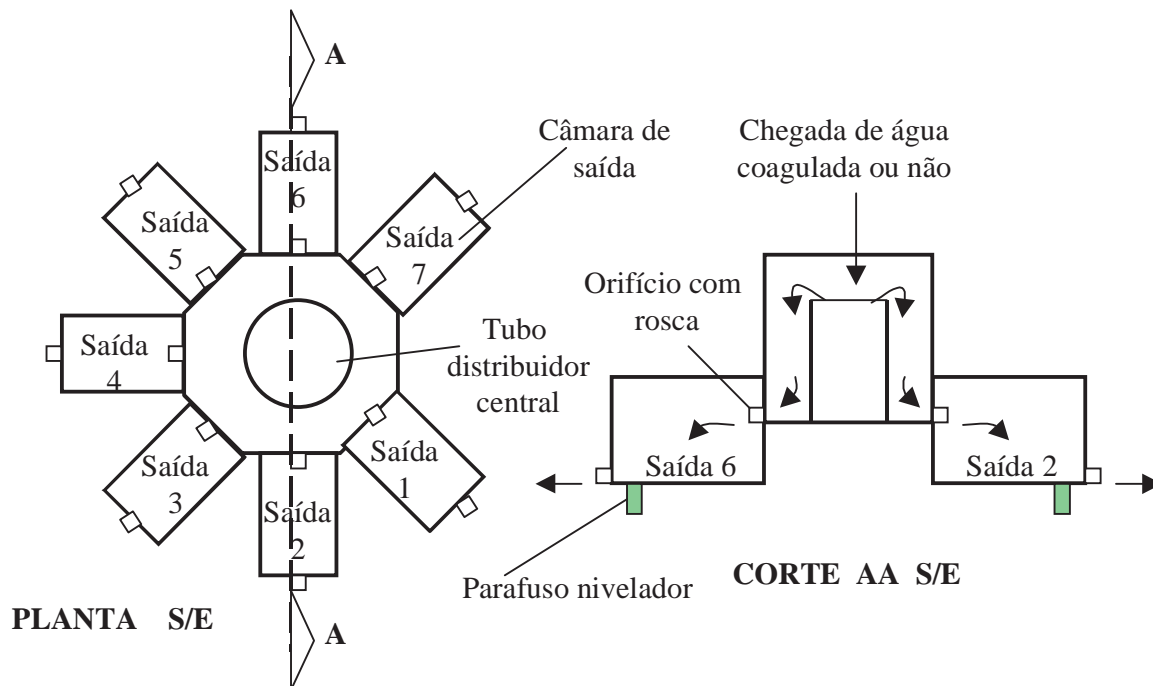


Figura 4-3 - Esquema de funcionamento da Câmara de Distribuição de Vazão

4.2.3 Ensaios com água tratada

Esse grupo de ensaios foi realizado tendo por objetivo a avaliação do comportamento dos diferentes materiais, sobretudo em termos de expansão e perda de carga, frente as variações de vazões. Foram testados dez materiais conforme variáveis indicadas na Tabela 4.2.

Tabela 4-2 - Características dos ensaios da primeira fase

Variáveis	Descrição / Valor
Materiais testados	m1- m2 - m3 - m4 - m5 - m6 - m7 - m8 - m9 - m10
Altura do leito em repouso (m)	1,0
Vazão (L/h)	43,3 – 65 – 87 – 120 – 140 – 180 - 227 – 260 – 302 – 330 – 405 – 443 – 481 - 599
Velocidade de aproximação (m/d)	100 – 150 – 200 – 277 – 323 – 416 - 523 – 598 – 698 – 760 – 936 – 1022 – 1111 - 1383

Nota: As velocidades de aproximação correspondem às vazões indicadas. Altura do leito em repouso é a altura do leito antes da expansão.

Foram testados três ou quatro materiais de cada vez, um em cada floclador, indicados pelos números 1, 2 , 3 e 4 na Figura 4.4. Os procedimentos adotados foram os seguintes:

- Ajuste da vazão de ensaio: os testes sempre iniciavam com vazão menor;
- Medição da perda de carga (através de piezômetros) no floclador antes da colocação do material. O fluxo de água pode ser desviado do floclador através de by-pass;
- Colocação dos materiais em cada floclador. O material era colocado deixando-se cair no floclador cheio de água até formar uma camada com a altura desejada;
- Início dos testes fazendo passar pelos flocladores a vazão desejada, a qual fora aferida previamente através do método volumétrico;

- e) Registro em planilha da vazão, temperatura da água, perda de carga, e expansão do leito e demais características dos materiais. Esses registros eram feitos a cada dez minutos durante quarenta minutos, após observada a estabilização da expansão ou não do material, resultando portanto quatro medidas;
- f) Colocação dos flocladores em by-pass para alteração da vazão de ensaio. (retorno ao item “d” desta seqüência);

O procedimento descrito foi repetido até que cada material fosse testado para as diferentes vazões indicadas na Tabela 4.2.

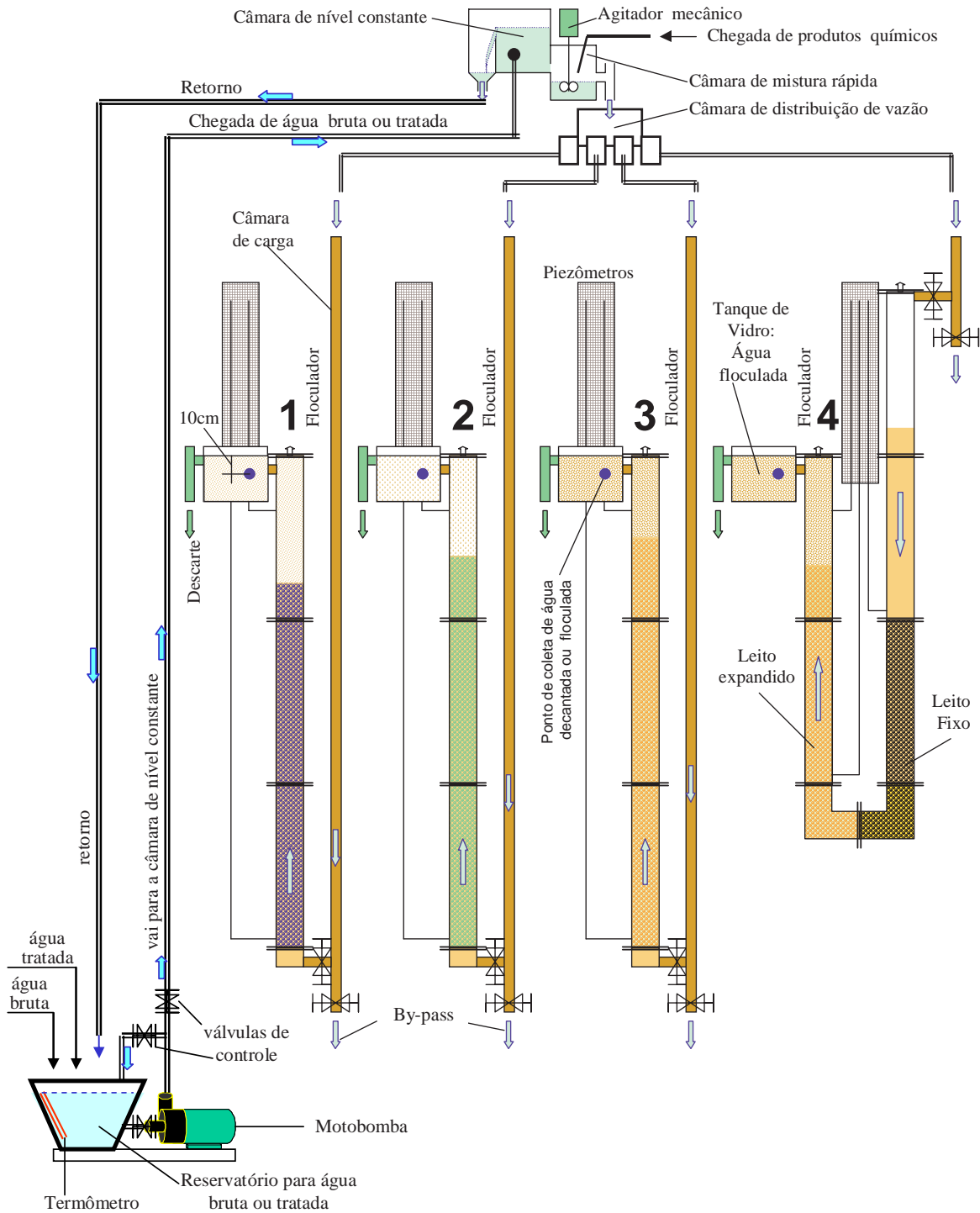


Figura 4-4 - Sistema piloto para ensaios de floculação com diferentes materiais

Fotos dessa instalação piloto podem ser vistas no Apêndice II.

4.3 Segunda fase: Estudo da floculação em meio granular

Nessa fase foram estudadas as características da floculação em meio granular utilizando os materiais descritos na primeira fase. Os estudos iniciaram com ensaios de jarteste para a determinação da dosagem de coagulante e pH de coagulação, do tempo e gradiente de mistura rápida. Também foram avaliadas em jarteste as condições de floculação para diferentes tempos e gradiente de velocidade. Posteriormente os ensaios foram realizados em sistema piloto (Figura 4.4). Nessa etapa os floculadores foram alimentados com água coagulada. Para cada material variou-se a altura inicial do leito e a velocidade de aproximação.

O sistema piloto permitiu testar até quatro materiais ou configuração de leito de cada vez. A avaliação da floculação foi feita em termos da quantidade e tamanho dos flocos formados, desenvolvimento da perda de carga em Filtros de Areia de Laboratório – FLA's, sedimentabilidade dos flocos, perda de carga e autolimpeza dos floculadores. Os demais detalhes destes estudos são apresentados nos itens seguintes.

4.3.1 Águas de estudo

Na etapa inicial dessa fase que envolveu os ensaios em jarteste foram estudadas as condições de floculação para três águas distintas conforme Tabela 4.3.

Tabela 4-3 - Natureza das águas de estudo

Descrição	Nome do manancial	Localização do manancial
Água I	Lagoa do Peri	Florianópolis (Ilha) - SC
Água II	Rio Vargem do Braço	Santo Amaro da Imperatriz - SC
Água III	Rio Cubatão Sul	Santo Amaro da Imperatriz - SC

A lagoa do Peri é um manancial de água doce, com área superficial da ordem de 5 Km², apresenta excelente estado de preservação, e tem como principal fonte de reabastecimento as águas das chuvas. Atualmente é utilizada para abastecimento de uma população da ordem de 60.000 hab. , fornecendo uma vazão de 200 L/s. Suas águas apresentam valores médios anuais relativamente baixos de cor aparente e verdadeira (< 60 uH e < 8 uH respectivamente), de turbidez (< 8 uT), e de alcalinidade total (< 12 mg/L CaCO₃). Entretanto, a quantidade de fitoplâncton atinge valores

bastantes elevados (acima de 100.000 indivíduos / mL), com forte influência sazonal sobre a quantidade e diversidade das espécies.

O rio Vargem do Braço (Pilões) caracteriza-se por apresentar águas com baixa turbidez (valores médios anuais < 10 uT), e cor aparente ligeiramente superior (valores médios anuais da ordem de 40 uH). Entretanto em períodos chuvosos tem sido registrado picos de até 400 uH. A origem da cor decorre da captação ser feita numa represa próxima das nascentes do rio, cercada por mata atlântica, que contribui com o aporte de matéria orgânica para o manancial em questão. O pH de suas águas oscila entre 6 e 7 durante praticamente todo o ano, e a alcalinidade total varia de 5 a 18 mg/L CaCO_3 .

O rio Cubatão Sul está inserido numa bacia hidrográfica de intensa atividade agrícola, onde se verificam práticas inadequadas de manejo do solo, como a destruição da mata ciliar. Suas águas apresentam valores médios anuais de turbidez e cor aparente da ordem de 25 uT e 50 uH, respectivamente. Entretanto, em períodos chuvosos, aproximadamente 5% do tempo, a turbidez e a cor aparente sobem bruscamente, havendo registros de picos, embora de curta duração (24 horas aproximadamente), de 600 uT e 1000 uH, respectivamente. O pH e a alcalinidade total, em média, situam-se na faixa de 6,7 e 13 mg/L CaCO_3 , respectivamente. O rio Cubatão Sul e o rio Vargem do Braço são responsáveis pelo abastecimento de aproximadamente 500.000 hab. na região conurbada de Florianópolis.

Para os ensaios realizados, as águas dos rios Vargem do Braço e Cubatão Sul foram coletadas nas respectivas câmaras de chegada de água bruta, na Estação de Tratamento de Água do Morro dos Quadros, no município de Palhoça, SC.

O ponto escolhido para coleta das amostras de água da lagoa do Peri, localiza-se na tubulação (subterrânea) proveniente do sistema de recalque, num ponto imediatamente a montante da base da câmara de chegada de água bruta na ETA (Figura 4.1), onde foi instalado um colar de tomada para alimentar o sistema piloto (Figura 4.4).

O ponto foi escolhido por situar-se antes da aplicação de qualquer produto químico, e representar fielmente a qualidade da água que está sendo aduzida ao sistema de tratamento. Análises prévias mostraram não haver diferença entre amostras coletadas diretamente na lagoa, próximo à captação da CASAN, e o local escolhido.

As águas tipo II e III foram utilizadas apenas nos ensaios de jarreste na segunda fase da pesquisa, e os dados de qualidade serão apresentados nos resultados, enquanto a tipo I foi utilizada na segunda e terceira fase, razão pela qual teve um acompanhamento de qualidade maior, conforme Tabela 4.4.

Tabela 4-4 - Parâmetros de controle de qualidade da água bruta

Parâmetro	Método analítico / Equipamento associado	Frequência
Alcalinidade total	Volumétrico / Titulador digital	S
Clorofila a	NUSCH – extração com etanol / *Espectrofotômetro	M
Cor aparente	APHA Platinum-Cobalt – S.M / **Espectrofotômetro, $\lambda = 455\text{nm}$	D
Cor verdadeira	Idem ao da cor aparente, com filtragem em membrana $0,45\mu\text{m}$	S
COT	Kit HACH / **Espectrofotômetro	M
Condutividade	Condutivímetro HACH	D
Cloretos	Volumétrico / Titulador digital c/ nitrato de prata	M
Dureza Total	Volumétrico / Titulador digital c/ EDTA	M
Fitoplâncton	Contagem em câmara de SR com microscópio invertido	M
Nitrato	Kit HACH / **Espectrofotômetro	M
Oxigênio dissolvido	Kit HACH / **Espectrofotômetro	M
pH	pHmetro HACH SensIon	D
Sólidos Dissolv. Totais	Condutivímetro HACH	D
Temperatura	Termômetro de mercúrio	D
Turbidez	Turbidímetro portátil HACH DR 2100P	D

D = diária; S = semanal; M = mensal ; * HACH DR 4000, ** HACH DR 2010 . OBS: foram coletadas quatro amostras para contagem de partículas.

4.3.2 Produtos químicos e sistema de dosagem

Nos ensaios de jarreste e em sistema piloto, foram utilizados os seguintes produtos químicos:

Coagulantes: Sulfato de Alumínio comercial (SA) \Rightarrow Foi tomado do lote em uso na ETA da lagoa do Peri. O controle de qualidade realizado indicou teores de Al_2O_3 da ordem de 14,5%. As soluções, com concentração de 1% (massa/massa) foram preparadas diariamente com água filtrada, produzida na ETA citada.

Hidróxicloreto de Alumínio (PAC) \Rightarrow Produto em estado líquido fornecido pela empresa química PANAMERICANA. O lote fornecido com atestado de qualidade, indicou concentrações de Al_2O_3 da ordem de 10,5%, e basicidade de 67,47%. A partir

do lote fornecido, diariamente foram preparadas soluções diluídas com concentração de 1%. Esse produto foi utilizado apenas na 3ª fase da pesquisa.

Alcalinizante: Cal hidratada comercial utilizada na ETA da Lagoa do Peri. Soluções a 0,5% (massa/massa) preparadas diariamente com água filtrada.

Acidificante: Ácido sulfúrico PA. Solução com concentração 0,05 N preparada diariamente com água filtrada.

Nos ensaios em sistema piloto os produtos químicos foram aplicados com bombas dosadoras tipo pistão ilustradas pela Figura 4.8. A aferição das bombas, através do volume succionado, era feita por meio de proveta e cronômetro.

Os demais produtos químicos utilizados nas análises de controle de qualidade da água bruta ou não, eram de padrão analítico.

4.3.3 Ensaios de bancada em jarteste

Os ensaios de jarteste são feitos de forma a buscar a otimização dos parâmetros de mistura rápida, coagulação e floculação, para utilização futura nos ensaios em sistema piloto.

4.3.3.1 Equipamento de jarteste

O equipamento de jarteste deve atender certas características, principalmente com relação ao controle do gradiente de velocidade, sobretudo quando se trata de ensaios para filtração direta, onde as condições de mistura rápida exercem papel determinante no processo de desestabilização das partículas. O modelo utilizado para o desenvolvimento desses ensaios, ilustrado pela Figura 4.5, tem as seguintes características:

- ✓ Modelo: LDB 310;
- ✓ Fabricante: NovaÉtica;
- ✓ Nº de jarros: 6 com capacidade individual de 2 L;
- ✓ Sistema de extração de amostras: basculamento simultâneo;
- ✓ Gradientes de velocidade: variável de 10 a 2000 s⁻¹ (20 a 800 rpm);
- ✓ Controle de rotação: tacógrafo digital;

- ✓ Paletas: retangulares com sistema de haste livre que permite isolar um jarro sem parar os demais.



Figura 4-5 - Equipamento de jarreste utilizado nos experimentos

4.3.3.2 Série I: Condições de coagulação

Foi realizado uma série de ensaios variando a dosagem de coagulante e o pH de coagulação. Avaliou-se a qualidade da água filtrada em termos de remoção da turbidez e cor aparente, filtrando-a em pequenos filtros de areia (FLA - Filtro de Laboratório de Areia). Nesse caso a água filtrada nos primeiros 20 minutos era descartada, coletando-se em seguida cerca de 50 mL para análise. Com os valores obtidos montou-se o diagrama de coagulação para escolha de um ou mais pontos de trabalho, ou seja, escolha do melhor resultado em termos do binômio: dosagem de coagulante x pH de coagulação.

As condições inicialmente adotadas foram as seguintes:

- ✓ Gradiente de velocidade de mistura rápida: $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$
- ✓ Tempo de mistura rápida: $T_{mr} = 30 \text{ s}$
- ✓ Gradiente de velocidade após a mistura rápida: $G_{amr} = 150 \text{ s}^{-1}$
- ✓ Granulometria da areia do FLA: 0,42 a 0,84 mm e tamanho efetivo = 0,5 mm
- ✓ Altura da camada de areia: 15 cm
- ✓ Carga hidráulica para filtragem no FLA: constante e igual a 11 cm.
- ✓ Parâmetros de controle: pH de coagulação e turbidez do filtrado. Equipamentos indicados na Tabela 4.4.

Os resultados são mostrados nas Tabelas A1.1 a A1.7, A1.B1 a A1.B4, A1.C1 a A1.C9, A2.1 a A2.4 e A3.1 a A3.3 no APÊNDICE II.

4.3.3.3 Série II: Verificação do tipo de areia dos FLAS

Os ensaios dessa série foram feitos apenas com a água tipo I (Lagoa do Peri), e tiveram por objetivo encontrar a granulometria da areia para o FLA, que produzisse água com as características mais próximas daquela produzida pelos filtros da ETA da lagoa do Peri. A opção de fazer esses ensaios apenas com um tipo de água, foi devido ao fato de que os ensaios em sistema piloto na fase seguinte da pesquisa, também seriam feitos apenas com aquele tipo de água. Foram realizados ensaios de filtração direta com a dosagem de sulfato de alumínio e o pH de coagulação definidos na série I. As granulometrias das areias testadas foram as seguintes:

- ✓ Areia tipo 1: grãos entre 0,30 e 0,59 mm e $D_{10} = 0,43$ mm
- ✓ Areia tipo 2: grãos entre 0,42 e 0,84 mm e $D_{10} = 0,50$ mm
- ✓ Areia tipo 3: grãos entre 0,59 e 1,41 mm e $D_{10} = 0,70$ mm
- ✓ Parâmetros de controle: pH de coagulação e turbidez do filtrado. Equipamentos indicados na Tabela 4.4.

As condições para a realização dos ensaios foram as mesmas utilizadas na série I, e os resultados são mostrados na Tabela A1.8 no APÊNDICE II.

A taxa de filtração do FLA deve ficar entre 80 e 100 m/d. O filtro utilizado trabalhou com carga hidráulica constante, permitindo avaliar a evolução da perda de carga em função do volume filtrado e do tempo gasto. Na Figura 4.5 pode ser visualizado a utilização do FLA acoplado ao equipamento de jarteste. A Figura 4.6 mostra um FLA em detalhes e o procedimento de limpeza após cada ensaio.

4.3.3.4 Série III: Verificação das condições de mistura rápida

Foram realizados ensaios de filtração direta com a dosagem de sulfato de alumínio e pH de coagulação definidos na série I, com a granulometria de areia do FLA definida na série II.

Esses ensaios foram feitos com as águas tipo I, II e III. As variações ensaiadas para mistura rápida foram as seguintes:

- ✓ Gradiente de velocidade para mistura rápida (s^{-1}): 600 – 900 – 1200 – 1500

- ✓ Tempo de mistura rápida (s): 5 – 10 – 15 – 20 – 25 – 30
- ✓ Parâmetros de controle: pH de coagulação e turbidez do filtrado. Equipamentos indicados na Tabela 4.4.

Os resultados são mostrados nas Tabelas A1.9 a A1.12, A2.5 a A2.8, e A3.4 a A3.7 no APÊNDICE II.

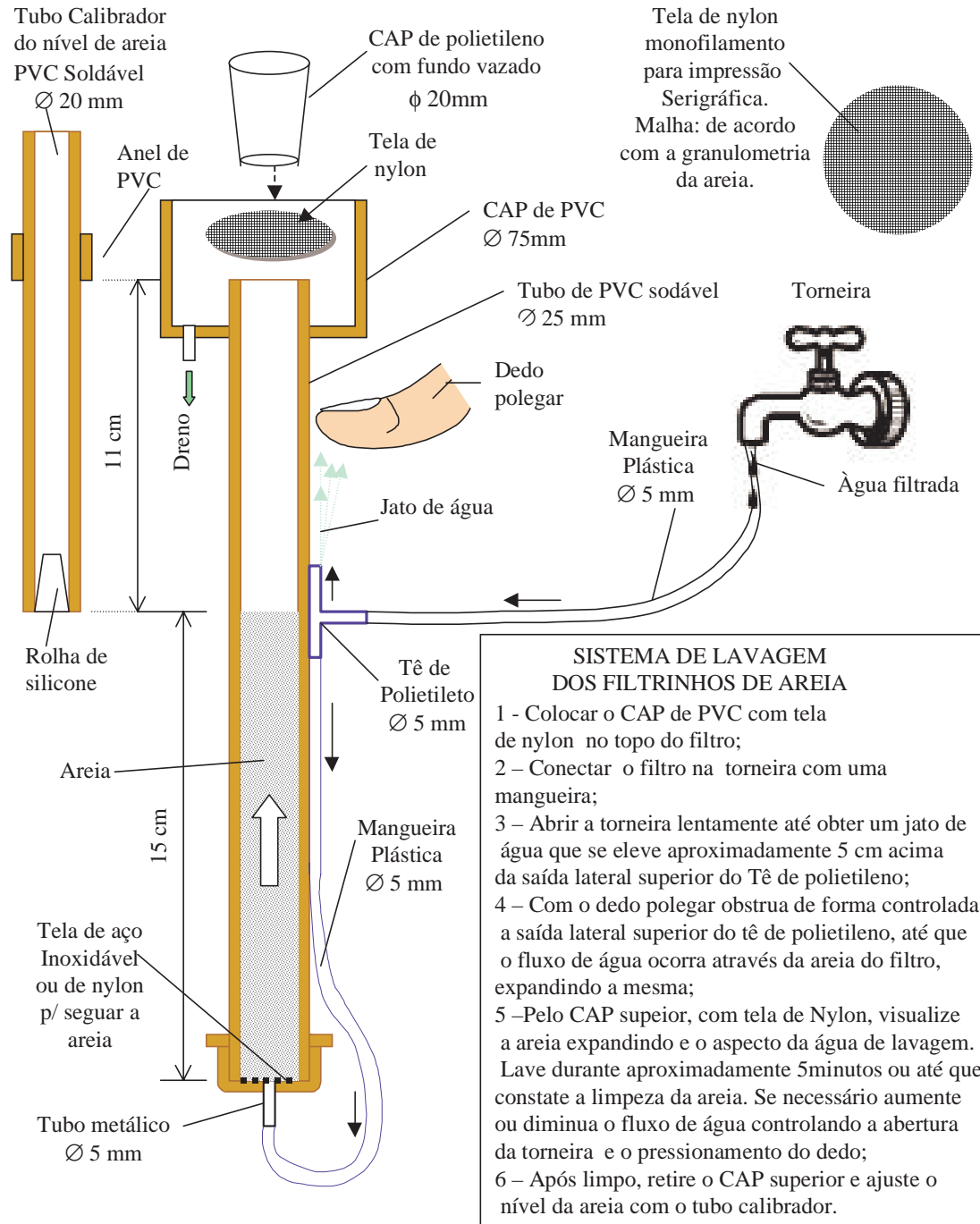


Figura 4-6 - Detalhes do filtro de laboratório de areia (FLA) e do procedimento de lavagem

4.3.3.5 Série IV: Verificação das condições de floculação

Encontrado os melhores valores para o tempo e gradiente de mistura rápida, para a dosagem de coagulante e o pH de coagulação, partiu-se para avaliar as condições de floculação. Em uma série de ensaios variou-se o tempo e o gradiente de velocidade. A Tabela 4.5 mostra as variações para gradiente de velocidade e tempo, no processo de otimização das condições de floculação nos ensaios de jarteste realizados, e demais condições definidas nas séries anteriores para cada água estudada. Os resultados são mostrados nas Tabelas A1.13 a A1.18, A2.9 a A2.14, e A3.8 a A3.13 no APÊNDICE II.

Tabela 4-5 - Condições de floculação ensaiadas em jarteste

Parâmetro (unidade)	Valores		
Gradiente de velocidade para floculação (s ⁻¹)	10 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60		
Tempo de floculação (min)	0 - 1 – 5 – 10 -15 – 20 – 30		
	Água Tipo I	Água Tipo II	Água Tipo III
Tempo de mistura rápida (s)	30	20	25
Gradiente de mistura rápida (s ⁻¹)	1200	1200	900
Sulfato de Alumínio (mg/L)	9	6	8
pH de coagulação	6,24	6,5	6,55

4.3.3.6 Série V: Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs

Para a água tipo I foram feitos também ensaios para avaliar a evolução da perda de carga nos FLAs, observando-se a variação da taxa de filtração. Foi escolhido a água tipo I por ser a água utilizada para as carreiras de filtração na terceira fase da pesquisa. A produção de flocos foi avaliada visualmente em termos quantitativos e também por registros de imagens fotográficas. O tamanho dos flocos foi avaliado através do índice de Willcomb, utilizando-se a grade visual representada pela Figura 3.6. Nesses ensaios,

para cada binômio Tempo x Gradiente relativo às condições de floculação, foi adotado o seguinte procedimento:

- ✓ Operação do FLA com carga hidráulica constante de 11cm;
- ✓ Descarte dos primeiros 100 mL da água filtrada;
- ✓ Coleta seqüenciada de seis alíquotas de 40 mL com cronometragem do tempo de filtragem. Após encerrado o tempo de floculação estabelecido o aparelho foi desligado e iniciado o período de descarte e posteriormente a coleta das alíquotas. A transferência da água floculada dos jarros para os FLAs foi feita de forma contínua, por sifonamento, através de mangueiras de borracha, cuja extremidade de montante estava posicionada a cerca de 1cm do fundo do jarro. A Figura 4.7 ilustra esse procedimento.

As condições de coagulação e mistura rápida foram aquelas definidas nas séries anteriores. Os gradientes de velocidade e tempo de floculação ensaiados foram os seguintes:

Gradiente de velocidade para floculação (s^{-1}): 15 – 20 – 30 – 40 – 55 – 75

Tempo de floculação (min): 0 - 5 – 10 – 15 – 20 – 25 – 30

Os resultados são mostrados nas Tabelas A1.19 a A1.24 no Apêndice II.

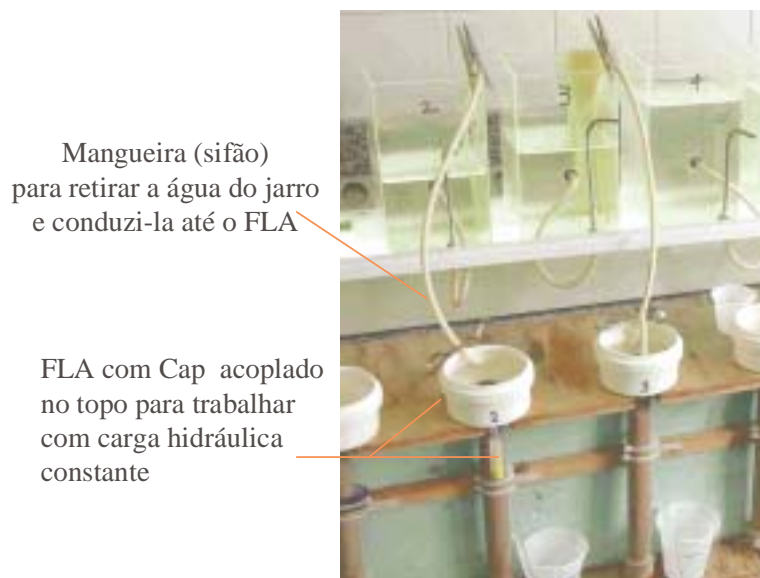


Figura 4-7 - Detalhe da retirada de amostra durante os ensaios de jarreste para avaliar a evolução da perda de carga nos FLAs

4.3.4 Ensaios em sistema piloto com água coagulada

Esses ensaios foram feitos apenas com a água Tipo I. Foi utilizado o sistema piloto representado pela Figura 4.4 já apresentada no item 4.2.2. Foram realizados ensaios com dez tipos de materiais em treze configurações de leito, além das variações na altura inicial do leito conforme mostrado na Tabela 4.6. As planilhas com os resultados obtidos, Nflo1 a Nfloc32 estão no APÊNDICE II .

Tabela 4-6 - Ensaios de floculação realizados em sistema piloto

Material	*Alturas iniciais de leito ensaiadas (cm)	Velocidades de aproximação ensaiadas (m/d)	Nº total de ensaios
M01	120-139	598-689-936-1022-1110-1383	14
M02	150-191	598-689-936-1022-1110-1383	6
M03	120-150-170	598-689-936-1022-1110-1383	14
M04	94,5-200	1022-1110-1383	12
M05	100-150-180-200	389-523-760	6
M06	100-150-160-180-200	389-523-760	6
M07	100-150-180-200	389-523-760	6
M08	200	936-1383	2
M09	200	936-1383	2
M10	200	936-1383	2
M05+M10	140+110	760	1
M06+M10	110+110	760	2
M09+M06	120+100-160+95	760-936	3

* Alturas iniciais de leito = alturas do leito em repouso

As configurações que utilizaram apenas um tipo de material foram ensaiadas nos floculadores 1, 2 e 3, e as configurações com dois materiais, no floculador 4, indicados na Figura 4.4.

4.3.4.1 Características gerais dos ensaios

Os ensaios tiveram duração variável de 3 a 58 horas, com média em torno de 5 horas. O tempo de cada ensaio foi o necessário para que fossem observadas condições de estabilidade em termos de expansão ou não do meio granular, equilíbrio da perda de carga, e produção de flocos. As condições de coagulação foram definidas previamente conforme item 4.3.3. As condições de coagulação e floculação foram monitoradas de hora em hora conforme item seguinte.

4.3.4.2 Parâmetros de controle

O acompanhamento da floculação foi feito através de planilhas especificamente elaboradas para cada tipo de ensaio. No início de cada dia de trabalho foi feita uma caracterização da água bruta envolvendo os parâmetros: temperatura, pH, cor aparente e verdadeira, turbidez, alcalinidade, condutividade e sólidos totais dissolvidos.

Eventualmente foram coletadas e preservadas amostras para contagem e identificação de fitoplâncton, e determinação da matéria orgânica (COT). Foram registrados no início de cada ensaio (tempo zero) e a seguir de hora em hora até o final do ensaio: Para água bruta – turbidez, temperatura, pH e cor aparente; Para água Floculada – turbidez; Para água coagulada – pH. Com a mesma frequência foram medidas a perda de carga no meio granular e a expansão, além da avaliação visual da produção e tamanho dos flocos comparando com o índice de Willcomb. Para esse procedimento, a representação do tamanho dos flocos foi impressa em transparências (uma para cada faixa), as quais eram colocadas sobre a parede lateral externa do tanque de vidro localizado na saída de cada floculador.

A qualidade da floculação também foi avaliada através de duas maneiras:

- a) Ensaio de sedimentação: realizados no tanque de vidro na saída do floculador após colocar o floculador em by-pass, para duas velocidades: 0,75 e 1,5 cm/min. Foram medidas cor aparente e turbidez da água decantada;
- b) Ensaio de filtração em FLA: As características dos FLAs foram definidas no item 4.3.3.3. Os teste foram feitos com o floculador em operação, acoplando-se um FLA na lateral do tanque de vidro citado no item anterior. Foram coletadas amostras de 50 mL para análise da cor aparente e turbidez, após tempos de descarte de 5, 15 e 25 minutos.

4.3.4.3 Critérios de avaliação dos resultados

Dentre as configurações ensaiadas nessa fase em termos de material, altura inicial do leito, velocidade de aproximação, gradiente de velocidade, entre outras, uma foi escolhida para ser empregada na fase seguinte da pesquisa. Os critérios para escolha foram os seguintes:

- a) Autolimpeza do floculador – manutenção da perda de carga e expansão do leito ao longo do tempo (peso 2);

- b) Turbidez da água filtrada em FLA – a menor (peso 1);
- c) Relação entre turbidez das águas floculada e bruta – a maior (peso 2);
- d) Turbidez da água decantada: $v_s = 0,75$ cm/min. – a menor (peso 1);
- e) Cor aparente da água decantada: $v_s = 0,75$ cm/min – a menor (peso 1);
- f) Variação da taxa de filtração em FLA: diferença entre a taxa após tempo de descarte de 5 min. e a taxa após tempo de descarte de 25 min. – a menor (peso 2).

Para cada material foram escolhidos dois ensaios para cada critério. O ensaio que apresentou melhor desempenho no critério recebeu o valor integral do peso, e o segundo colocado recebeu metade do peso. Ao final foram somados os pesos obtidos em cada ensaio. O ensaio com maior pontuação foi escolhido com sendo representativo para aquele material. Ao final foram comparadas as treze configurações sob os mesmos critérios, e escolhido o material e a respectiva configuração para a próxima fase da pesquisa.

4.4 Terceira fase da pesquisa: Carreiras de filtração em filtro piloto

Com o material e demais condições de floculação definidas na fase anterior dos estudos, foram realizadas várias carreiras de filtração, encaminhando a água pré-floculada ou não para a filtração direta descendente, cujo sistema piloto é indicado pela Figura 4.8.

Esse grupo de ensaios foi feito apenas para a água tipo I (água da lagoa do Peri), e utilizou-se como coagulantes hidroxiclreto de alumínio e sulfato de alumínio, ambos descritos no item 4.3.2. Nos testes iniciais o filtro descendente era de dupla camada conforme configuração L2 indicada na Tabela 4.7. Essa configuração foi estudada por ser a mesma dos filtros da ETA citada no início desse trabalho. Posteriormente o meio filtrante foi substituído pela configuração L1.

4.4.1 Sistema piloto

A Figura 4.8 ilustra o sistema piloto utilizado, composto por unidades de floculação e filtração, em série. Algumas de suas partes constitutivas como as câmaras de nível constante e distribuição de vazão, e o floculador, já foram descritas nos itens 4.2.2 e 4.3.2. As demais são apresentadas na seqüência. A Foto 02 do Apêndice II permite visualizar diferentes partes do sistema piloto utilizado.

4.4.1.1 Reservatório de água bruta

É um reservatório de PVC com capacidade útil de 200 L. que pode ser alimentado por gravidade com a mesma água bruta fornecida para a ETA da lagoa do Peri. O controle da entrada de água é feito por torneira bóia, e por segurança existe um extravasor para garantir o nível constante. Esse reservatório, um dos pontos de coleta durante os experimentos, tem instalado um termômetro de mercúrio para leituras freqüentes da temperatura da água.

A partir dessa unidade a água é bombeada para uma câmara de nível constante, de onde, por gravidade, passará alimentar flocladores e filtro. A bomba trabalha afogada e possui na linha de recalque um sistema de recirculação e medidor eletrônico de vazão. O pequeno volume do reservatório propicia tempo de detenção hidráulica da ordem de 5 a 10 minutos. O excesso de água bombeada para a câmara de nível constante retorna para este reservatório.

4.4.1.2 Câmara de mistura rápida

A mistura rápida é mecanizada, e o agitador mecânico possui paletas recambiáveis e controle de rotação. Essa unidade recebe água proveniente da câmara de nível constante. O volume dessa unidade pode ser ajustado através de um tubo roscável de comprimento variável, conectado a uma curva voltada para cima, regulando assim o nível de água dentro da câmara. Com esses dispositivos, é possível através de cálculos ajustar a unidade para operar com gradiente e tempo de detenção desejados. Nesta unidade são adicionados os produtos químicos para o processo de coagulação, em função da vazão global fornecida pela câmara de nível constante.

4.4.1.3 Filtro

O filtro, de escoamento descendente, foi construído em aço inoxidável, com seção interna quadrada de 19,5cm x 19,5 cm. Possui altura total de 4,2m, composto por uma base de 0,2m (fundo falso) e mais quatro módulos de 1 m, unidos por flange com anel de borracha para vedação. Os três primeiros módulos acima da base possuem visores laterais em chapa de acrílico para observação do meio filtrante durante a lavagem. O fundo falso utilizado foi uma chapa de aço perfurada. No fundo do filtro foi

instalado um conjunto de difusores porosos para injeção de ar durante a lavagem. Os módulos possuem várias tomadas laterais com roscas internas. Os diâmetros das tomadas são os seguintes: piezômetros $\phi = 20\text{mm}$; saída de água filtrada e descarga de fundo $\phi = 32\text{mm}$; entrada de água coagulada ou não $\phi = 50\text{mm}$; saída de água de lavagem $\phi = 40\text{mm}$.

Os meios filtrantes utilizados no filtro piloto são mostrados na Tabela 4.7. O meio L2, de camada dupla, antracito e areia, foi adotado por ser a configuração em uso na ETA da lagoa do Peri. O meio L1, de camada única de antracito, representa uma alternativa com granulometria maior que o leito L2, porém com maior altura, com o objetivo de potencializar o aumento na duração das carreiras de filtração e a qualidade da água filtrada.

Tabela 4-7 - Composição dos meios filtrantes utilizados no filtro piloto

CARACTERÍSTICAS	MEIO L1	MEIO L2	
Material	Antracito	Antracito	Areia
Espessura da camada	143 cm	90 cm	30 cm
Tamanho efetivo dos grãos	2,5 mm	1,1	0,50 mm
Coefficiente de desuniformidade (CD)	1,1	1,1	< 2
Camada suporte com 35 cm de espessura foi utilizada para ambos meios.			
Características			
Subcamadas	Diâmetro (mm)	Espessura (cm)	
Topo	19,0 a 12,7	5	
6 ^a camada	12,7 a 6,4	5	
5 ^a camada	6,4 a 3,2	5	
4 ^a camada	3,2 a 1,6	5	
3 ^a camada	3,2 a 6,4	5	
2 ^a camada	6,4 a 12,7	5	
Base	12,7 a 19,0	5	

4.4.1.4 Preparo e dosagem de produtos químicos

As soluções de sulfato de alumínio, hidroxiclreto de alumínio e cal foram preparadas em tambores de 50 L de capacidade, enquanto a solução de ácido sulfúrico foi preparada em tambores de 20 L. Os recipientes tem marcações indicando o volume previamente aferido utilizando-se provetas graduadas. A pesagem dos produtos sólidos foi feita em balança analítica. As diluições foram feitas com provetas ou balões volumétricos. A dosagem dos produtos químicos foi feita por bombas dosadoras tipo

pistão, dotadas de macro e micro regulação. A aferição das bombas foi feita volumetricamente com provetas e cronômetro. A solução de cal foi mantida em constante movimento através de agitadores magnéticos.

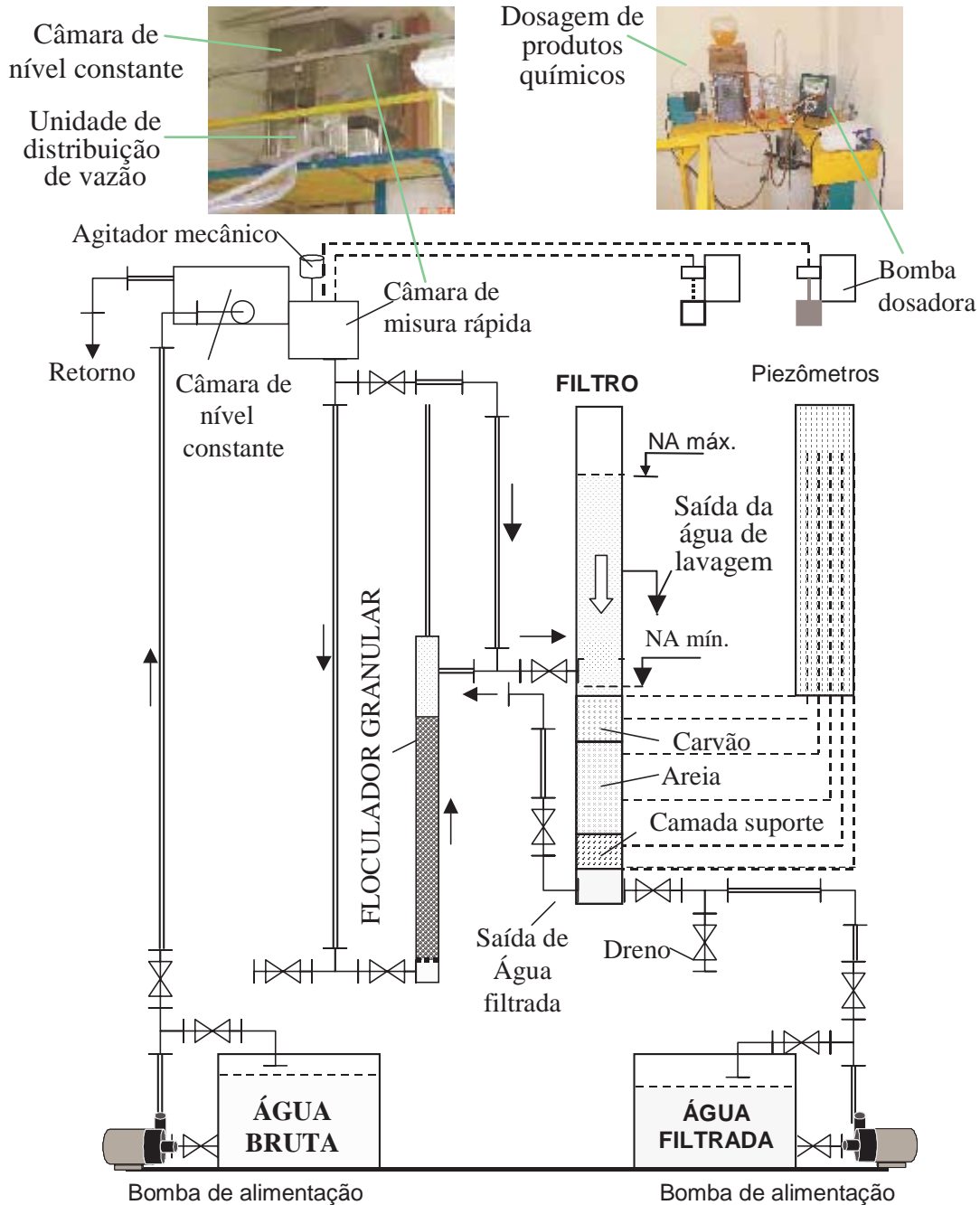


Figura 4-8 - Arranjo geral do sistema piloto para ensaios de floculação e filtração

4.4.2 Ensaios de filtração com e sem pré-floculação

O filtro operou com taxa constante de 200 m³/m².d. e carga hidráulica variável. O término dos ensaios ocorreu quando a perda de carga total no meio filtrante atingiu 1,76 m para o meio filtrante L1 e 2,0 m para o meio filtrante L2, ou a qualidade da água filtrada entrou em processo crescente de degradação (transpasse).

Os ensaios foram realizados em dias consecutivos, alternadamente com e sem pré-floculação, cujas características são mostradas na Tabela 4.8. A limpeza do filtro foi feita com ar e água filtrada bombeada, com ciclos alternados: injeção de ar por 5 min – injeção de água filtrada por 5 – injeção de ar por 5min - injeção de água filtrada por 5 min.

A injeção de água para lavagem, com velocidade ascensional de 1 m/min, foi controlada por medidor eletrônico de vazão. A injeção de ar, na razão de 20 L/s.m² (2736 L/h), foi controlada pela regulagem da pressão de alimentação, fixada em 1 atm, previamente aferida com rotâmetros.

Tabela 4-8 - Ensaios de filtração direta descendente realizados

Meios filtrantes	Ensaios sem pré-floculação	Ensaios com pré-floculação	
Leito L1 Taxa: 200 m ³ /m ² .d	Ensaios N°: Ec25spf1 a Ec25spf3 – com sulfato de alumínio	Dados do floculador: Material: m6 (altura inicial = 1,61m) Va = 733 m / d	Ensaios N°: Ec25cpf1 a Ec25cpf3 – com sulfato de alumínio
Leito L1 Taxa: 200 m ³ /m ² .d	Ensaios N°: Epc25spf1 a Epc25spf3 – com hidroxicloreto de alumínio	Dados do floculador: Material: m6 (altura inicial = 1,61m) Va = 733 m / d	Ensaios N°: Epc25cpf1 a Epc25cpf3 com hidroxicloreto de alumínio
Leito L2 Taxa: 200 m ³ /m ² .d	Ensaios N°: c11spf1 a c11spf4 – com sulfato de alumínio	Dados do floculador: Material: m6 (altura inicial = 1,61m) Va = 733 m / d	Ensaios N°: c11cpf1 a c11cpf4 – com sulfato de alumínio

4.4.2.1 Parâmetros de controle

O acompanhamento dos ensaios foi feito através de planilhas, cujo modelo encontra-se no APÊNDICE III. No início de cada dia de trabalho foi feita uma caracterização da água bruta envolvendo os parâmetros: temperatura, pH, cor aparente e

verdadeira, turbidez, alcalinidade, condutividade e sólidos totais dissolvidos. Eventualmente foram coletadas e preservadas amostras para contagem e identificação de fitoplâncton, determinação da clorofila *a*, matéria orgânica (COT).

Foram registrados no início de cada ensaio (tempo zero) e a seguir de hora em hora até o final do ensaio:

Para água bruta e filtrada: temperatura, cor aparente, pH e turbidez;

Para água coagulada: pH;

Para água floculada: Turbidez;

Com a mesma frequência foram medidas a perda de carga no meio filtrante, a perda de carga no meio granular do floculador e a expansão do mesmo, além da avaliação visual da produção e tamanho dos flocos comparando com o índice de Willcomb, conforme descrito no item 4.3.4.2.

A qualidade da floculação também foi avaliada através de ensaios de sedimentação. Estes ensaios foram realizados nas carreiras em que houve pré-floculação. O sistema foi colocado em by-pass, e a sedimentação ocorreu com a água em repouso dentro do próprio floculador. Para duas velocidades de sedimentação, 0,75 e 1,5 cm/min, foram medidas cor aparente e turbidez da água decantada.

A perda de carga foi controlada por 8 piezômetros instalados em diferentes profundidades ao longo do filtro, e por dois piezômetros instalados no floculador, sendo um na base e outro no topo da coluna, fora da zona de expansão do meio granular.

4.5 Considerações sobre a análise dos resultados

4.5.1 Perda de carga, gradiente de velocidade e expansão dos meios granulares

Durante os ensaios da primeira e segunda fases da pesquisa, a temperatura média das águas foi da ordem de 18°C. A alteração de propriedades físicas da água como a viscosidade e a massa específica, influenciam a expansão dos meios granulares estudados em função das velocidades de aproximação aplicadas. Essas alterações incidem sobre o cálculo da perda carga pela equação 3.19 (ERGUN), sobre o gradiente de velocidade pela equação 3.20 e sobre outros cálculos como a velocidade mínima de fluidificação, dada pela equação 3.34. Para comparar valores medidos e valores

calculados com relação aos parâmetros citados, foi usado a curva de variação da massa específica da água representada pela Figura 4.9.

O cálculo do coeficiente de viscosidade dinâmica foi feito pela equação 4.1.

$$\mu = 9,804 \left[\frac{0,000181}{1 + 0,0337 (t) + 0,000221 (t^2)} \right] \quad \text{Equação 4.1}$$

onde: μ = coeficiente de viscosidade dinâmica da água (N.s/m²); t = temperatura (°C).

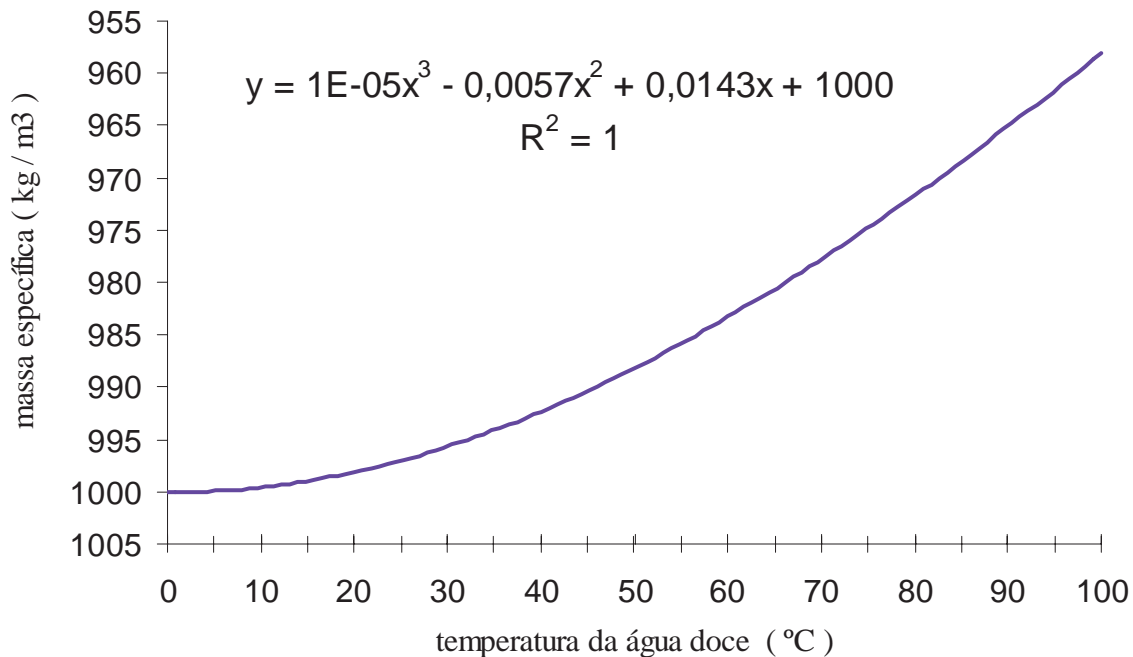


Figura 4-9 - Variação da massa específica da água doce em função da temperatura

4.5.2 Duração das carreiras de filtração

Na terceira fase da pesquisa foram realizados ensaios de filtração direta para duas configurações de meios filtrantes conforme Tabela 4.7. Por limitações do sistema piloto, as carreiras de filtração com o meio filtrante L2 tiveram que ser encerradas quando a perda de carga atingiu 1,76m, enquanto para o meio filtrante L1, de menor altura, as carreiras puderam ser conduzidas até a perda de carga atingir 2m. Sendo assim a duração das carreiras entre os meios filtrantes citados será comparada considerando 1,76m de perda de carga total.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Qualidade da água bruta

Os dados apresentados referem-se ao monitoramento das águas da lagoa do Peri (água tipo I), no período de maio/2001 a junho/2003. Os parâmetros monitorados são os indicados na Tabela 4.4. Os dados de qualidade das águas tipo II e III, por terem sido utilizadas apenas na etapa inicial da segunda fase da pesquisa, estão nos apêndices (Partes A2 e A3) juntamente com os resultados de jarreste. Os dados estão sob a forma de representação estatística Box-Whiskers, por permitir visualizar as variações da qualidade da água bruta, e o período de permanência dentro de certos limites, o que é particularmente interessante, quando se foca a aplicação de uma determinada tecnologia de tratamento de água.

As análises para contagem do número de partículas e suas respectivas faixas de tamanho, foram feitas para um grupo reduzido de amostras, cujo período de coleta não coincide com o indicado anteriormente. Sendo assim, esse parâmetro é apresentado de forma diferenciada em relação aos demais.

Na Figura 5.1 encontram-se alguns parâmetros físicos de qualidade considerados limitantes para o tratamento de águas através da filtração direta descendente. Tomando por exemplo a turbidez, de acordo com a Tabela 3.4, em 90% do tempo deveria ser menor que 10uT e em 100% do tempo, menor que 100 uT. O valor máximo registrado foi 8,68 uT, e em 90% do tempo esteve compreendida entre 3,09 e 7,64 uT, enquadrando-se no recomendado pela Tabela 3.4. A alcalinidade também se enquadrou na tabela citada. O mesmo não foi verificado com relação a cor aparente, que ultrapassou os limites recomendados em 90% e 100% do tempo.

Dos parâmetros apresentados na Figura 5.2 e constantes na Tabela 3.4, o valor mínimo de COT registrado superou o máximo recomendado na tabela citada. Os valores de COT são consequência do fitoplâncton presente, pois as amostras foram digeridas sem filtrar. Por outro lado a cor verdadeira, que reflete também as frações orgânicas dissolvidas na água, cujas amostras foram filtradas em membrana 0,45 μm de acetato de celulose, em 90% do tempo esteve compreendida entre 5 e 9 uH, valores que podem ser considerados baixos.

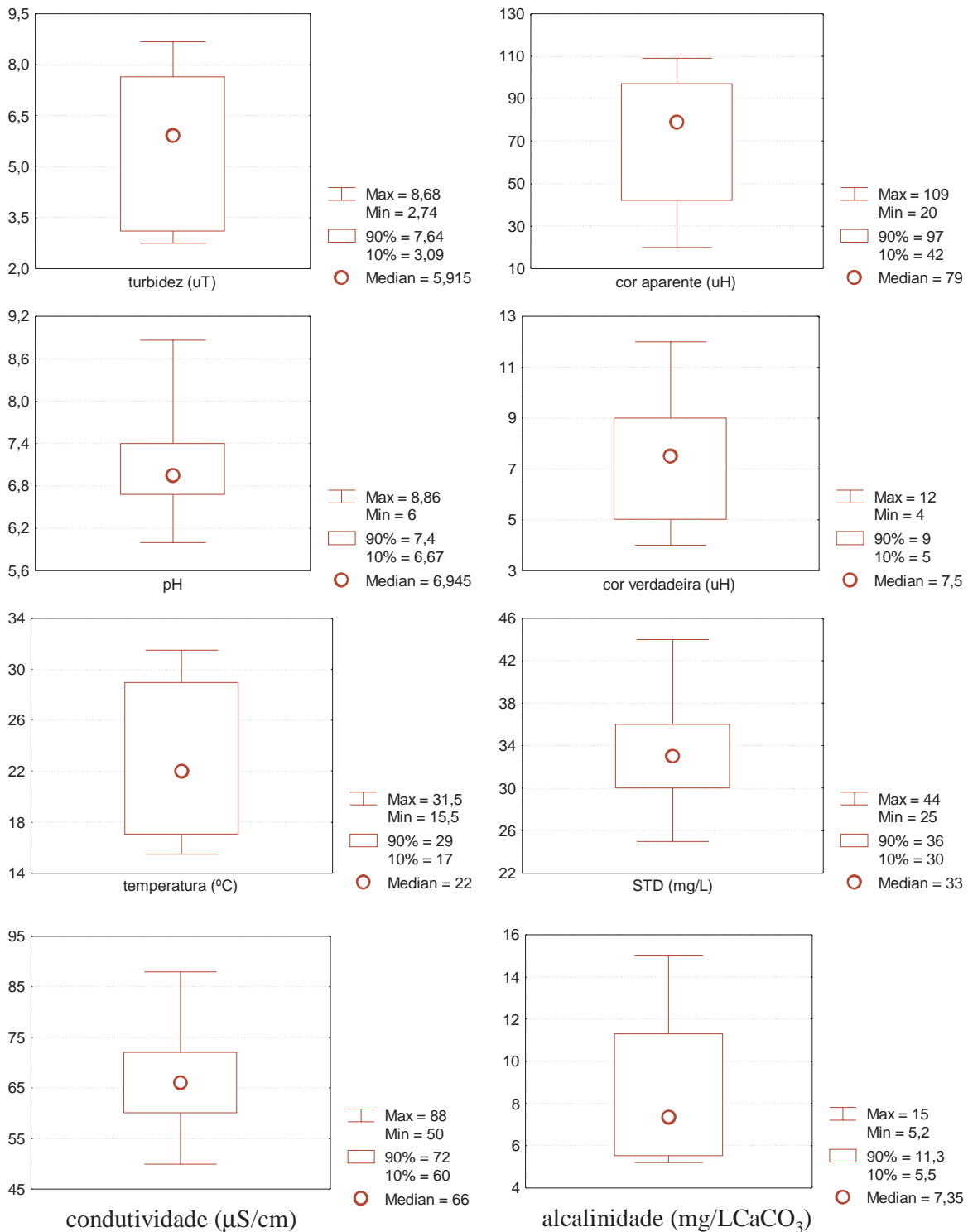


Figura 5-1 - Parâmetros de qualidade da água bruta tipo I

A incidência do fitoplâncton é uma característica marcante do manancial estudado. É difícil estabelecer uma correlação para conversão de (indivíduos / mL) para (UPA / mL) conforme sugere a Tabela 3.4, mas os valores encontrados são

considerados proibitivos para o emprego da filtração direta no tratamento daquelas águas, sem a aplicação de um pré-tratamento.

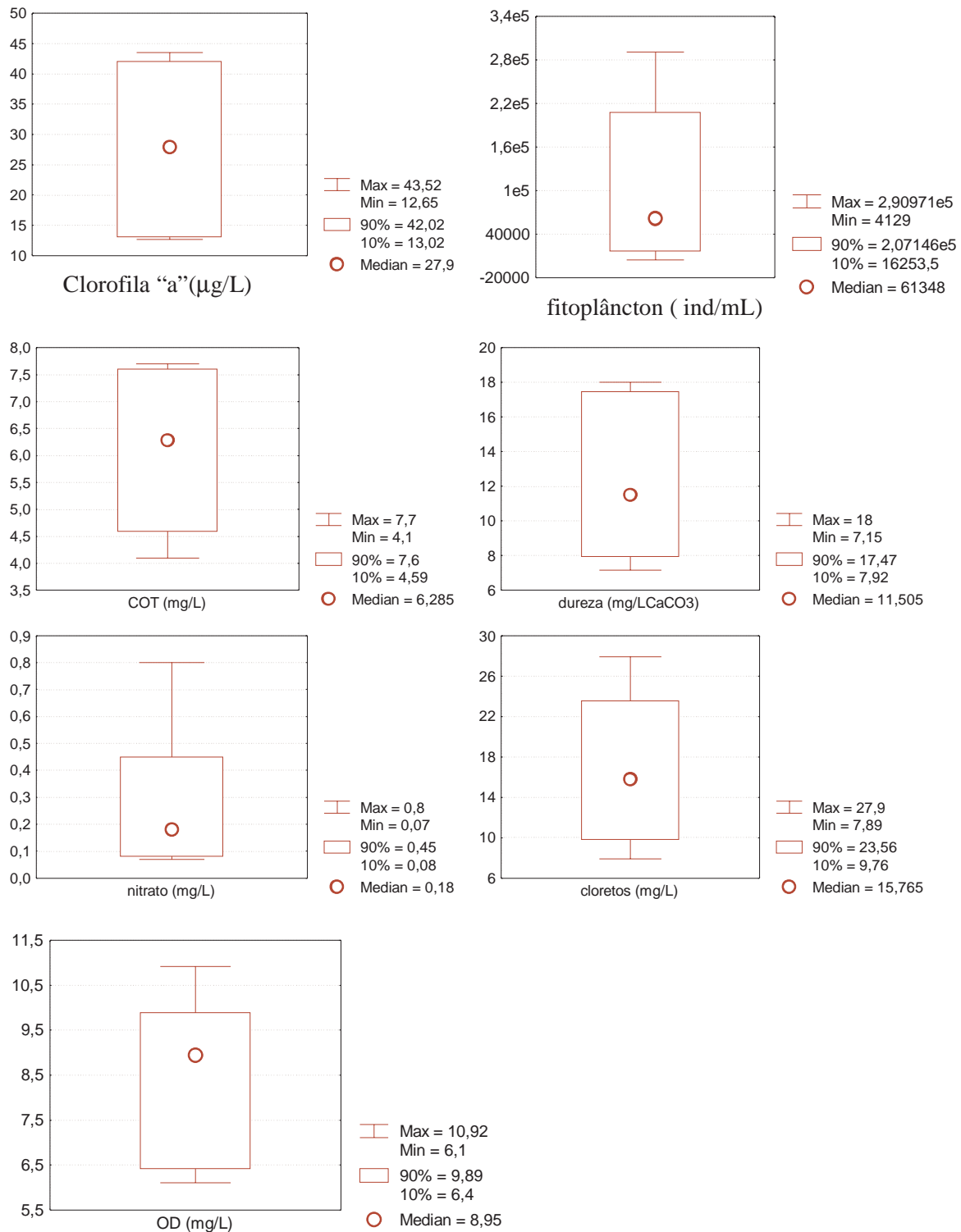


Figura 5-2 - Parâmetros de qualidade da água bruta tipo I – continuação

Os demais parâmetros indicados nas Figuras 5.1 e 5.2, apresentaram valores dentro de faixas que não contra indicam o tratamento daquelas águas por filtração direta descendente.

Para avaliar o tamanho e distribuição das partículas nas águas da lagoa do Peri foram coletadas quatro amostras em dois locais e em datas diferentes. As características dessas amostras são apresentadas na Tabela 5.1. Apesar de terem sido coletadas em data posterior à realização dos experimentos, servem como referência para avaliar alguns resultados obtidos.

Tabela 5-1 - Amostras para avaliação do tamanho e distribuição de partículas

Parâmetros	Identificação das amostras			
	Am1	Am2	Am3	Am4
Ponto de coleta	Captação	LALP	Captação	LALP
Período de coleta	manhã	manhã	manhã	manhã
Temperatura da água (°C)	21,7	21,7	24	24
Turbidez (uT)	4,6	4,38	4,01	3,8
Cor aparente (uH)	72	69	80	78
Cor verdadeira (uH)	7	8	11	8
pH	7,17	7,23	7	6,9
Condutividade (μ S/cm)	76	76	80	80
Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)	38	38	40	40
* Fitoplâncton (indivíduos / mL)	91251		96645	

Captação = ponto localizado na lagoa do Peri, próximo a tomada d'água da estação de tratamento da CASAN; LALP = torneira de água bruta localizada no interior do laboratório LALP. As amostras Am1 e Am2 foram coletadas simultaneamente em outubro/2004, e as amostras Am3 e Am4 em março/2005.

* valor relativo a contagem das amostras coletadas na Captação, tomado como referência média.

Os resultados da contagem de partículas são apresentados na Tabela 5.2. Os dados revelam o predomínio de partículas com tamanho de 2 e 3 μ m. O proporção de partículas de 2 μ m variou de 50,27 a 81,91%, enquanto na faixa de 2 a 3 μ m variou de 71,49 a 81,91% entre as amostras analisadas. Se considerarmos uma faixa um pouco mais ampla, de 2 a 5 μ m, as proporções variaram de 88,22 a 92,84%. Essa distribuição pode ser melhor visualizada através da Figura 5.3

Tabela 5-2 - Distribuição de partículas em amostras de água da lagoa do Peri

Tamanho μm	Número de partículas / mL				Porcentagem de partículas %			
	Am1	Am2	Am3	Am4	Am1	Am2	Am3	Am4
2	9052	8832	11691	10381	50,27	58,03	80,62	81,91
3	3821	3120			21,22	20,5		
4	1987	1331	1743,7	1385	11,04	8,75	12,02	10,93
5	1025	594			5,69	3,9	0	0
6	862	509,2	540,9	367,6	4,79	3,35	3,73	2,9
8	435	248	208,3	166,9	2,42	1,63	1,44	1,32
10	769	547	86,9	98,9	4,27	3,59	0,6	0,78
12			46,1	57,4			0,32	0,45
14			11,4	28,1			0,08	0,22
15			83,3	88,3			0,57	0,7
25	40	28	47,7	63,9	0,22	0,18	0,33	0,5
50	12	9,07	25,6	21,7	0,07	0,06	0,18	0,17
100	1,3	1,27	9,9	7,9	0,01	0,01	0,07	0,06
150	0,4	0,2	3,1	3,4	0	0	0,02	0,03
200	0,07	0,07	0,6	0,8	0	0	0	0,01
250	0,67	0,13	1,7	2,3	0	0	0,01	0,02
300	0,13	0	0,5	0,3	0	0	0	0
TOTAL	18005,57	15219,94	14500,7	12673,5	100	100	100	100

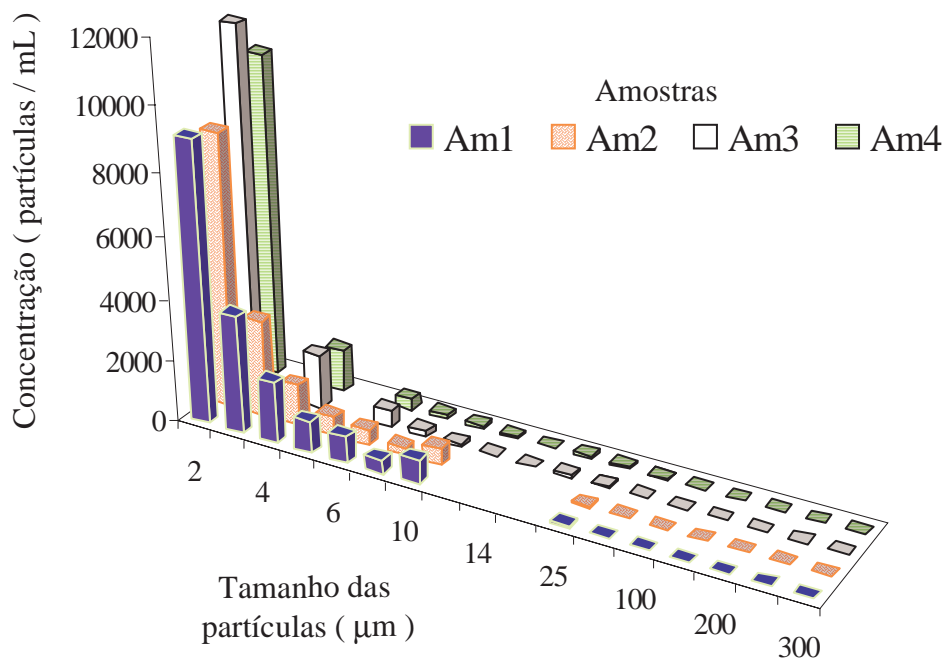


Figura 5-3 - Distribuição de partículas nas águas da lagoa do Peri

Para caracterizar um pouco mais a distribuição das partículas, os resultados foram plotados sob a forma de curva granulométrica conforme mostra a Figura 5.4.

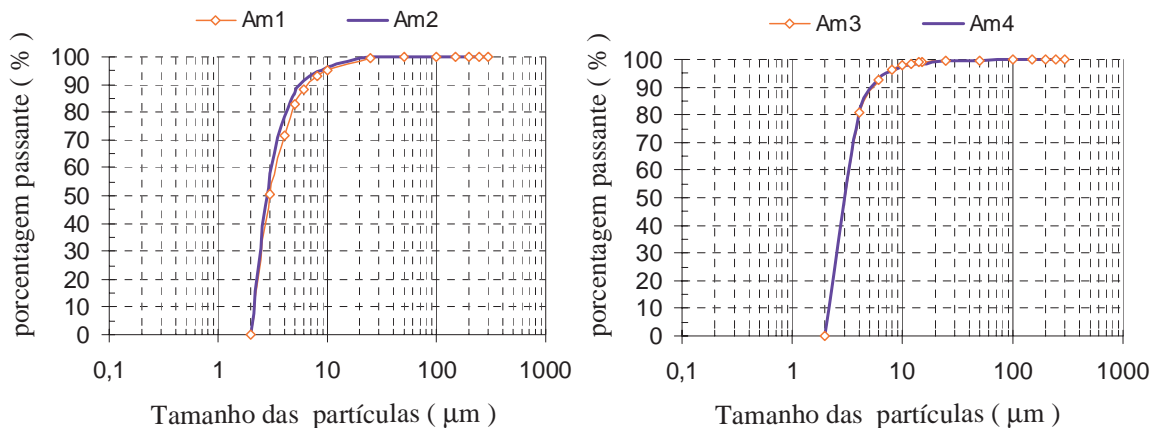


Figura 5-4 - Curvas de distribuição granulométrica para amostras de água da lagoa do Peri

Analisando as curvas representadas na Figura 5.4 observa-se que são praticamente idênticas, tanto pela comparação das amostras coletadas na mesma data, como entre amostras coletadas em datas diferentes. Os tamanhos efetivos das partículas (tef) e coeficientes de desuniformidade (CD) são os seguintes: Am1: tef = $2,2\mu\text{m}$ e $CD = 1,54$; Am2: tef = $2,2\mu\text{m}$ e $CD = 1,36$; Am3: tef = $2,3\mu\text{m}$ e $CD = 1,39$; Am4: tef = $2,3\mu\text{m}$ e $CD = 1,39$.

Apesar do número reduzido de amostras analisadas, os resultados relativos ao tamanho das partículas servem como referência para avaliar o emprego da filtração direta. Como houve o predomínio de partículas com tamanho médio de 2 a 3 μm , é recomendável promover a floculação após a coagulação para reduzir custos operacionais no tratamento e possibilitar a produção de água de melhor qualidade (DE PÁDUA , 2001; DI BERNARDO et al., 2003). O melhor desempenho da filtração seria obtido com a melhora de certos mecanismos de transporte durante a operação, como por exemplo a ação hidrodinâmica.

5.2 Resultados da primeira fase da pesquisa

Os resultados desta fase são relativos a verificações de certos parâmetros hidráulicos, como a perda de carga e a expansão dos materiais granulares em função da velocidade de aproximação, conforme Tabela 4.2. Esses resultados serão a base para todas as questões relacionadas a floculação em meio granular abordadas nesse trabalho, sobretudo ao atendimento do objetivo específico número um.

5.2.1 Perda de carga

De acordo com o programado na Tabela 4.2 foram ensaiados dez materiais, variando a velocidade de aproximação de 100 a 1383 m/d. Foi adotado a altura inicial do leito de 1m para todos os materiais, para se ter segurança frente a possíveis expansões elevadas para determinados materiais, o que poderia ocasionar perdas por arraste hidráulico. As características dos materiais utilizados estão na Tabela 4.1.

Para os materiais m8, m9 e m10 foram feitos ensaios com velocidades de aproximação a partir de 523 m/d, pois as perda de carga para velocidades inferiores resultaram menor que 1 mm, o que tornaria as leituras muito imprecisas, considerando sua realização em piezômetros sobre uma escala em papel milimetrado.

Os ensaios para cada material iniciaram com a menor velocidade de aproximação. Para os materiais m1 e m4 as menores velocidades de aproximação ensaiadas foram 277 m/d e 523 m/d respectivamente, em função do comportamento como leito fixo mesmo para velocidades mais elevadas.

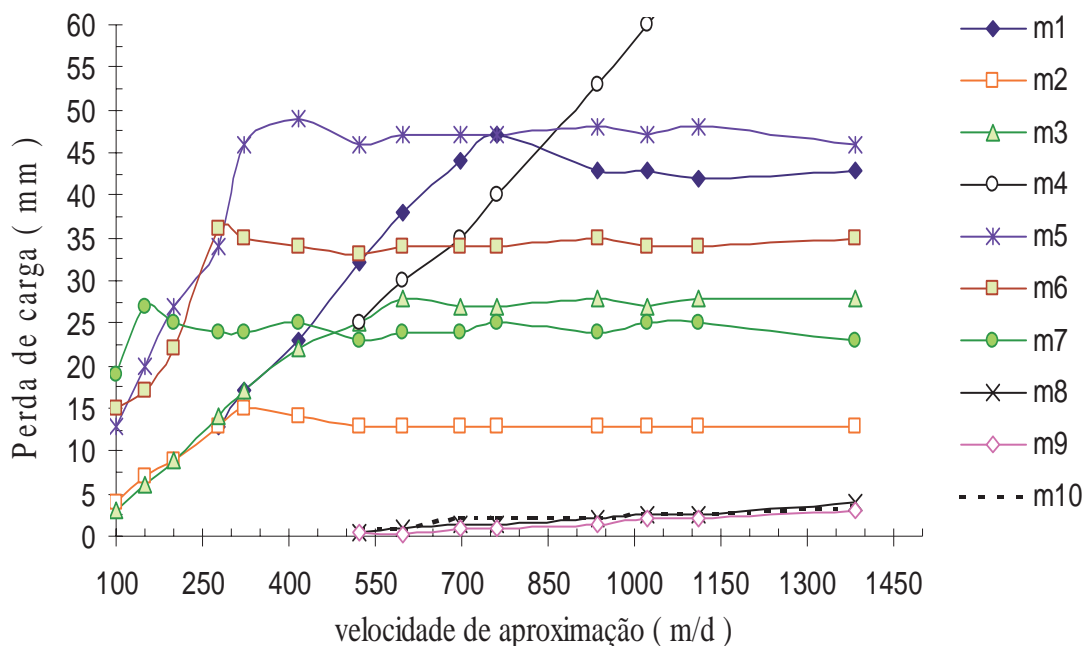


Figura 5-5 - Variação da perda de carga para diferentes materiais em função da velocidade de aproximação, para 1m de leito e água com temperatura de $18 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$

As Tabelas M1.1 a M10.1 com todos os resultados obtidos estão no Apêndice I. Durante a realização dos ensaios a temperatura da água foi $18 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. A Figura 5.5 mostra a variação da perda de carga para os diferentes materiais ensaiados em função da velocidade de aproximação.

Percebe-se através da Figura 5.5 que os valores medidos de perda de carga os materiais m8, m9 e m10 foram bastante próximos e pequenos, e com pouca variação em função da velocidade de aproximação, principalmente se comparado ao material m4 que também se comportou como leito fixo para todas as velocidades ensaiadas. Ocorre que a porosidade dos materiais m8, m9 e m10, em forma de espiras, é elevada, da ordem de 86%, enquanto a do material m4 é 38%. Os valores teóricos de perda de carga para meios não fluidificados foram estimados através da Equação 3.19 de ERGUN. A equação mostra que a perda de carga varia com o inverso do cubo da porosidade o que explica em parte as diferenças verificadas entre os materiais supracitados.

A perda de carga teórica para os materiais após completa fluidificação do leito foi estimada através da Equação 3.32. As Tabelas M1.2 a M10.2 e as respectivas Figuras M1.1 a M10.1, do Apêndice I, ilustram os valores de perda de carga e velocidade mínima de fluidificação, medidos e teóricos, para cada material ensaiado. A velocidade mínima de fluidificação, teórica, para os materiais que sofreram expansão, foi calculada com a equação 3.34.

A Tabela 5.3 é uma síntese comparativa entre valores teóricos e medidos de perda de carga e velocidade mínima de fluidificação para esses materiais, além de conter o número de Reynolds correspondente a velocidade mínima de fluidificação (R_{mf}), calculado pela Equação 5.5. Os dados mostram que a velocidade de fluidificação medida foi sempre superior a teórica.

Esse comportamento é previsto para meios granulares reais principalmente em função da compactação do leito. Entretanto nos ensaios realizados a compactação foi devida unicamente ao peso próprio do material, pois os mesmos foram colocados no interior do floculador deixando-os cair livremente na água até formar uma camada com a altura desejada, no caso, 1m. Por esse aspecto a diferença entre a velocidade mínima de fluidificação medida (V_{mf}) e a velocidade mínima de fluidificação teórica (V_{mf}) poderia ter sido menor. Observa-se na Tabela 5.3 que as diferenças entre V_{mf} e V_{mf} foram maiores para os materiais esféricos, o que pode ser devido a hidrodinâmica das

partículas esféricas. Deve-se considerar também que os materiais não esféricos testados tem menor V_{mf} e menor diâmetro equivalente conforme indicado na Tabela 4.1.

Tabela 5-3 - Valores teóricos e medidos de perda de carga para leitos fluidificados (hfe) e velocidade mínima de fluidificação (V_{mf}), para água a $18 \pm 0,5^\circ\text{C}$

Parâmetros	Materiais									
	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10
Massa específica (g/cm^3)	1,07	1,02	1,043	1,39	1,08	1,055	1,04	1,67	1,63	1,54
Coef. de esfericidade	1	1	1	1	0,79	0,86	0,84	0,27	0,22	0,22
Rmf	46,2	19,2	33,5	141,7	11,5	8,7	4	Fixo	Fixo	Fixo
V_{mf} teórica (m / d)	717	294	514	2719	334	259	137	Fixo	Fixo	Fixo
V_{mf} medida (m / d)	925	500	650	Fixo	460	350	200	Fixo	Fixo	Fixo
V_{mf} – V_{mf} (m / d)	208	206	136	-	126	91	63	-	-	-
hfe teórica (mm)	44,35	13,3	27,6	243	47,3	34,45	24,87	Fixo	Fixo	Fixo
hfe medida (mm)	43	13	28	Fixo	48	35	24	Fixo	Fixo	Fixo

Fixo – materiais que não sofreram expansão para as velocidades de aproximação ensaiadas.

Considerando ainda a Tabela 5.3 observa-se que os valores teóricos e medidos de perda de carga após completa fluidificação do material, foram bastante semelhantes, confirmando a aplicação da equação 3.32. É oportuno lembrar que os cálculos da perda de carga foram feitos para água a 18°C conforme descrito no item 4.5.1.

A comparação entre a perda teórica e a medida foi feita também pela equação 3.19 de ERGUN, para condição de leito não fluidificado. Para cada velocidade de aproximação e expansão correspondente, foi calculado a porosidade do meio granular requerido pela equação citada. As tabelas e gráficos representativos desse comportamento estão no Apêndice I, e são elas: Tabelas M1.2 a M10.2 e seus respectivos gráficos, Figura M1.1 a Figura M10.1.

Conforme indicado pela literatura, a Equação 3.19 forneceu resultados mais próximos ao medido para as condições de leito fixo. Em alguns casos, como para os materiais m1, m3 e m5, a perda de carga teórica foi comparável a medida até próximo do limite da fluidificação. Para o material m4 que se comportou como leito fixo, os valores medidos e calculados de perda de carga foram mais próximos para as menores velocidades de aproximação, embora o calculado tenha sido em média, 30% superior ao medido.

Para os materiais m8, m9 e m10 o comportamento foi diferente, mantendo-se uma diferença praticamente uniforme entre os valores medidos e calculados para todas as velocidades de aproximação. Para os materiais m8 e m10 os valores calculados foram inferiores ao medido, sendo maior a diferença para o material m10. Já para o material m9 os valores foram bastante próximos, sendo o calculado ligeiramente superior.

Essas diferenças devem-se provavelmente a forma geométrica do material. Uma espira diferencia-se muito de um grão de areia e dos materiais considerados neste trabalho. Provavelmente o diâmetro equivalente utilizado nos cálculos da perda de carga não reflita o comportamento hidráulico descrito pela equação utilizada, pois não se trata de uma partícula sólida.

5.2.2 Expansão

As medidas de expansão para as diferentes velocidades foram feitas juntamente com as medidas de perda de carga, conforme descrito no item 5.1.1. Portanto os resultados obtidos encontram-se no Apêndice I nas Tabelas M1.1 a M10.1. A Figura 5.6 mostra um conjunto de curvas de expansão medidas para diversos materiais, em função da velocidade de aproximação.

Observa-se a sobreposição das curvas dos materiais m4, m8, m9 e m10, pois a expansão foi nula para todas as velocidades ensaiadas. Utilizando o aplicativo Excel foi construído um gráfico de dispersão e adicionada a linha de tendência para cada conjunto de dados medidos. As curvas representativas da expansão de cada material, as respectivas equações e o fator de correlação são mostradas na Figura 5.7.

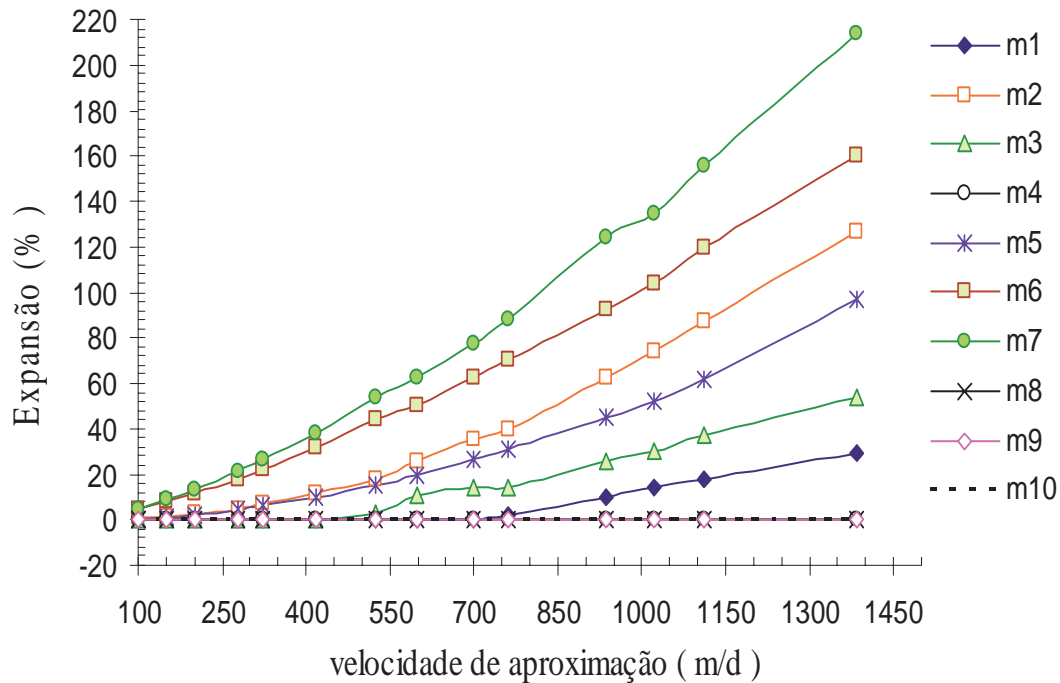


Figura 5-6 - Expansão medida para diferentes materiais em função da velocidade de aproximação para água a $18 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Observa-se que os materiais não esféricos sofreram maior expansão que os esféricos, com exceção do material m2 que é esférico, mas possui a menor massa específica dentre todos. O material m5, mesmo possuindo a maior massa específica, expandiu mais que o m1 e o m3, entretanto o m5 possui menor diâmetro equivalente que os dois. De um modo geral observou-se que, quanto menor a massa específica, o tamanho da partícula e a esfericidade, maior é a expansão em função da velocidade de aproximação a uma dada temperatura da água, entretanto, será a combinação entre as três características citadas que irá determinar a expansão do material.

A velocidade mínima de fluidificação dada pela Equação 3.34 contempla aquelas características, e os resultados da Tabela 5.3 estão de acordo com ilustrado pela Figura 5.7, ou seja, quanto menor a velocidade mínima de fluidificação do material, maior a expansão. Para os materiais que tiveram maior expansão o melhor ajuste foi obtido por uma potência dada pela expressão geral: $Y = a X^b$, onde: Y = expansão (%); X = velocidade ascensional (m/d); a e b são coeficientes, sendo que b variou de 1,352 a 2,016.

Para os materiais que expandiram menos, m1 e m3 o melhor ajuste foi por uma função quadrática do tipo: $Y = aX^2 + bX$.

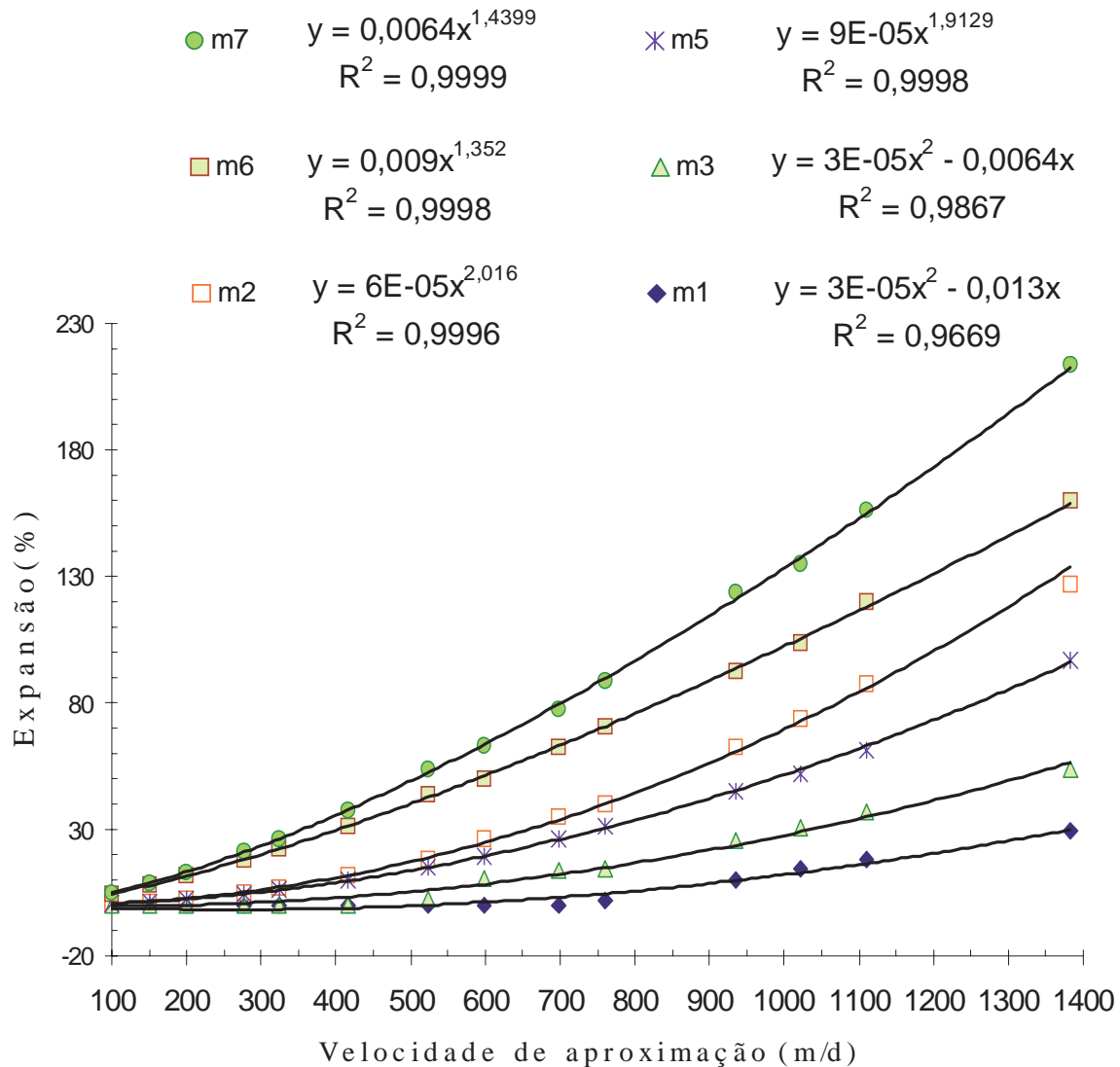


Figura 5-7 - Curvas de expansão com respectivas equações, para diferentes materiais em função da velocidade de aproximação da água a $18 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

5.2.3 Gradiente de velocidade

A Figura 5.8 mostra um conjunto de curvas de gradiente de velocidade, calculados para os materiais estudados, com base nos dados de expansão e perda de carga medidas.

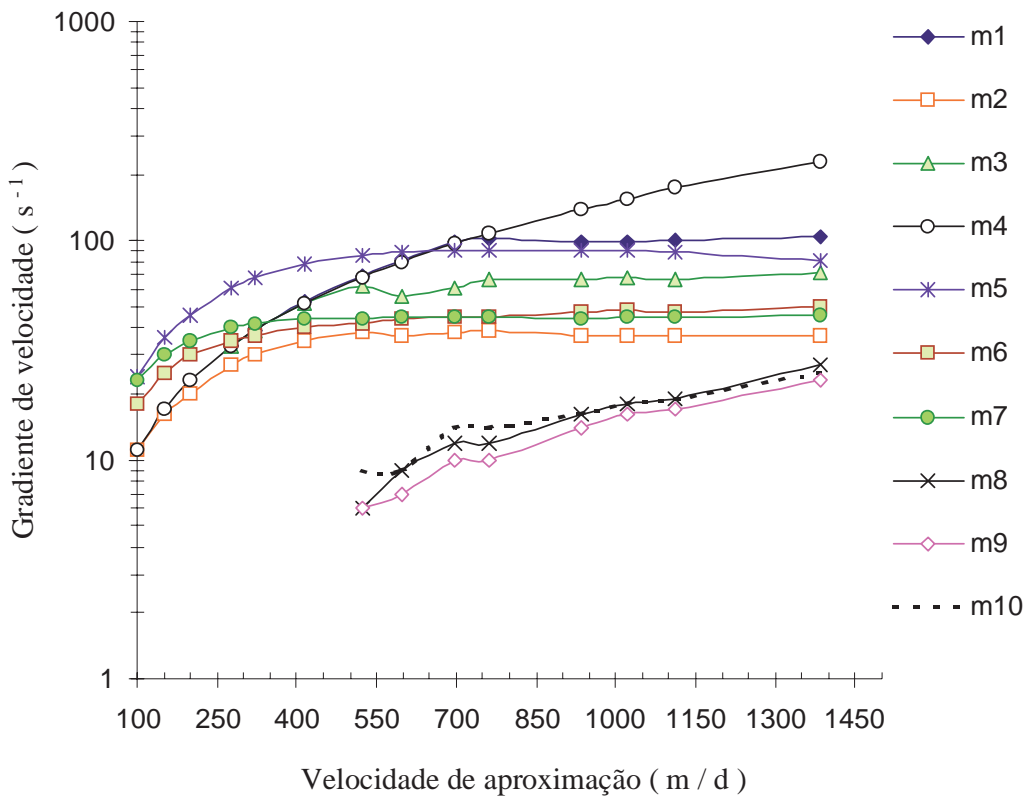


Figura 5-8 - Gradientes de velocidade calculados para diferentes materiais em função da velocidade de aproximação da água a $18 \pm 0,5^{\circ}C$.

Os cálculos do gradiente de velocidade para os materiais m8, m9 e m10 foram feitos com a Equação 3.17, e para os demais, com a Equação 3.20. Para o emprego da Equação 3.20 foi calculado previamente a porosidade correspondente a expansão do leito, e substituído o valor ε_0 da equação citada pelo valor calculado ε_e .

Observa-se que a curva de gradiente de velocidade do material m4 possui inclinação semelhante as curvas dos materiais m8, m9, e m10, embora tenham sido calculadas com equações diferentes. Entre os materiais cujo leito não sofreu expansão, os menores valores de gradiente de velocidade foram obtidos entre os mais porosos, no caso, m8, m9 e m10.

Entre os que sofreram expansão, os menores gradientes de velocidade foram entre os materiais com menor velocidade de fluidificação. Considerando as três menores velocidades mínimas de fluidificação, ou seja, para os materiais m7, m6 e m2, este último, embora tenha a maior delas, propiciou menores valores de gradiente de

velocidade devido a menor superfície específica, que influencia aquele parâmetro na razão direta conforme Equação 3.20.

Os materiais ensaiados proporcionam uma ampla faixa de gradientes de velocidades, variando desde 8 até 200 s^{-1} . Considerando apenas os materiais que sofreram expansão, essa faixa é mais restrita, variando de 35 a 90 s^{-1} para meios granulares fluidificados, e de 20 a 90 s^{-1} para meios granulares expandidos.

Gradientes mais elevados, a partir de 80 s^{-1} , podem conduzir a uma excessiva quebra de flocos em relação a formação, restringindo sua aplicação. Todavia esses limites devem ser frutos de investigações experimentais para cada caso, haja vista dependerem de fatores como: tipo de coagulante, uso de polímeros, finalidade da floculação entre outros.

5.2.4 Dimensionamento de flocladores de meio granular expandido

Os resultados apresentados neste item constituem uma proposta metodológica para dimensionamento de flocladores de meio granular expandido. São considerados dados experimentais apresentados nos itens 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3, relativos apenas aos materiais que sofreram expansão. A razão dessa exclusão tem por base as limitações dos flocladores de meio granular fixo relativas à retenção de sólidos, aspecto citado na literatura consultada, e comprovado neste trabalho conforme dados relativos à segunda fase da pesquisa apresentados no item 5.3.

5.2.4.1 Equações e parâmetros de projeto

O dimensionamento de flocladores, mecânicos ou hidráulicos, é feito fundamentalmente com base no tempo T e no gradiente médio de velocidade G de floculação. Esses parâmetros e outros de interesse como o coeficiente de agregação KA , e o coeficiente de quebra de flocos KB , podem ser determinados através de ensaios de jarteste. Sendo assim propõe-se:

- a) A realização de ensaios de jarteste: Para determinar as condições de coagulação e floculação necessárias à obtenção de uma eficiência preestabelecida, definindo assim os valores de G e do tempo θ de floculação;

- b) Relação KB / KA: Determinar através da equação 5.1 obtida por simplificação da equação 3.8 (modelo de floculação proposto por ARGAMAN & KAUFMAN) admitindo um floculador com uma única câmara, ou seja, $m = 1$:

$$\frac{KB}{KA} = \frac{1}{G \cdot \left(\frac{No}{Nm} \right)} \quad \text{Equação 5.1}$$

- c) Coeficiente de agregação KA: Calcular através da equação 5.2, obtida pela transformação da equação 3.9 (derivada do modelo proposto por BRATBY), isolando KA e substituindo T por θ :

$$KA = \frac{1}{G \cdot \theta} \ln \left[\frac{1 - \frac{KB}{KA} \cdot G}{\frac{Nm}{No} - \frac{KB}{KA} \cdot G} \right] \quad \text{Equação 5.2}$$

- d) Tempo equivalente de floculação em meio granular: Calcular através da equação 3.14 aqui rerepresentada:

$$T = \frac{1}{KA \cdot G} \ln \left(\frac{No}{Nm} \right) \quad \text{Equação 5.3}$$

Nas equações 5.1, 5.2 e 5.3 a relação entre No e Nm representam a eficiência da floculação sob determinadas condições de gradiente de velocidade e tempo. Usualmente se tem considerado No = turbidez da água bruta e Nm = turbidez da água decantada numa certa velocidade de sedimentação após um determinado tempo de floculação. Este procedimento é aplicado quando a floculação é realizada antes de uma unidade de decantação. Os valores de tempo de floculação em jarreste (θ) versus turbidez remanescentes (Nm) para cada gradiente de velocidade (G), são plotados, resultando um gráfico com uma família de curvas, de onde se retiram as informações para calcular KA e KB (LIBÂNIO, M., DE PÁDUA, V.L., DI BERNARDO, L. 1997).

De posse desses valores calcula-se o tempo equivalente de floculação em meio granular, através da equação 5.3.

Quando a floculação precede a filtração direta, fica sem sentido avaliar somente a sedimentabilidade dos flocos, pois se sabe que o objetivo maior da floculação nesse caso, é aumentar a duração das carreiras de filtração. Sendo assim, recomenda-se a realização de ensaios com Filtros de Laboratório de Areia (FLAs), para avaliar o desenvolvimento de perda de carga nos mesmos em função das condições de floculação em jarreste. A proposta é a realização simultânea de ensaios de sedimentação e filtração.

Utilizando um aparelho de jarreste com seis cubas, é possível testar três tempos de floculação em cada ensaio para um determinado gradiente de velocidade. Agrupando as cubas, duas a duas, uma utiliza-se para o ensaio de sedimentação e a outra para alimentar um FLA. No ensaio de sedimentação mede-se a turbidez remanescente correspondente a uma ou duas velocidades de sedimentação. O ensaio em FLA pode ser feito com carga hidráulica constante ou variável.

No primeiro caso cronometra-se o tempo para filtrar um volume pré-estabelecido de água. É recomendável fazer também a filtração em FLA com água que sofreu apenas coagulação (tempo de floculação = zero). Deve-se observar que a água filtrada tenha certo padrão de qualidade para poder comparar os resultados. O melhor resultado em FLA será aquele correspondente ao menor tempo para filtrar o volume de água desejado.

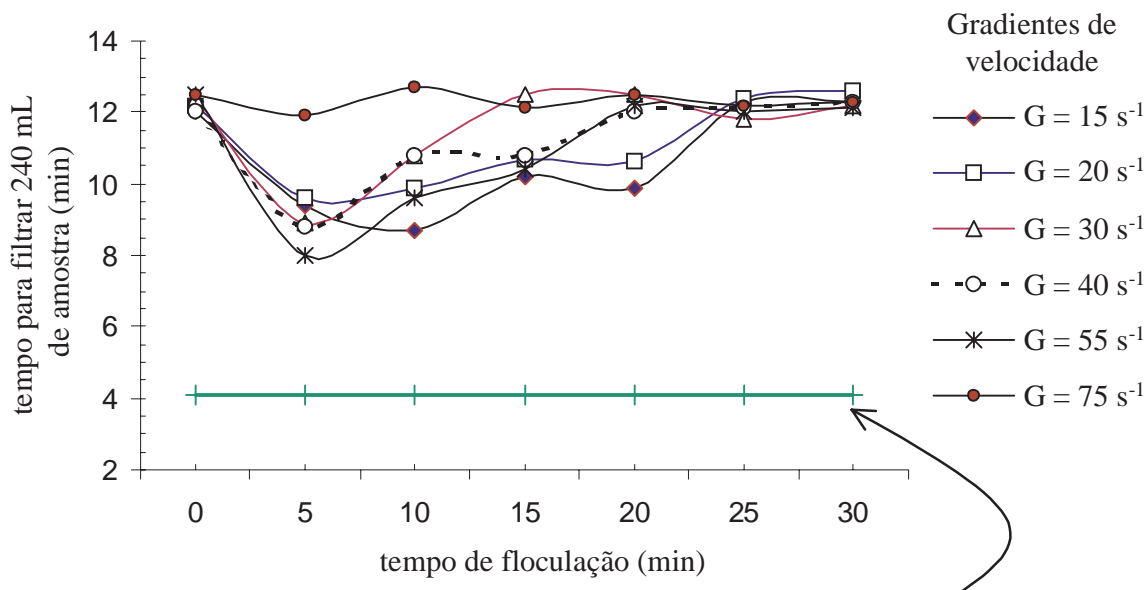
No segundo caso, FLA com carga hidráulica variável, mede-se a perda de carga total desenvolvida para filtrar o volume de água desejado. O melhor resultado seria o correspondente ao menor valor de perda de carga. Nos dois casos o melhor resultado obtido em FLA seria associado ao ensaio de sedimentação correspondente e condições de floculação, tempo (θ), turbidez remanescente (Nm) e gradiente de velocidade (G), para determinação dos parâmetros KA e KB.

A associação referida poderá mostrar boa correlação, pois a velocidade de sedimentação de uma partícula cresce com seu tamanho e sua densidade relativa. Por outro lado, flocos maiores tendem ser mais porosos, portanto menos densos (DHARMAPPA et al., 1993). Para efeitos de prolongamento das carreiras de filtração, interessa que os flocos sejam resistentes às forças de cisalhamento a que estarão sujeitos. Sendo assim quanto mais densos maior a resistência. Esse aspecto poderá determinar um padrão de floco com tamanho intermediário, que tenha boa velocidade de sedimentação, densidade e resistência. Na floculação em meio granular geralmente

se produz grandes quantidades de flocos de tamanho pequeno, em função evidentemente do gradiente de velocidade. A resistência irá depender das condições de coagulação, do coagulante e auxiliares, além da natureza das partículas primárias.

A Figura 5.9 mostra resultados de jarteste com variações do gradiente de velocidade e do tempo de floculação, e operação do FLA com carga hidráulica constante. O gráfico foi construído com base nos dados das Tabelas A1.19 a A1.24 do Apêndice II, para ilustrar a proposta de determinação do tempo equivalente de floculação em meio granular.

As características do FLA foram apresentadas no item 4.3.3.3. O cálculo do tempo mínimo teórico para filtrar 240 mL de amostra após descarte dos primeiros 100 mL filtrados, indicado na Figura 5.9, foi feito com base nos seguintes parâmetros: Carga hidráulica disponível = 11 cm; granulometria da areia = 0,42 a 0,84 mm; altura de areia = 15 cm; coeficiente de esfericidade = 0,80; porosidade da areia limpa = 0,43; temperatura da água = 19 °C; cálculo da perda de carga = Equação 3.19 (Ergun). Os demais valores indicados na Figura 5.9 foram medidos.



Linha correspondente ao tempo mínimo teórico para passar pelo filtro 240 mL de água limpa, considerando o meio granular limpo, (em função da carga hidráulica disponível, granulometria da areia e dimensões do filtro)

Figura 5-9 - Influência do tempo de floculação no tempo da filtragem de amostras no FLA em função do gradiente médio de velocidade

Como era esperado, os tempos para filtração das amostras foram sempre superiores ao tempo teórico de filtração de uma água limpa, lembrando que houve um descarte dos primeiros 100 mL filtrados correspondente a cada tempo de floculação. Para todos os gradientes de velocidade ensaiados o tempo máximo de filtração das alíquotas foi praticamente o mesmo. O menor tempo de filtração ocorreu para $G = 55 \text{ s}^{-1}$ e $\theta = 5 \text{ min}$.

Em função das características da água utilizada nesses estudos, os ensaios de sedimentação muitas vezes apresentaram resultados negativos, ou seja, a turbidez da água decantada foi superior a da bruta. Esse aspecto impediu a avaliação correta dos parâmetros KA e KB para determinar o tempo T de floculação em meio granular. Os resultados de outros ensaios de sedimentação e filtração em FLA são apresentados no item 5.3.

O tempo T de floculação em meio granular representa o tempo médio de permanência da água fluindo pelos espaços intergranulares do leito expandido ou não. Considerando ser pistão o fluxo num reator granular, o tempo médio de floculação será a relação entre o volume dos espaços intergranulares e a vazão de água que se deseja fazer passar pelo floculador.

O volume total dos espaços intergranulares dependerá da altura e porosidade iniciais (leito não expandido) e da expansão do leito em função da vazão ou da velocidade de aproximação da água (V_a), que também poderia ser chamada de taxa de floculação, relacionando-se com a área da seção de escoamento do reator, medida acima do topo do meio granular, considerando o escoamento ascendente.

A expansão do leito irá depender das características físicas do material granular, como dimensões, forma geométrica e massa específica. Dependerá também de propriedades físicas da água, como temperatura e viscosidade.

Percebe-se pelo exposto a necessidade de um modelo de previsão de expansão de meios granulares, para escolha do material capaz de proporcionar condições preestabelecidas de tempo e gradiente de velocidade para a floculação.

O modelo escolhido foi o de RICHARDSON & ZAKI apresentado no item 3.4.4.2, estudado por CLEASBY (1981), e será descrito nos próximos parágrafos. Para sua aplicação é necessário, entre outras coisas, o conhecimento da velocidade mínima de fluidificação, característica de cada material.

- e) Calculo da velocidade mínima de fluidificação: Calcular inicialmente o número de Galileu através da equação 3.35 aqui rerepresentada:

$$Ga = \frac{deq^3 \cdot \rho(\rho_s - \rho)g}{\mu^2} \quad \text{Equação 5.4}$$

O número de Reynolds equivalente ao ponto de mínima velocidade de fluidificação, Rmf , pode ser calculado pela equação 5.5 proposta por WEN & YU apresentada em CLEASBY (1981).

$$Rmf = [(33,7)^2 + 0,0408 Ga]^{1/2} - 33,7 \quad \text{Equação 5.5}$$

A velocidade mínima de fluidificação é dada pela equação 5.6.

$$Vmf = (Rmf \cdot v) / deq \quad \text{Equação 5.6}$$

onde:

Vmf = velocidade mínima de fluidificação (m/s)

v = coeficiente de viscosidade cinemática da água (m^2 / s)

A tabela 5.3 mostra os valores de Vmf medidos, e os valores calculados de Vmf e Rmf para os materiais estudados. Observa-se que para os materiais que expandiram a Vmf medida foi sempre superior a teórica ou calculada, o que é esperado quando não se tem grãos com tamanho e/ou forma exatamente iguais, além da possível compactação do leito. Essa diferença foi em média 40%, variando de 26% a 70%. O valor mais elevado corresponde ao material esférico m_2 , influenciado provavelmente por sua hidrodinâmica e massa específica. A propósito, CLEASBY sugere considerar 30% como fator de segurança sobre a velocidade mínima de fluidificação calculada, na previsão de expansão de meios granulares.

- f) Determinação da velocidade teórica de sedimentação dos grãos (V_s):

A velocidade V_s depende de propriedades do grão como: tamanho, forma e densidade. Algumas relações tem sido propostas para a sua determinação.

CLEASBY(1981) propôs uma relação entre V_{mf} , V_s e a massa específica do material, e obteve uma correlação de 0,865. Em seus estudos trabalhou com areia, antracito e esferas de vidro, com massas específicas variando de 1,46 a 2,65 g/cm³ e diâmetros equivalentes variando de 0,55 a 3,66 mm.

Para as características médias dos materiais estudados a melhor correlação observada ($R^2 = 0,964$) é dada pela equação 5.7. Os valores da velocidade de sedimentação medida (V_{sm}) determinado conforme descrito no item 4.2.1, e os da V_{mf} calculados pela equação 5.6, de esfericidade e massa específica, usados para estabelecer a correlação estão na tabela 5.4.

Tabela 5-4 - Valores de V_s , V_{mf} , esfericidade e massa específica dos materiais utilizados no modelo de previsão de expansão

Material	m1	m2	m3	m5	m6	m7
V_{sm} medida (mm / s)	92	42,03	70,52	38,21	33,16	18,53
V_{mf} teórica (mm/s)	8,3	3,4	5,95	3,87	3	1,59
Esfericidade ψ	1	1	1	0,79	0,86	0,84
Massa específica ρ_s (g/cm ³)	1,07	1,02	1,043	1,08	1,055	1,04
* V_s teórica (mm/s)	89,2	43,3	69,9	38,9	33,1	18,5

* calculado pela equação 5.7

$$\left(\frac{V_s}{V_{mf}} \right)^{0,25} = (0,7752 \cdot \rho_s^{-2,362} \cdot \Psi^{0,1}) + 1,1499 \quad \text{Equação 5.7}$$

onde:

V_s = velocidade de sedimentação teórica dos grãos (mm/s)

g) Cálculo da velocidade V_i correspondente a porosidade 100%: RICHARDSON & ZAKI citados em CLEASBY (1981), estudaram a expansão de meios granulares esféricos, cobrindo uma ampla faixa de valores do número de Reynolds do regime laminar ao turbulento. Eles observaram que o logaritmo da velocidade de aproximação é uma função linear do logaritmo da porosidade, válida para um leito fluidizado com grãos de tamanho uniforme. A figura 5.10 mostra esta relação para um meio granular ideal. Segundo a fonte citada, a relação entre as variáveis apontadas na Figura 5.10 é dada pela equação 5.8.

$$\frac{Va}{Vi} = \epsilon_e^n \quad \text{Equação 5.8}$$

onde:

Va = velocidade de aproximação ou velocidade da água acima do leito (mm / s)

Vi = velocidade correspondente a $\log(\epsilon_e) = 0$ (mm/s)

n = coeficiente de expansão do leito

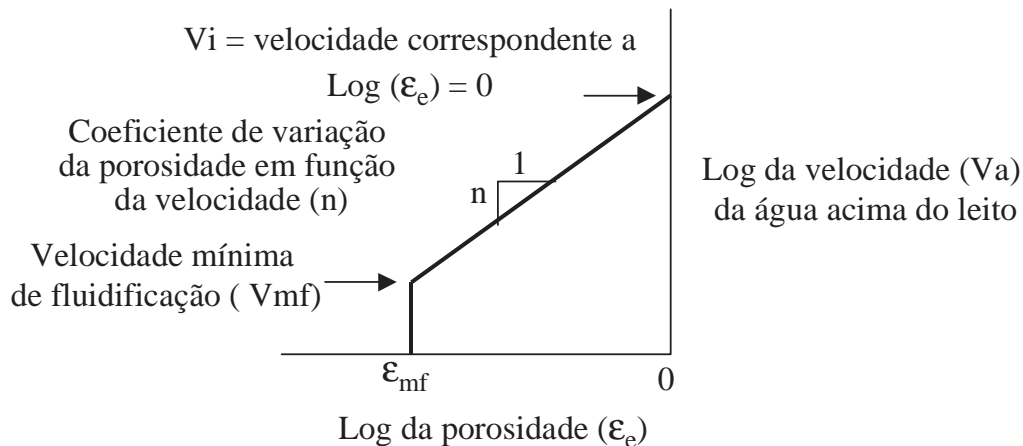


Figura 5-10 - Relação entre velocidade superficial Va e porosidade ϵ_e para um meio granular ideal (todos os grãos com dimensões, forma e massa específica iguais)

Para cada um dos materiais estudados foram selecionadas e plotadas as velocidades e expansões observadas, correspondentes ao estado de fluidificação. As relações observadas e os valores determinados de Vi e n estão na Tabela 5.5. Os dados considerados para estabelecer as correlações e os gráficos correspondentes estão no Apêndice I, identificados da seguinte forma: Tabelas M1.3, M2.3, M3.3, M5.3, M6.3 e M7.3. Os respectivos gráficos são: Figuras M1.2, M2.2, M3.2, M5.2, M6.2 e M7.2.

A Tabela 5.6 contém os dados utilizados para estabelecer a relação para calcular o valor de Vi .

Tabela 5-5 - Relações observadas entre as variáveis Va, Vi e n

Material	Equação (log Va / log ε_e)	R²	Vi (mm/s)	n
M1	$\log Va = 2,0698 \log \epsilon_e + 1,7792$	0,997	60,14	2,11
M2	$\log Va = 2,2597 \log \epsilon_e + 1,5080$	0,998	32,21	2,31
M3	$\log Va = 2,3897 \log \epsilon_e + 1,7370$	0,995	54,58	2,50
M5	$\log Va = 2,9085 \log \epsilon_e + 1,6764$	0,997	47,47	2,96
M6	$\log Va = 3,2785 \log \epsilon_e + 1,5741$	0,997	37,5	3,36
M7	$\log Va = 3,1676 \log \epsilon_e + 1,4713$	0,995	29,6	3,24

O valor de Vi foi obtido da seguinte forma: $Vi = 10^{(\text{coeficiente linear da equação respectiva})}$. O valor n representa a inclinação da reta dada pela equação.

Tabela 5-6 - Valores de Vsm, ψ, ps, e Vi dos materiais estudados.

Variável \ Material	M1	M2	M3	M5	M6	M7
Coef. de esfericidade ψ	1	1	1	0,79	0,86	0,84
Massa específica ps (g/cm ³)	1,07	1,02	1,043	1,08	1,055	1,04
Vsm (mm/s) - Tabela 5.4	92	42,03	70,52	38,21	33,16	18,53
Vi (mm/s) - Tabela 5.5	60,14	32,21	54,58	47,47	37,5	29,6
Vi/Vsm	0,65	0,77	0,77	1,24	1,13	1,6
*Vi teórica(mm/s)	83,7	38,2	64,2	37,8	32	18,1
**Vi teórica(mm/s)	60,7	33,5	51,1	51,8	35,6	26,5

* calculado com a equação 5.9; ** calculado pela equação 5.10 (proposta).

Os dados da tabela 5.6 mostram que para os materiais esféricos Vsm foi sempre superior a Vi, acontecendo o oposto com os materiais não esféricos, correlação também observada por CLEASBY (1981). Observa-se também que a relação Vi/Vsm tem valores bem próximos entre si quando analisada separadamente, entre os materiais esféricos e os não esféricos.

Com relação ao material M7 utilizado nos experimentos, observou-se que o mesmo apresenta uma porcentagem de grãos em forma de canudinho, decorrente do processo de fabricação. Em certos casos o orifício não transpassa o grão, e o ar aprisionado, de difícil remoção devido as dimensões reduzidas, influenciou os resultados de Vi e Vsm. Para estimar o valor de Vi com os materiais que trabalhou, CLEASBY propôs uma relação entre Vi, Vs e a esfericidade dos grãos, dada pela equação 5.9, obtendo uma correlação de 0,833.

$$\frac{V_i}{V_s} = 0,91\psi^{-0,400} \quad \text{Equação 5.9}$$

No presente estudo, além da esfericidade foi considerado a massa específica do material, conforme equação 5.10, obtendo-se um fator de correlação $R^2 = 0,979$.

$$\frac{1}{\left(\frac{V_i}{V_s}\right)^2} = 14,45 \cdot \rho_s \cdot \psi^{0,55} - 13,164 \quad \text{Equação 5.10}$$

h) Cálculo do coeficiente de expansão n: Para determinar o valor de n deve-se inicialmente calcular o número de Reynolds (Ro) correspondente a velocidade de sedimentação da partícula Vs, através da equação 5.11.

$$Ro = \frac{deq \cdot V_s}{\nu} \quad \text{Equação 5.11}$$

onde:

Ro = número de Reynolds correspondente a velocidade de sedimentação da partícula Vs.

O cálculo do coeficiente n é feito através das equações 5.12 ou 5.13, propostas por CLEASBY.

para Ro de 15 a 200

$$n = \left(K + \frac{deq}{Dt}\right) Ro^{-0,1} \cdot \psi^{(-2,9237 \cdot \psi^{0,884} Ro^{-0,363})} \quad \text{Equação 5.12}$$

para Ro de 200 a 503

$$n = (K \cdot Ro^{-0,1}) \cdot \psi^{(-2,9237 \cdot \psi^{0,884} Ro^{-0,363})} \quad \text{Equação 5.13}$$

Para $Ro > 500$ (ver Tabela 3.2), RICHARDSON & ZAKI propõem $n = 2,4$.

onde: $D_t = 4.R_h$ (raio hidráulico - m). Para tubos cilíndricos D_t transforma-se em D (diâmetro) (VIANNA, 1992); O valor de D_t deve ser previamente estabelecido em função da vazão e da velocidade ascensional no floculador, conforme será discutido neste trabalho. $K =$ constante. No modelo de CLEASBY $K = 4,45$ com $R^2 = 0,8313$. Para os materiais estudados encontrou-se melhor correlação para $K = 4,18$ para os materiais esféricos, e $K = 4,5$ para os materiais não esféricos, bem próximo ao encontrado pelo autor em questão.

Na tabela 5.7 estão os valores medidos e calculados de n em função do número de Reynolds, utilizando as equações 5.12 e 5.13. Para o material M1 mesmo com $Ro > 503$, o valor de n calculado com a equação 5.13 está mais próximo do n medido, do que o valor 2,4 proposto por RICHARDSON & ZAKI. A Figura 5.11 ilustra a similaridade dos valores de n medido e calculado.

Tabela 5-7 - Determinação do coeficiente de expansão “n”

Variável \ Material	M1	M2	M3	M5	M6	M7
Ro	512	238	397	113	103	49
n (medido)	2,11	2,31	2,5	2,96	3,36	3,24
n (modelo $c/ K = 4,18$ ou $K = 4,5$)	2,24	2,42	2,3	3,12	3,08	3,43

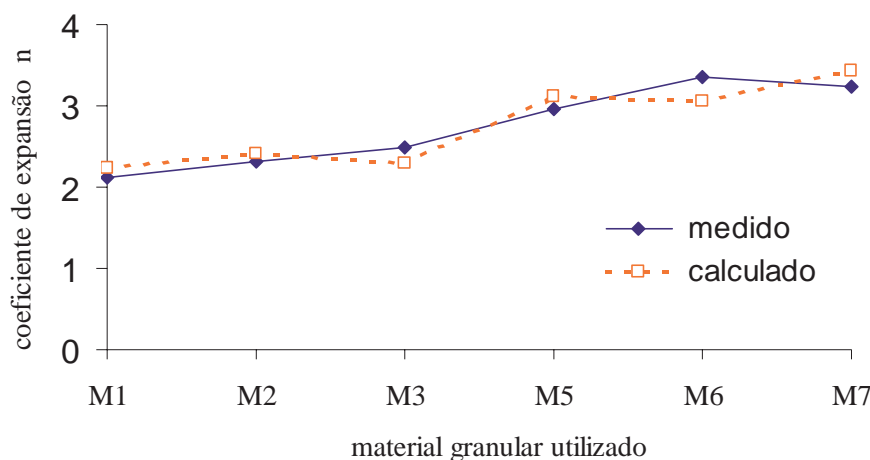


Figura 5-11 -Comparação entre valores de “n” medidos e calculados

- i) Cálculo da porosidade ϵ_c em função da velocidade V_a : O cálculo é feito através da equação 5.8 aqui reescrita, explicitando-se ϵ_c :

$$\varepsilon_e = \left(\frac{Va}{Vi} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Equação 5.14}$$

A relação de expansão é dada pela equação 5.15.

$$\frac{He}{Ho} = \frac{(1 - \varepsilon_o)}{(1 - \varepsilon_e)} \quad \text{Equação 5.15}$$

onde:

He = altura final do leito (expandido)

Ho = altura inicial do leito (cm)

ε_e = porosidade do leito expandido

ε_o = porosidade inicial do leito

j) Determinação da altura inicial do meio granular: A altura inicial Ho irá depender das características do material, da expansão sofrida em função da velocidade de aproximação da água Va, e do tempo T de floculação desejado. Para obter tempos diferentes varia-se Ho ou Va, ou adota-se um material diferente. A escolha do material será determinante para obter o gradiente de velocidade desejado como será discutido mais adiante.

Consideremos um floculador, cuja seção interna acima do meio granular tenha uma área útil A, e no seu interior uma altura inicial Ho de material. Tempo, volume e vazão relacionam-se através da equação 5.16

$$T = \frac{V}{Q} \quad \text{Equação 5.16}$$

onde: T = tempo de floculação desejado; V = volume útil (espaços intergranulares em função da altura e expansão do leito); Q = vazão de alimentação do floculador.

A vazão pode ser expressa em termos da área A do floculador e da velocidade Va de aproximação, e a equação 5.16 torna-se:

$$T = \frac{V}{Va.A} \quad \text{Equação 5.17}$$

O volume de grãos no interior de flocculador é dado pela equação seguinte:

$$Vg = Ho.A(1 - \epsilon_o) \quad \text{Equação 5.18}$$

onde: Vg = volume de grãos; Ho = altura inicial do leito (leito em repouso); ϵ_o = porosidade inicial do leito (característica do material).

O volume de vazios é dado pela equação seguinte:

$$V = [A.Ho(1 + E)] - Vg \quad \text{Equação 5.19}$$

onde: E = expansão do leito

Substituindo a equação 5.18 na 5.19 resulta:

$$V = [A.Ho(1 + E)] - Ho.A(1 - \epsilon_o) \quad \text{Equação 5.20}$$

ou ainda

$$V = A.Ho(E - \epsilon_o) \quad \text{Equação 5.21}$$

Substituindo a equação 5.21 na 5.17 resulta:

$$T = \frac{Ho(E + \epsilon_o)}{Va} \quad \text{Equação 5.22}$$

ou

$$Ho = \frac{Va.T}{E + \epsilon_o} \quad \text{Equação 5.23}$$

A expansão E provém da relação de expansão dada pela equação 5.15 e o valor de Ho será:

$$Ho = \frac{Va.T}{\left[\frac{(1-\varepsilon_o)}{(1-\varepsilon_e)} - 1 \right] + \varepsilon_o} \quad \text{Equação 5.24}$$

k) Determinação do gradiente de velocidade: Para a determinação do gradiente de velocidade, SENS(1992;1995;1997) propõe uma equação modificada a partir da equação de Ergun utilizada no cálculo da perda de carga. A equação 5.25 pode ser utilizada tanto em regime laminar como em regime turbulento de fluxo, mas pressupõe constante a porosidade durante a operação do flocculador.

$$G = \left\{ 150 \frac{(1-\varepsilon_e)^2}{\varepsilon_e^4} \left(\frac{S}{6}\right)^2 . Va^2 + 1,75 \frac{1}{\nu} \frac{(1-\varepsilon_e)}{\varepsilon_e^4} \left(\frac{S}{6}\right) . Va^3 \right\}^{1/2} \quad \text{Equação 5.25}$$

onde: G = gradiente de velocidade (s^{-1}); S = superfície específica do grão (m^2/m^3). Para grãos esféricos $S = 6/deq$. Para grãos irregulares $S = 6/deq.\psi$. As demais grandezas já foram identificadas anteriormente.

A escolha da velocidade Va está relacionada com as características do material granular, com o gradiente desejado e tempo de floculação. Materiais esféricos expandem menos que os não esféricos, tendo a mesma densidade e diâmetro equivalente, e submetidos a mesma velocidade de aproximação, fornecendo valores de G mais elevados e tempos de floculação menores.

Para aumentar o tempo e diminuir o gradiente, deve-se optar por um material menos denso e/ou com granulometria menor. A propósito, IVES & DIBOUNI (1979) em seus estudos sobre floculação ortocinética, ressaltam que a floculação em meio granular expandido com gradiente de velocidade da ordem de $22 s^{-1}$ só foi possível, devido ao tamanho restrito das partículas do leito fluidificado utilizado por eles, formado por microesferas de PVC com diâmetro da ordem de $100 \mu m$. Os autores demonstram ainda que o máximo gradiente de velocidade em um leito fluidificado ocorre quando a porosidade está compreendida entre 0,6 e 0,8 dependendo do regime hidráulico. O primeiro valor seria correspondente ao regime turbulento com coeficiente de expansão $n = 2,5$ (modelo de RICHARDSON & ZAKI). A porosidade 0,8 e $n = 5$

seria referente ao regime laminar. Destacam também que o valor de G é diretamente proporcional ao tamanho das partículas que compõem o meio granular.

Conforme mostra a Figura 5.8, para os materiais estudados, considerando completa fluidificação, os gradientes de velocidade variaram de 35 a 90 s^{-1} . Observa-se também que após fluidificado, para uma considerável faixa de variação de velocidade de aproximação o gradiente de velocidade se mantém praticamente constante. Este aspecto permite variar o tempo de floculação através da variação da velocidade de aproximação. Essa situação pode ser desejada e imposta para ajustar a floculação, ou ocorrer por flutuações na vazão de alimentação do floculador decorrente de alguma dificuldade operacional.

O exposto indica que a floculação em meios granular expandido pode suportar pequenas oscilações de vazão sem prejuízos. Com relação a isso, RICHTER & AZEVEDO NETTO (1991), destacam que dentro de certos limites, é possível obter resultados semelhantes compensando valores menores de G com tempos mais elevados e vice versa. O tempo de floculação de uma unidade em funcionamento também pode ser facilmente alterada retirando-se ou colocando-se um pouco de material granular com a manutenção de G .

5.2.4.2 Exemplo de dimensionamento

Neste exemplo é apresentado o dimensionamento da unidade de floculação para uma ETA hipotética com decantação. São considerados três tipos de floculadores: mecânico com paletas verticais; hidráulico com chicanas verticais, e hidráulico de meio granular expandido. Além do dimensionamento são apresentados custos: de materiais e equipamentos, mão de obra para construção, e despesas com operação e manutenção.

Dados de projeto:

- ✓ Tipo de ETA: de ciclo completo com unidade de mistura rápida mecanizada; um floculador, dois decantadores e quatro filtros rápidos descendentes ;
- ✓ Vazão nominal : 30 L/s

✓ Período de funcionamento: 24 h/d

Ensaios de floculação em jarreste forneceram resultados que permitiram elaborar a Figura 5.12.

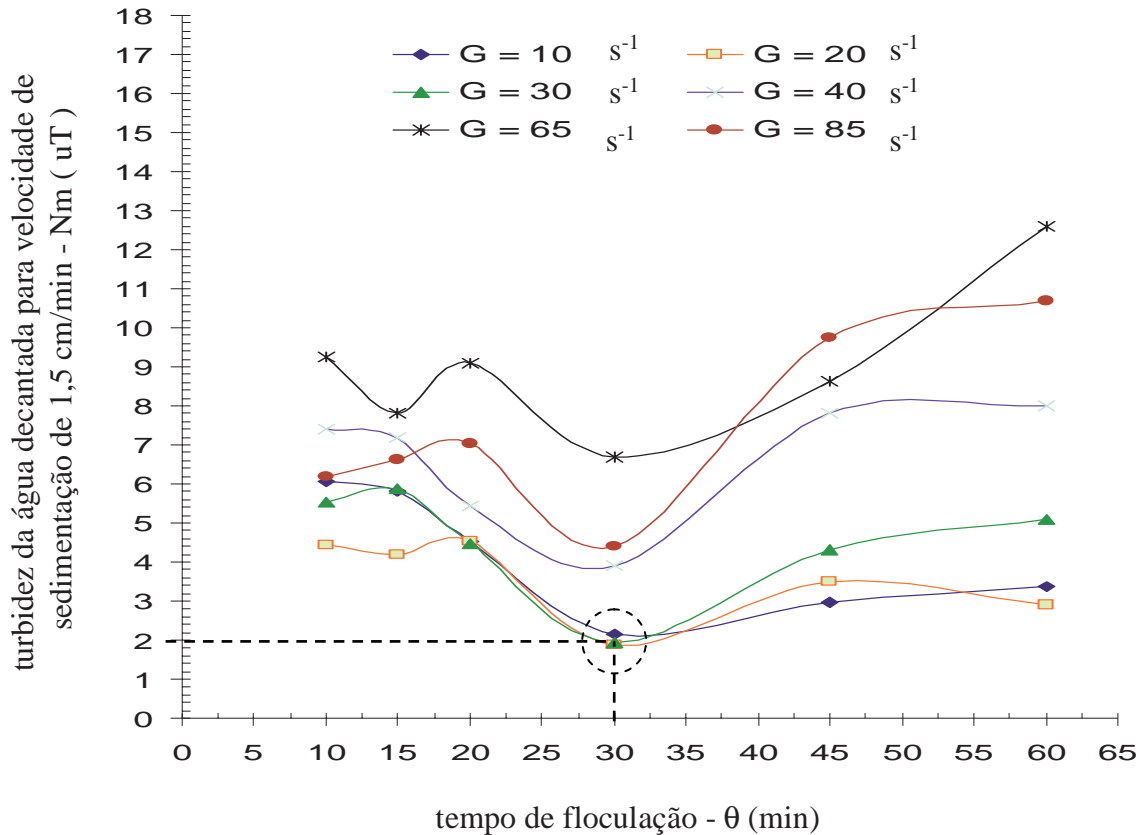


Figura 5-12 - Turbidez da água decantada ($v_s = 1,5 \text{ cm/min}$) em função do gradiente de velocidade e do tempo de floculação em jarreste

Floculador mecânico

Com base nos dados da Figura 5.12 e na metodologia proposta por DE PÁDUA, DI BERNARDO E LIBÂNIO (1998), determinou-se o tempo total de floculação e o gradiente em cada câmara.

- Tempo total de floculação: $T_f = 30 \text{ min}$;
- Número de câmaras de floculação: 4 câmaras (adotado);
- Tempo de floculação em cada câmara: $T_{f1} = 30 / 4 = 7,5 \text{ min}$;
- Gradientes de velocidade: $G_1 = 65 \text{ s}^{-1}$, $G_2 = 30 \text{ s}^{-1}$, $G_3 = 20 \text{ s}^{-1}$ e $G_4 = 20 \text{ s}^{-1}$;
- Volume total do floculador: $V_f = Q \cdot T_f = 0,03 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 30 \text{ min} \cdot 60 \text{ s/min} = 54 \text{ m}^3$;
- Volume de cada câmara $V_{f1} = 54 / 4 = 13,5 \text{ m}^3$;
- Dimensões internas úteis das câmaras: $1,8 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 4,2 \text{ m}$

A Figura 5.13 e a Tabela 5.8 mostram alguns elementos envolvidos no dimensionamento dos agitadores.

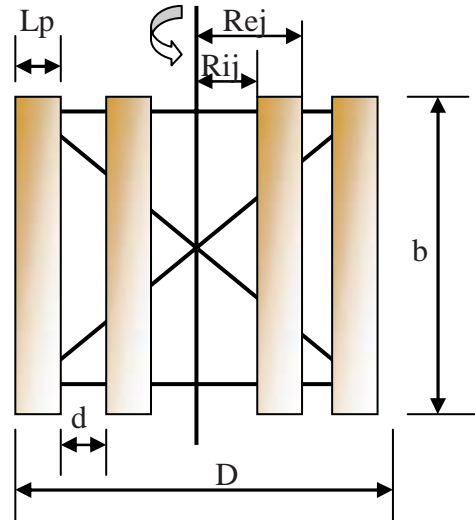


Figura 5-13 - Paletas de um floculador de eixo vertical com algumas dimensões de interesse

Os cálculos foram feitos com base nas seguintes equações:

$$P = (1,465 \times 10^{-5}) \cdot C_d \cdot \gamma \cdot b \cdot [(1-k) \cdot Nr]^3 \cdot \sum_{j=1}^n (Re_j^4 - Ri_j^4) B \quad \text{Equação (5.26)}$$

onde: P = potência do motor (N.m/s), C_d = coeficiente de arraste (adimensional e função da relação b/L_p), ρ = massa específica da água (Kg/m³), b = comprimento da paleta (m), K = Relação de velocidade (adimensional – variável em função do número de rotações das paletas, e do arranjo das mesmas. Conforme DI BERNARDO e DANTAS (2005), pode variar de 0,07 a 0,42); Nr = Número de rotações das paletas (rpm), Re_j e Ri_j = raios externo e interno, respectivamente de cada paleta (m), B = número de braços do floculador.

$$G = \left(\frac{P}{\mu \cdot V} \right)^{1/2} \quad \text{Equação 5.27}$$

Onde: G = gradiente de velocidade (s⁻¹), P = potência introduzida na água em (N.m/s), μ = coeficiente de viscosidade dinâmica da água (N.s/m²), V = volume da câmara (m³).

Tabela 5-8 - Alguns parâmetros envolvidos no dimensionamento do floculador

Parâmetro	Câmaras do Floculador			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	3 ^a
Gradiente de velocidade G (s ⁻¹)	65	30	20	20
Largura das paletas Lp (cm)	20	15	15	15
Comprimento das paletas b (cm)	300	300	300	300
Rotação das paletas N (rpm)	8	5	4	4
Potência do motor P (cv)	1/4	1/4	1/4	1/4
Diâmetro das turbinas D (cm)	152	152	152	152
Número de braços B	2	2	2	2
Raio externo da paleta 1 Re1 (cm)	76	76	76	76
Raio interno da paleta 1 Ri1 (cm)	56	61	61	61
Raio externo da paleta 2 Re2 (cm)	46	31	31	31
Raio interno da paleta 2 Ri2 (cm)	26	16	16	16

Os valores indicados na Tabela 5.8 servem como base para escolha do equipamento, que poderá ser feita a partir de catálogos do fabricante ou então ser fabricada sob medida para atender as condições desejadas.

Os gradientes e perdas de carga nas passagens entre as câmaras do floculador, assim como nas comunicações com canais adjacentes e o próprio decantador, foram determinados através das seguintes expressões:

$$G = 700,6 \left(\frac{f}{4.Rh} \right)^{1/2} v^{3/2} \quad (\text{válida para } t = 20^{\circ}\text{C}) \quad \text{Equação 5.28}$$

Onde: f = fator de fricção (adotado 0,0552), Rh = raio hidráulico da passagem (m), v = velocidade da água na passagem (m/s).

$$hf = \frac{Q^2}{Cd^2 . Ap^2 . 2 . g} \quad \text{Equação 5.29}$$

Onde: hf = perda de carga (m), Q = vazão (m³/s), Cd = coeficiente de descarga (adotado 0,65), Ap = área da passagem (m²), g = constante gravitacional (9,81 m/s²)

As dimensões das passagens entre câmaras dos flocladores estão indicadas na Tabela 5.9. O esvaziamento do floclador, quando necessário será feito por gravidade. É previsto comunicação entre as câmaras, e uma válvula de gaveta com diâmetro de 100 mm, que permite a descarga total em aproximadamente 45 minutos. A Figura 5.14 mostra outras dimensões e alguns detalhes construtivos do floclador.

Tabela 5-9 - Gradientes de velocidade, perdas de carga e velocidades nas passagens entre câmaras do floclador e canais adjacentes

Localização e descrição da passagem	Formato da passagem	Dimensão cm	Velocidade $v = m/s$	Perda de Carga $hf = cm$	Gradiente De velocidade $G = s^{-1}$
Da Câmara de mistura rápida p/ a 1ª câmara do floclador	Circular	D = 40	0,24	0,69	31
Da 1ª p/ a 2ª câmara do floclador	Quadrada	40 x 40	0,19	0,42	22
Da 2ª p/ a 3ª câmara do floclador	Quadrada	45 x 45	0,15	0,26	15
Da 3ª p/ a 4ª câmara do floclador	Quadrada	50 x 50	0,12	0,17	10
Da 4ª p/ o canal de água floclada	Quadrada	50 x 50	0,12	0,17	10

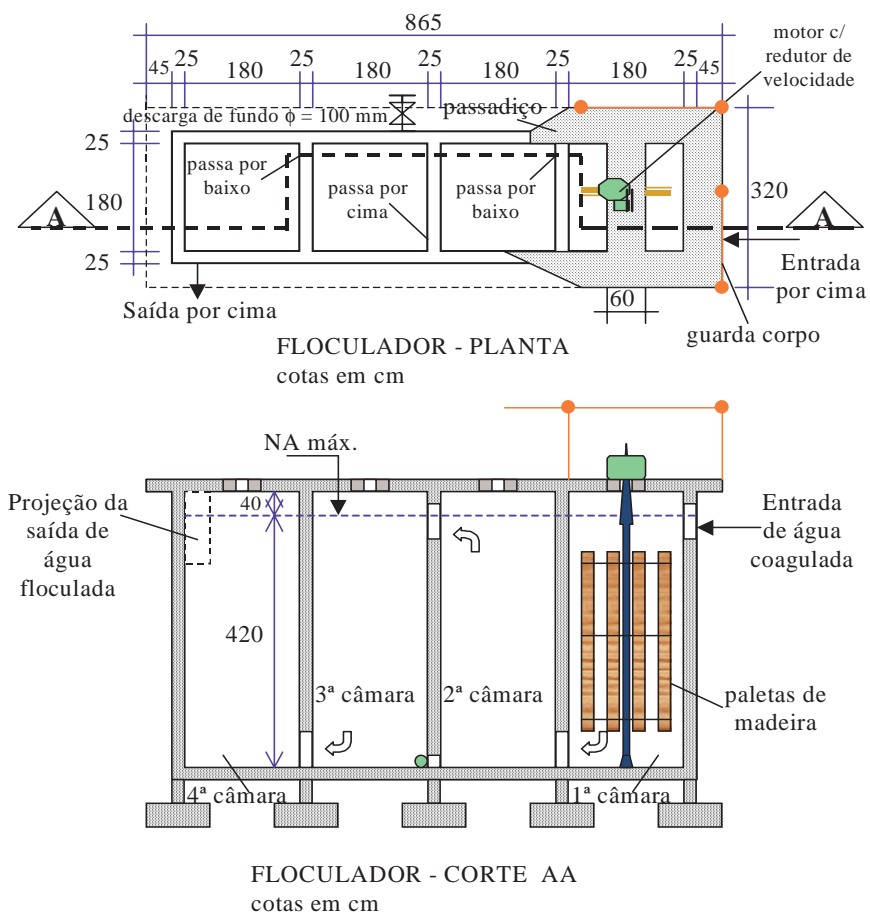


Figura 5-14 - Planta e corte de um floclador mecânico com paletas verticais

Floculador hidráulico de chicanas verticais

O dimensionamento foi feito para um tempo total de floculação de 30 minutos, e vazão de 30 L/s, considerando 4 canais. O tanque é de concreto e as chicanas são de madeira e removíveis, encaixadas nas paredes laterais em perfis U de alumínio. O esvaziamento da unidade, quando necessário, será por gravidade. Os resultados do dimensionamento são apresentados na Tabela 5.10. A Figura 5.15 ilustra as principais dimensões e alguns detalhes construtivos.

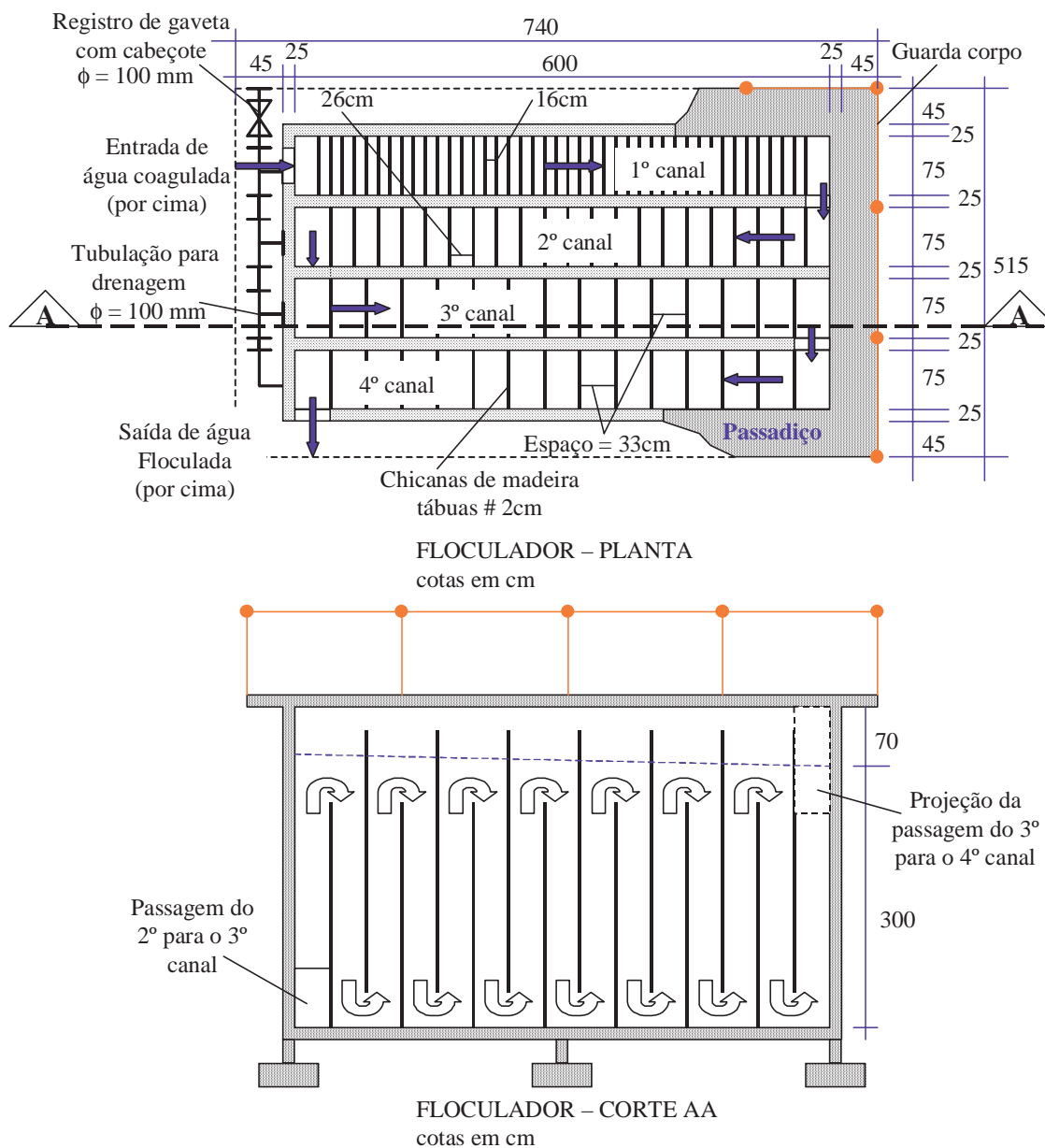


Figura 5-15 - Floculador hidráulico com chicanas verticais

Tabela 5-10 - Elementos de dimensionamento do floculador de chicanas verticais

Parâmetro	1º canal	2º canal	3º canal	4º canal
Comprimento interno (m)	6	6	6	6
Largura interna (m)	0,75	0,75	0,75	0,75
Profundidade útil (m)	3	3	3	3
Volume de cada canal (m ³)	13,5	13,5	13,5	13,5
Gradiente de velocidade médio (s ⁻¹)	65	30	20	20
Espaçamento entre chicanas (m)	0,16	0,26	0,33	0,33
Número de chicanas	38	23	18	18
Perda de carga total (cm)	22,7	4,9	2,3	2,3

Os cálculos do gradiente de velocidade foram feitos com a equação 5.30 para temperatura de 20°C. A perda de carga nos canais formados pelas chicanas foi calculada com a Equação 5.30 de Manning, e nas voltas, passagem de uma chicana para outra, foi calculada pela equação 5.31.

$$hpc = \frac{(V_{ec} \cdot n_m)^2 \cdot Lt}{R_h^{4/3}} \quad \text{Equação 5.30}$$

$$hpv = \frac{nc \cdot V_{ec}^2 + (nc - 1) \cdot V_{ev}^2}{2 \cdot g} \quad \text{Equação 5.31}$$

Onde: hpc = perda de carga por atrito nos canais formados pelas chicanas (m); V_{ec} = velocidade de escoamento nos canais formados pelas chicanas (m/s); n_m = coeficiente de Manning (0,013 para concreto e 0,011 para madeira); Lt = comprimento total percorrido pela água (m); R_h = raio hidráulico (m); hpv = perda de carga nas voltas (m); nc = número de chicanas igualmente espaçadas; V_{ev} = velocidade de escoamento nas voltas (m/s).

O gradiente de velocidade médio em cada canal foi calculado pela equação 5.32, e nas passagens entre chicanas e entre canais, através da Equação 5.28.

$$G = \sqrt{\frac{\lambda \cdot hf}{\mu \cdot T}} \quad \text{Equação 5.32}$$

onde: G = gradiente de velocidade médio no canal (s^{-1}); T = tempo médio de floculação no canal (s); μ = coeficiente de viscosidade dinâmica ($N \cdot s/m^2$); hf = perda de carga total no canal (m); λ = peso específico da água (N/m^3).

Floculador hidráulico de meio granular expandido

As informações básicas para o dimensionamento do floculador foram retiradas da Figura 5.12. Foi determinado para cada gradiente de velocidade os valores de KB/KA e KA através das equações 5.1 e 5.2, respectivamente, correspondentes a quatro tempos de floculação. As médias dos valores obtidos estão na Tabela 5.11.

Tabela 5-11 - Valores médios de KB/KA e KA obtidos da Figura 5.10

Coeficientes	Gradientes de velocidade (s^{-1})						**Média
	10	20	30	40	65	85	
* KB/KA	2,56E-02	1,04E-02	8,29E-03	8,23E-03	7,04E-03	3,97E-03	1,06E-02
* KA	1,76E-03	8,54E-04	5,84E-04	5,08E-04	2,46E-04	1,81E-04	6,89E-04

*valores médios de quatro determinações por gradiente, correspondentes aos tempos de floculação de 10, 15, 20 e 30 minutos; ** média das 24 determinações.

Os dados da Tabela 5.11 mostram que o maior valor médio de KA corresponde ao gradiente de velocidade $10 s^{-1}$. Entretanto, conforme Figura 5.12, as eficiências obtidas na remoção da turbidez foram bem próximas para os gradientes 10, 20, $30 s^{-1}$, para os tempos de floculação de 20 e 30 minutos. Em função desse aspecto e pela dificuldade de obter valores de gradientes de velocidade inferiores a $30 s^{-1}$ através de meios granulares expandidos, foi adotado $G = 30 s^{-1}$ e o tempo de floculação de 30 min, para estimar o valor de KA .

O valor médio para 4 determinações (para os quatro tempos de floculação considerados) está indicado na Tabela 5.11, ou seja, $5,84 \times 10^{-4}$, entretanto o valor pontual foi menor, $KA = 3,2 \times 10^{-4}$, e por estar abaixo da média foi adotado por segurança. Os demais valores retirados da Figura 5.12 estão abaixo relacionados:

1. Tempo de floculação em jarteste: $\theta = 30$ min
2. Turbidez da água bruta: $No = 18$ uT
3. Gradiente de velocidade na floculação em jarteste: $G = 30 s^{-1}$
4. Turbidez da água decantada para G e θ considerados: 1,95 uT

Durante os ensaios a temperatura média da água foi de 20 °C. Foi considerado o dimensionamento de uma unidade de floculação com formato quadrado, para uma vazão de 30 L/s . O material granular escolhido com base no gradiente de velocidade desejado tem as seguintes características: Identificação: m7 (ver Tabela 4.1); diâmetro equivalente: 2,67mm; massa específica: 1,04 g/cm³; coeficiente de esfericidade:0,84; porosidade inicial: 0,4. Os resultados obtidos nos procedimentos de cálculo estão na Tabela 5.12.

Tabela 5-12 - Elementos de dimensionamento do floculador granular

Parâmetro: valor (unidade)	Equação utilizada
1- Relação KB/KA= 0,00361111	Equação 5.1
2- Coeficiente de agregação KA= 3,2 x10 ⁻⁴	Equação 5.2
3- Tempo equivalente de floculação em jarreste T= 3,9 min	Equação 5.3
4- Número de Galileu Ga= 7704	Equação 5.4
5- Reynolds na velocidade mínima de fluidificação Rmf = 4,4	Equação 5.5
6- Velocidade mínima de fluidificação Vmf = 1,7 mm/s	Equação 5.6
7- Velocidade de sedimentação da partícula Vs = 19,7 mm/s	Equação 5.7
8 – Velocidade correspondente a porosidade 100% Vi = 28,1 mm/s	Equação 5.10
9 - Reynolds na velocidade Vs Ro = 52,1	Equação 5,11
10 – Coeficiente de expansão n = 3,36	Equação 5.12
11 – Porosidade do meio expandido ε _e = 0,68	Equação 5.14
12 – Expansão = 88%	Equação 5.15
13 – Altura inicial de material no floculador Ho = 1,36m	Equação 5.24
14 – Altura do leito expandido He = 2,56m	Eq. 5.15 e 5.24
15 – Gradiente de velocidade G = 38 s ⁻¹	Equação 5.25
16 – Perda de carga no meio granular hf = 64 mm	Equação 3.32
17 – Velocidade de aproximação da água Va = 650 m/d	adotado

As demais dimensões do floculador e alguns detalhes construtivos podem ser vistas na Figura 5.16. O valor Va = 650 m/d indicado na Tabela 5.12 foi fruto de uma avaliação com relação a forma geométrica do floculador. Inicialmente se estabeleceu a condição de manter o leito fluidificado. A partir da velocidade correspondente aquele estado o gradiente de velocidade sofre pequenas variações com o aumento de Va conforme Figura 5.8. O critério passou a ser então obter dimensões que, construtivamente possam resultar em maior economia em termos de área e/ou facilitar o seu acoplamento ao decantador, haja vista a necessidade de que a água floculada seja conduzida a unidade subsequente de tratamento, sem que ocorra quebra de flocos. Pelo exposto, alturas menores e áreas maiores poderiam implicar em uma construção suspensa do floculador, o que poderia ser mais oneroso. Também se deve considerar

que a distribuição da água coagulada pelo fundo do floculador seja uniforme para evitar curto circuitos, reduzindo a eficiência da floculação.

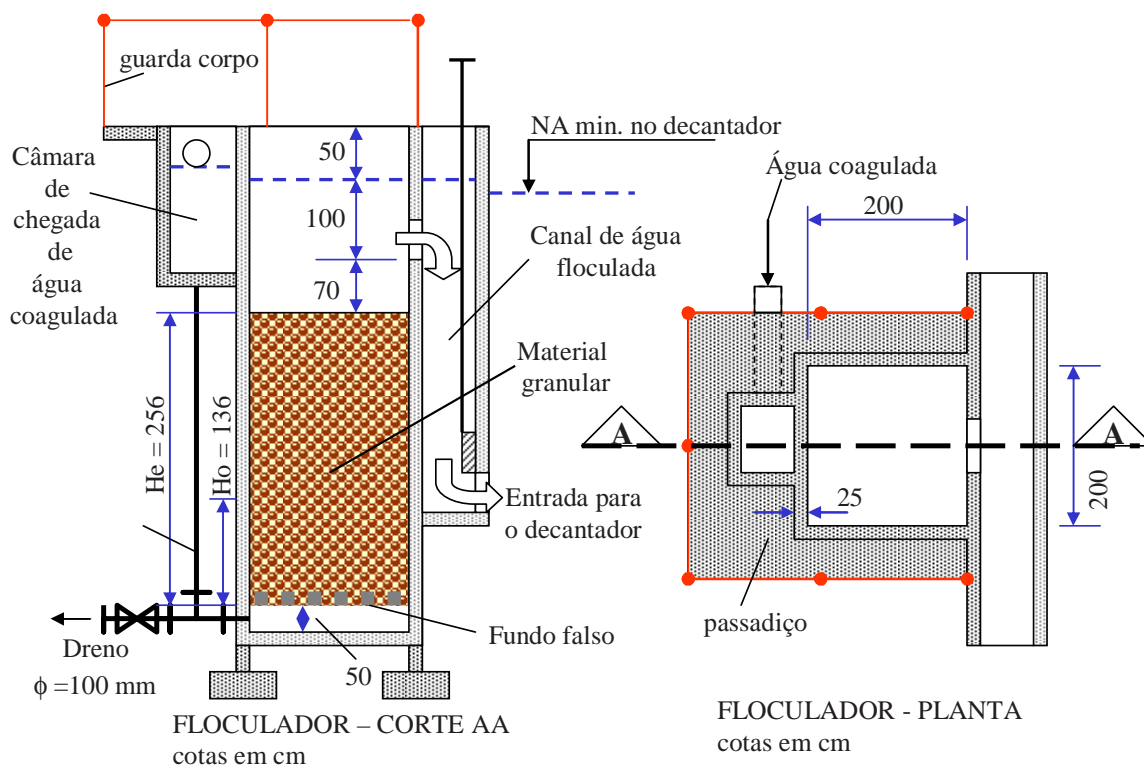


Figura 5-16 - Floculador hidráulico de meio granular expandido

Dentre os materiais granulares estudados, os que poderiam ser utilizados no floculador em questão seriam o m6 e o m7. Ambos permitem obter gradientes de velocidade entre 35 e 42 s^{-1} . Considerando que para $G = 40 s^{-1}$ e 30 min de floculação, conforme Figura 5.12, a turbidez remanescente da água decantada foi 2,7 uT, adotou-se o material m7, que forneceu $G = 38 s^{-1}$, por ser também um material produzido industrialmente em grande escala. Além do exposto, deve-se considerar que os resultados representados pela Figura 5.12 referem-se a coagulação com sulfato de alumínio, e sem adição de polímeros, portanto os resultados podem ser otimizados.

Análise de custos

Para os três tipos de floculadores dimensionados foram levantados os custos relativos a obras civis, operação (consumo de energia) e manutenção. Os resultados finais estão na Tabela 5.13. O orçamento detalhado encontra-se na Tabela 5.A no apêndice I. A avaliação do dispêndio anual foi feita para um período de amortização de

10 anos com taxas de juros de 12% aa. O fator de amortização foi calculado com base na Equação 5.33. Foram considerados também os seguintes parâmetros: custo da energia elétrica = R\$ 0,40 /KWh; custo da mão de obra de manutenção = R\$ 15,50 /h..

$$Am = \frac{C(1+i)^x \cdot i}{(1+i)^x - 1} \quad \text{Equação 5.33}$$

onde: Am = fator de amortização (R\$/ano); i = taxa de juros (% aa); C = capital investido; x = período de amortização.

Tabela 5-13 - Custos de implantação e operação dos floculadores

ITEM DE DESPESA	Floculador mecânico	Floculador de chicanas	Floculador granular
1-CAPITAL			
1.1 -Obras civis (R\$)	43.642,30	79.939,16	52.553,87
1.2 -Equipamentos (R\$)	48.000,00		
SUBTOTAL (R\$)	91.642,30	79.939,16	52.553,87
Amortização do capital (R\$/ano)	16.220,68	14.149,23	9302,04
2-OPERAÇÃO			
2.1-Consumo de energia (R\$/ano)	2831,20	550,00	158,00
2.2-Manutenção	100,00	15,50	-
SUBTOTAL (R\$/ano)	2931,20	565,50	158,00
*Dispêndio anual TOTAL (R\$/ano)	19.151,88	14.714,73	9460,04

* soma dos itens: Amortização do capital + SUBTOTAL relativo a OPERAÇÃO

Observa-se na Tabela 5.13 o menor custo para o floculador granular. Na Tabela 5A citada anteriormente, observa-se que a metade do custo é relativo ao material granular, o que poderia ser minimizado, possivelmente, com a utilização de grãos fabricados com material reciclado.

5.3 Resultados da segunda fase da pesquisa

Os resultados são apresentados em dois grupos. O primeiro grupo é relativo aos ensaios em jarteste, e o segundo relativo aos ensaios em sistema piloto.

5.3.1 Resultados obtidos em jarteste

Esses resultados são de ensaios feitos com os três tipos de água apresentadas no item 4.3.1 da metodologia.

5.3.1.1 Resultados da Série I: Condições de coagulação

Os diagramas de coagulação apresentados serviram de base para os ensaios posteriores de avaliação da floculação. As características da água bruta durante os ensaios estão no apêndice I juntamente com as tabelas utilizadas para elaboração dos

diagramas. Nos ensaios dessa série foram adotados: gradiente de mistura rápida $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$ e tempo de mistura rápida $T_{mr} = 30 \text{ s}$ para todas as águas estudadas. O diagrama representado pela Figura 5.17 foi elaborado com dados das Tabelas A1.1 a A1.7. para água tipo I. O ponto de trabalho indicado foi utilizado nos ensaios de otimização das condições de mistura rápida, para verificação do tipo de areia dos FLAs, verificação da influência das condições de floculação na qualidade da água filtrada, e no desenvolvimento de perda de carga nos FLAs.

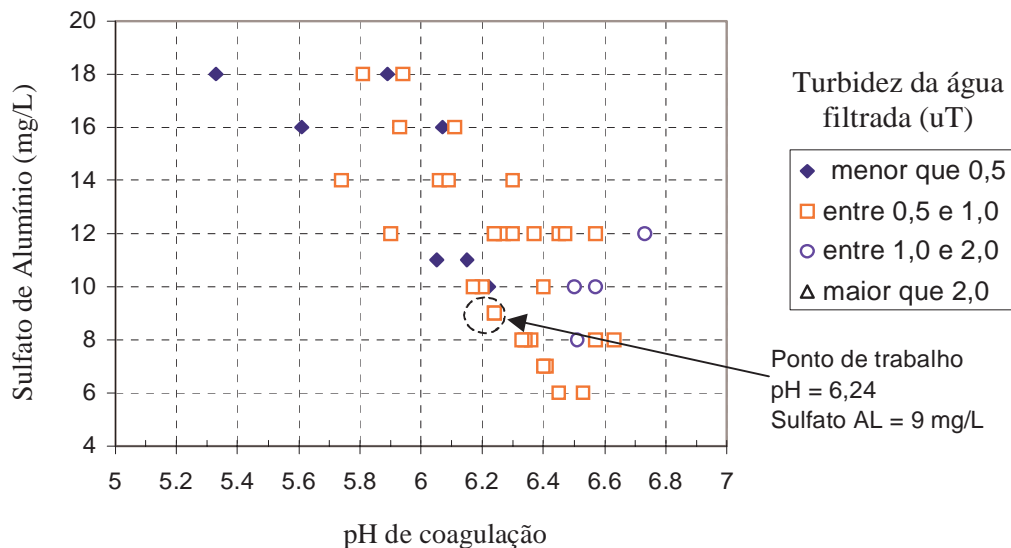


Figura 5-17 - Diagrama de coagulação para água tipo I (lagoa do Peri)

Em função de alterações nas características das águas da lagoa do Peri, sobretudo em termos de cor e turbidez, um novo diagrama de coagulação foi elaborado, e está representado pela Figura 5.18. Os dados utilizados estão nas Tabelas A1B.1 a A1B.4.

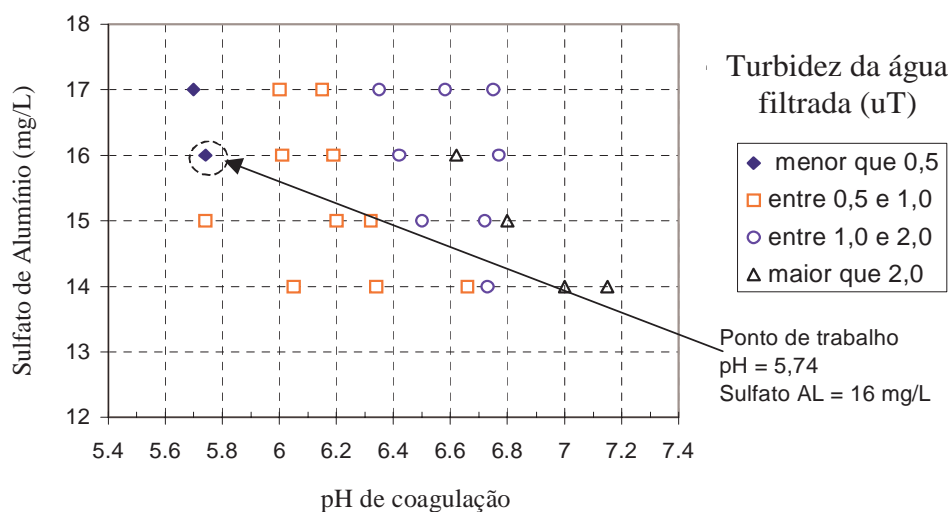


Figura 5-18 - Diagrama de coagulação II para água tipo I (lagoa do Peri)

O ponto de trabalho indicado na Figura 5.18 foi utilizado nos ensaios de floculação em sistema piloto conforme será apresentado mais adiante. O diagrama representado pela Figura 5.19 foi elaborado com dados extraídos das Tabelas A1C.1 a A1C.9. A utilização do coagulante hidroxicloreto de alumínio foi avaliada em função de não terem sido observados prolongamentos na duração das carreiras de filtração em função da pré-floculação, e também por se comportar melhor que o sulfato de alumínio frente às variações do pH de coagulação, permitindo manter a qualidade da água filtrada.

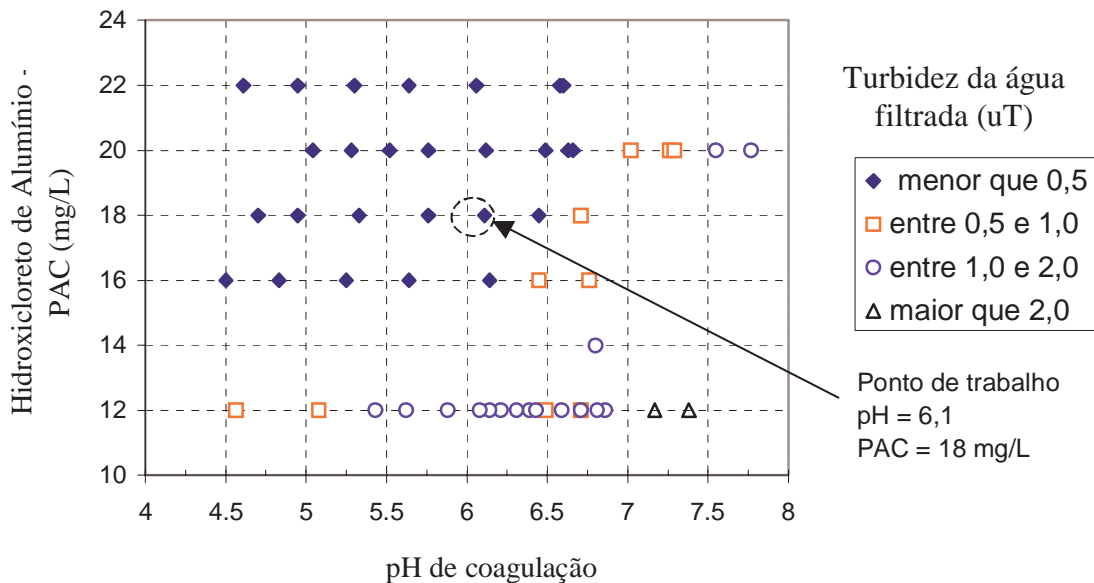


Figura 5-19 - Diagrama de coagulação III para água tipo I (lagoa do Peri)

A Figura 5.20 mostra o diagrama de coagulação para a água tipo II, elaborado com dados das Tabelas A2.1 a A2.4. O ponto de trabalho indicado foi utilizado nos ensaios de otimização das condições de mistura rápida, e floculação em jarreste.

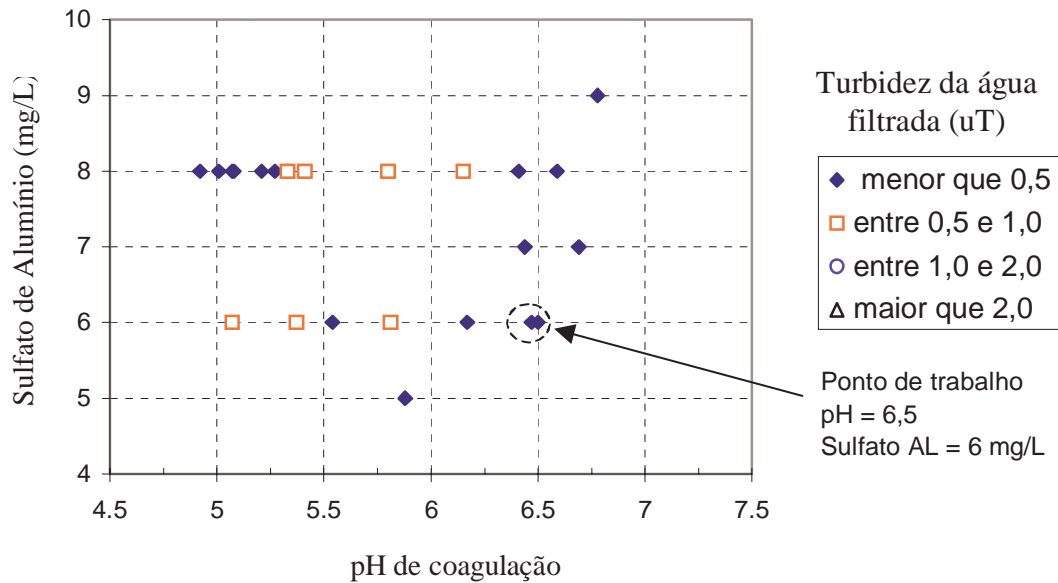


Figura 5-20 - Diagrama de coagulação para água tipo II (rio Vargem do Braço)

O diagrama de coagulação representado pela Figura 5.21 foi elaborado com dados das Tabelas A3.1 a A3.3. O ponto de trabalho indicado foi utilizado nos ensaios de otimização das condições de mistura rápida, e floculação em jarteste.

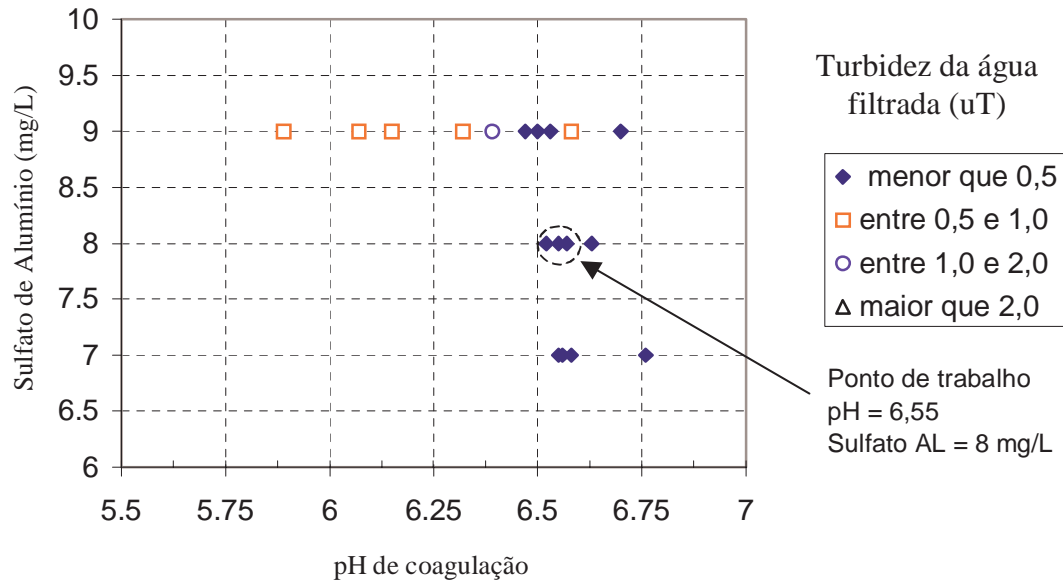


Figura 5-21 - Diagrama de coagulação para água tipo III (rio Cubatão Sul)

5.3.1.2 Resultados da Série II: Verificação do tipo de areia dos FLAS

A areia escolhida foi a tipo 2, com grãos variando de 0,42mm a 0,84mm, e tamanho efetivo 0,5mm. Os valores de turbidez obtidos estão na Tabela A1.8. A escolha foi devido a proximidade dos valores obtidos no ensaio com os valores de turbidez da água filtrada produzida pela ETA da lagoa do Peri. Cabe lembrar que no filtro piloto utilizado nas etapas seguintes da pesquisa, foi adotado inicialmente a mesma configuração de leito filtrante da ETA em questão.

5.3.1.3 Resultados da Série III: Verificação das condições de mistura rápida

A Figura 5.22 foi construída com dados das Tabelas A1.9 a A1.12. Observa-se que o gradiente de velocidade 1200 s^{-1} forneceu melhores resultados que os demais para a maior parte dos tempos de mistura adotados, e em média, com melhora progressiva da qualidade da água filtrada em função do aumento do tempo. Portanto as condições de mistura rápida adotadas para as etapas seguintes foram: gradiente de velocidade = 1200 s^{-1} e tempo = 30s.

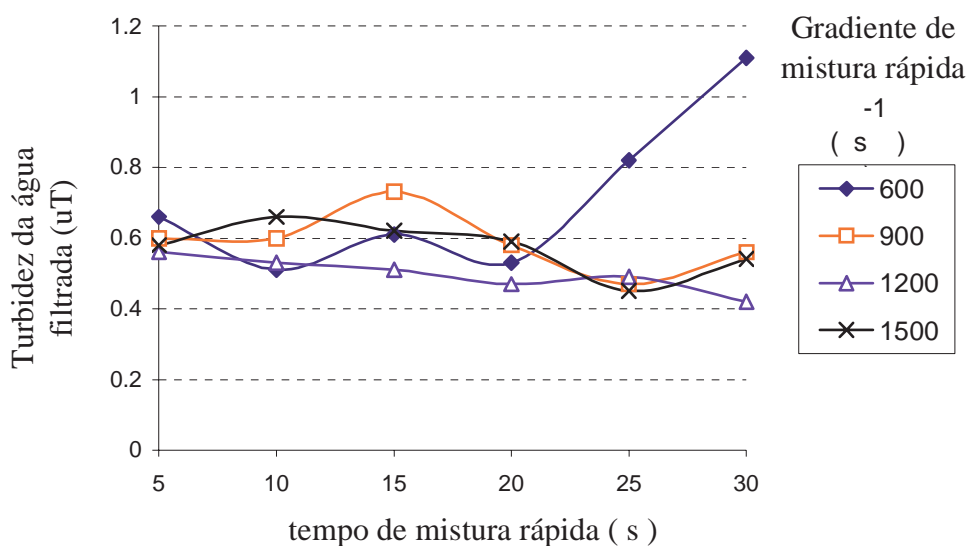


Figura 5-22 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida – Água Tipo I (lagoa do Peri)

A Figura 5.23 válida para a água tipo II foi construída com dados das Tabelas A2.5 a A2.8. As condições de mistura rápida adotadas para os ensaios da etapa seguinte foram: gradiente de velocidade = 1200 s^{-1} e tempo = 20s.

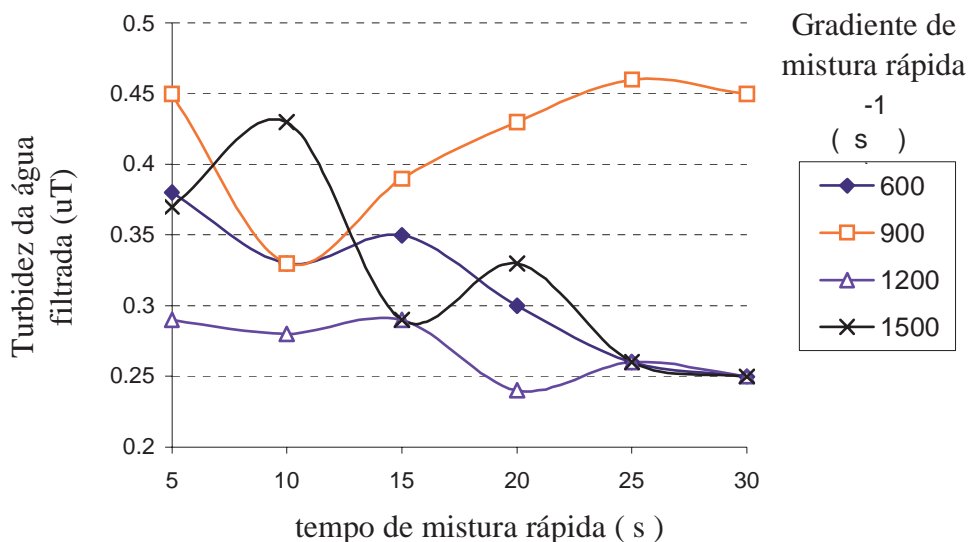


Figura 5-23 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida – Água Tipo II (rio Vargem do Braço)

A Figura 5.24 válida para a água tipo III foi construída com dados das Tabelas A3.4 a A3.7. As condições de mistura rápida adotadas para os ensaios da etapa seguinte foram: gradiente de velocidade = 900 s^{-1} e tempo = 25s.

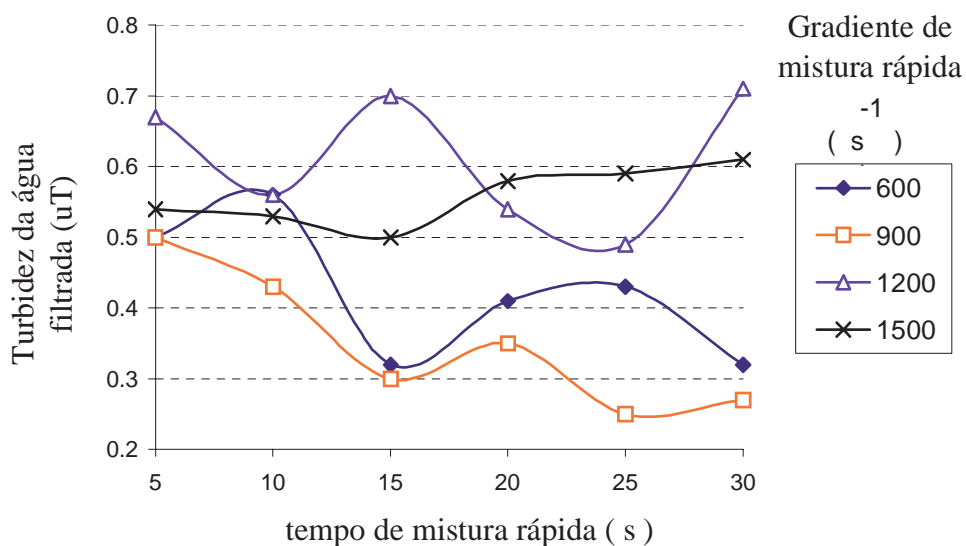


Figura 5-24 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida – Água Tipo III (rio Cubatão Sul)

As condições de mistura rápida com melhores resultados foram iguais para as águas tipo I e II. A semelhança é devida provavelmente as características das duas águas. A Tabela 5.14 sintetiza algumas relações entre cor, turbidez e pH que podem ajudar a explicar os resultados obtidos.

Tabela 5-14 - Comparativo entre valores de cor , turbidez e pH das águas tipo I, II e III, durante os ensaios de otimização das condições de mistura rápida

Parâmetro ou Relação	Água I – lagoa do Peri	Água II – rio Vargem do Braço	Água III – rio Cubatão Sul
*Cor aparente (uH)	50	13,5	69
*Cor verdadeira (uH)	10	7	5
*Turbidez (uT)	4	1,3	10
*PH	7	6,4	6,4
**PH de coagulação	6,24	6,5	6,55
Cor aparente / Turbidez (uH / uT)	12,5	10,4	6,9
Cor verdadeira / Cor aparente (%)	20	52	7

* valores médios durante a realização dos ensaios; ** valores utilizados nos ensaios de otimização da mistura rápida

Observa-se que pela Tabela 5.14 que para as águas tipo I e II as relações entre cor aparente e turbidez, e entre cor verdadeira e cor aparente, são maiores que para a água tipo III. A lagoa do Peri caracteriza-se pela forte presença de fitoplâncton e vegetação decomposta depositada no fundo, conferindo a água teores de matéria orgânica em termos de COT da ordem de 5 a 7,5 mg/L.

A captação no rio Vargem do Braço é feita numa represa localizada numa área de preservação ambiental. Suas águas tornam-se fortemente coloridas em períodos chuvosos pelo aporte de matéria vegetal em decomposição oriunda das matas que emolduram suas margens, o que praticamente não se observa no rio Cubatão Sul, um rio que atravessa perímetros urbanos e uma bacia com atividades agrícolas intensivas.

Esses fatores influenciam as características da matéria em suspensão e dissolvida na água. A matéria orgânica de natureza húmica por dissociações de grupos funcionais tende a tornar-se mais eletronegativa dificultando o processo de desestabilização por neutralização de cargas, exigindo portanto maior energia na dispersão do coagulante (EDWARDS, G.A.; AMIRTHARAJAH, A, 1985).

5.3.1.4 Resultados da Série IV: Verificação das condições de floculação

As Figuras 5.25, 5.26 e 5.27 , construídas com dados das Tabelas A1.13 a A1.18, A2.9 a A2.14, e A3.8 a A3.13, respectivamente, ilustram os resultados obtidos. É oportuno lembrar que foram aplicadas as condições de coagulação e mistura rápida definidas nas séries anteriores, e a filtração das amostras foi feita em FLAs.

Observa-se que não houve diferenças significativas em termos de qualidade da água filtrada em função da pré-floculação, estando de acordo com as observações de alguns pesquisadores. Para a água tipo I a pré-floculação trouxe um certo prejuízo a medida que o tempo de floculação aumentou, para todos os valores de gradiente de velocidade, o que não ocorreu com as águas tipo II e III. Durante os ensaios com a água tipo I observou-se que após o período de floculação, os flocos tendiam a permanecer em suspensão e às vezes flotar. Provavelmente a presença excessiva de fitoplâncton contribuiu para os resultados obtidos.

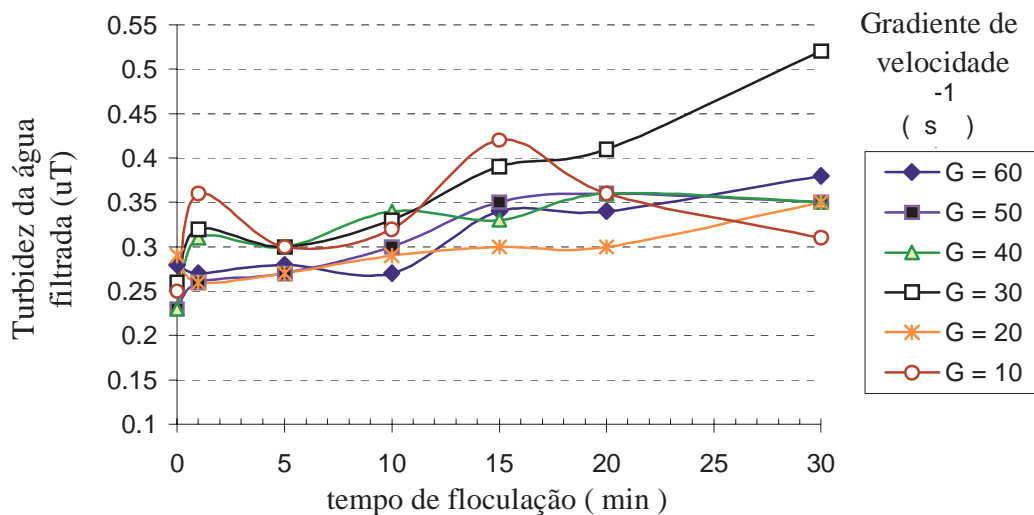


Figura 5-25 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de floculação – Água Tipo I (lagoa do Peri)

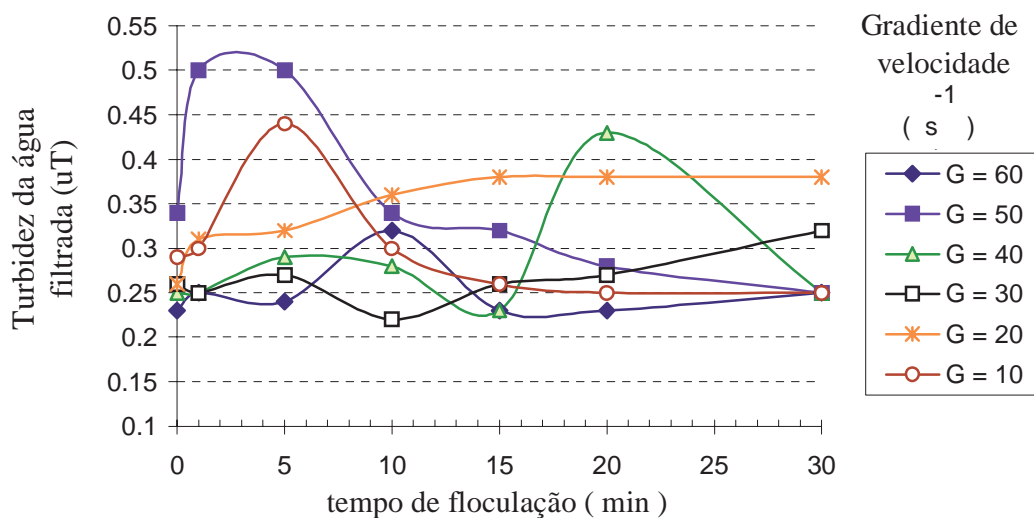


Figura 5-26 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de floculação – Água Tipo II (rio Vargem do Braço)

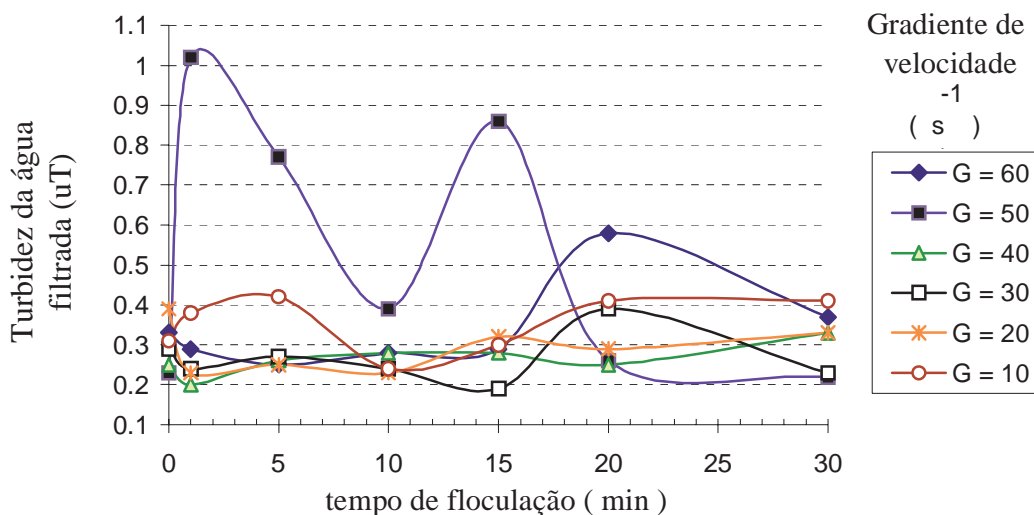


Figura 5-27 - Qualidade da água filtrada em função do gradiente de velocidade e tempo de floculação – Água Tipo III (rio Cubatão Sul)

5.3.1.5 Resultados da Série V: Verificação da evolução da perda de carga em FLAs

Este grupo de ensaios foi feito apenas para a água tipo I. As condições de realização desses ensaios foram apresentadas no item 4.3.3.6 da metodologia. Os resultados obtidos estão nas Tabelas A1.19 a A1.24 do Apêndice II.

A Figura 5.9 obtida com dados das tabelas citadas, mostra que para os gradientes de velocidade 15 s^{-1} , 20 s^{-1} , 30 s^{-1} , 40 s^{-1} , e 55 s^{-1} nos tempos de floculação 5 e 10 min, houve redução no tempo total para filtrar as amostras. Considerando que a qualidade da água filtrada foi mantida dentro de certos limites, e que a carga hidráulica aplicada no FLA se manteve constante, pode-se dizer que as condições de floculação influenciaram no desenvolvimento da perda de carga. As Tabelas com os resultados também mostram que a qualidade da água foi ligeiramente superior quando não houve floculação prévia (tempo de floculação = 0), confirmando os resultados obtidos nos ensaios da série anterior. A Figura 5.28 ilustra a aparência dos flocos formados durante um dos ensaios, correspondendo a condição: $G = 30 \text{ s}^{-1}$ e tempo de floculação = 10 min.

Observa-se que os flocos possuem formatos bastante irregulares e tamanhos variáveis. A escala fotografada permite estimar o tamanho dos flocos. Alguns aparentam ter 1mm e a maioria menos que 0,5mm. A foto foi feita com uma Câmera digital SONY MVC-CD300 com recursos de zoom digital e macro lente acoplada.

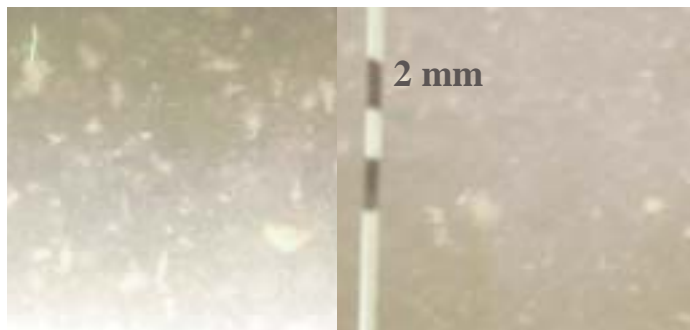


Figura 5-28 - Foto de flocos produzidos em jarteste durante a avaliação da evolução da perda de carga em FLA

5.3.2 Resultados obtidos em sistema piloto

Conforme descrito no item 4.3.4. os ensaios em sistema piloto foram feitos apenas para a água tipo I. As características dos ensaios realizados estão na Tabela 4.6. Os resultados obtidos em cada ensaio estão nas Planilhas Nfloc1 a Nfloc32 do Apêndice II. Cada uma dessas planilhas contem os dados horários de acompanhamento dos ensaios para até três materiais, gráfico de qualidade da água decantada em termos de cor aparente e turbidez, gráfico de variação horária da perda de carga, gráfico de variação horária da turbidez das águas bruta e floculada. Para um determinado grupo de ensaios, a partir da planilha Nfloc10, também constam gráficos da qualidade da água filtrada em FLA e variações na taxa de filtração.

Com base nos dados das planilhas citadas foram elaboradas as Tabelas A12.1, A12.2, A12.3 e A12.4, e todas estão no Apêndice II. A Tabela A12.1 contem os principais parâmetros para aplicar o critério de escolha descrito no item 4.3.4.3. Essa tabela contem informações de todos os ensaios de floculação realizados para todos os materiais, dentre as quais: altura inicial do leito, expansão, velocidade de aproximação ou taxa, gradiente de velocidade, tempo de floculação, qualidade da água filtrada em FLA e da água decantada, relação entre a turbidez da água floculada e da água bruta, e características dos flocos produzidos.

Com base nos dados da Tabela A12.1 foram escolhidos dois ensaios para cada material ou combinação de materiais estudados, e elaborado a Tabela A12.2. Para cada material em cada critério de avaliação existe um ou mais de um ensaio 1º colocado, e um ou mais de um ensaio 2º colocado. O 1º colocado recebeu o peso integral atribuído ao critério e o 2º colocado a metade do peso.

Por exemplo: No critério autolimpeza, avaliado pela manutenção da perda de carga constante durante todo o ensaio, os ensaios em que houve autolimpeza foram os primeiros colocados, e os que não sofreram autolimpeza, ficaram em segundo lugar. Os materiais m8, m9 e m10 não aparecem em primeiro lugar na Tabela A12.2 porque a perda de carga foi crescente durante todo o ensaio, o que pode ser visto nas Planilhas Nfloc1 e Nfloc2. Para o material m8 no ensaio Nfloc2 a colmatação chegou a provocar a separação do leito conforme mostra a Foto 16 no apêndice II.

A partir da Tabela A12.2 foi escolhido um ensaio para cada material relativo a melhor pontuação obtida segundo os critérios de avaliação, e elaborado a Tabela A12.3. A partir dessa última tabela os materiais foram comparados segundo os critérios já apresentados, e foi escolhido um para a etapa seguinte da pesquisa, indicado na Tabela A12.4. O material escolhido foi o m6 e o ensaio associado foi o Nfloc3 constante no apêndice II.. Suas principais características são:

- Altura inicial do leito = 1,6 m
- Velocidade de aproximação = 760 m/d
- Expansão do leito = 67,7%
- Gradiente de velocidade = 45 s^{-1}
- Tempo de floculação = 3,2 min
- Número de Camp GT = 8730

Avaliação

Observou-se que tanto para os materiais esféricos como para os não esféricos é possível obter boa produção de flocos quando satisfeitas as necessidades em termos de gradiente de velocidade e tempo de floculação. Para a água estudada os materiais não esféricos com menor massa específica forneceram melhores resultados devido aos menores gradientes de velocidade possíveis. Esse aspecto está relacionado com a fragilidade dos flocos devido a natureza das partículas presentes na água estudada e o tipo de coagulante empregado.

A condição de autolimpeza foi observada ou não, tanto nos materiais esféricos como não esféricos. Entre os esféricos, em alguns ensaios com o material m1 (massa específica = $1,07 \text{ g/cm}^3$) houve ciclos de retenção e liberação de material em forma de nuvens de flocos, ao que se atribuiu a designação de produção não constante de flocos.

Esse fenômeno também foi observado com o material não esférico m5, cuja massa específica é $1,08 \text{ g/cm}^3$. Os dois materiais citados, entre os que sofreram expansão nas velocidades de aproximação estudadas, são os que tem maior massa específica. O material m4, esférico, comportou-se como leito fixo em praticamente todas as velocidades de aproximação estudadas.

O efeito filtrante foi observado através da relação entre a turbidez da água floculada e a turbidez da água bruta, e também pelo aumento progressivo da perda de carga durante os ensaios. Sempre que uma boa produção de flocos foi visualmente observada, o meio granular estava completamente fluidificado, a relação de turbidez citada era superior a unidade, variando entre 1,1 e 1,4, e a perda de carga se mantinha constante.

Com o objetivo de reduzir a altura dos flocladores e/ou aumentar o tempo de floclação, e também para facilitar o seu acoplamento a unidades de filtração direta descendente, foi avaliado o uso combinado de materiais, surgindo o floclador de leito misto, fixo e expandido. O resultado desses ensaios estão nas Planilhas Nfloc27 a Nfloc32 do Apêndice II. Algumas fotos do apêndice II ilustram essa configuração.

A foto 13 mostra a aplicação do material m6 no ramo ascendente (leito expandido) e do material m10 no ramo descendente (leito fixo). O problema observado foi a retenção dos flocos formados no ramo descendente. Na tentativa de obter resultados positivos foi invertido a ordem dos materiais, conforme mostra a Foto 14. No ramo descendente foi colocado o material m9 (leito fixo) e no ramo ascendente o material m6 (leito expandido). Dessa configuração resultou gradiente de velocidade no ramo descendente inferior ao gradiente de velocidade do ramo ascendente. Houve da mesma forma retenção de flocos no ramo descendente.

O comportamento observado com os leitos fixos influenciou decisivamente os resultados obtidos e sua exclusão através dos critérios de avaliação adotados. Nas fotos de 1 a 20 do apêndice II estão ilustradas diversas características do sistema piloto de floclação, dos materiais utilizados e dos flocos produzidos.

5.4 Resultados da terceira fase da pesquisa

Os resultados dessa fase referem-se aos ensaios de floculação / filtração em sistema piloto conforme descrito no item 4.4. As características do floculador e demais condições foram definidas na fase anterior conforme apresentado no item 5.3.2.

Os ensaios foram feitos em dias consecutivos e de forma alternada, com e sem pré-floculação. Foram feitos três séries de ensaios totalizando 20 ensaios. Inicialmente foram realizados os ensaios da série C11. Em seguida o meio filtrante foi substituído para a realização dos demais ensaios. Alguns ensaios foram desconsiderados e refeitos em função da não obtenção do mesmo padrão de qualidade da água filtrada.

Após a troca do meio filtrante de L2 para L1, constatou-se que nos primeiros ensaios, e de forma mais acentuada nas primeiras cinco horas de cada ensaio, o pH da água filtrada resultou inferior ao da coagulada. Em função desse aspecto que afetava a qualidade da água produzida pelo filtro, oito ensaios foram desconsiderados e refeitos na série Ec25.

Condições de coagulação

Em função de alterações na qualidade da água algumas condições de coagulação tiveram que ser revistas em relação ao definido em alguns ensaios das fases anteriores. Em termos de mistura rápida, independentemente da qualidade da água bruta e do coagulante utilizado, foi mantido o gradiente de velocidade $G = 1200 \text{ s}^{-1}$ e tempo de mistura rápida $T = 30 \text{ s}$. Em termos de coagulação os parâmetros foram os seguintes: coagulação com sulfato de alumínio - SA (ensaios da série C11) \Rightarrow dosagem = 16 a 18 mg/L, pH de coagulação = 5,6 a 5,8, turbidez da água filtrada = 0,5 uT; SA (ensaios da série Ec25) \Rightarrow dosagem = 22 a 29 mg/L, pH de coagulação = 5,6 a 5,8, turbidez da água filtrada = 0,5 uT; coagulação com hidróxido de alumínio - PAC (ensaios da série Epca25) \Rightarrow dosagem = 20 a 22 mg/L, pH de coagulação 5,5 a 6,5, turbidez da água filtrada = 0,3 uT.

Observa-se que a faixa do pH de coagulação é mais ampla com a utilização do hidróxido de alumínio do que com a utilização do sulfato de alumínio, aspecto que contribuiu para obtenção de água filtrada com melhores características, tanto em jarreste como em sistema piloto, quando da utilização daquele primeiro coagulante.

Carreiras de filtração com e sem pré-floculação

As planilhas com os resultados obtidos estão no Apêndice III, identificadas de Planilha A13.1 a Planilha A13.20. A Tabela 5.15 mostra os principais resultados obtidos nos ensaios realizados e considerados, em termos de qualidade da água bruta, condições de coagulação e qualidade da água filtrada. As condições de floculação sofreram alguns ajustes em relação ao definido no item 5.3.2 em função das taxas diferenciadas de alimentação do filtro descendente e do floculador resultando:

gradiente de velocidade médio = 55 s^{-1} (53 a 56); tempo médio de floculação = 2,85 min (2,8 a 2,9); Velocidade ascensional = 731 m/d; Expansão média do leito = 52 % (50 a 53); GT médio = 9405 (9275 a 9576). A Figura 5.29 mostra os valores médios de qualidade da água filtrada e duração das carreiras por série de ensaios realizados.

Observando a Figura 5.29, observa-se que nos ensaios da série C11 as carreiras tiveram duração média de 5 horas, com ou sem pré-floculação. Nos ensaios da série Ec25 a duração média foi da ordem de 13,4 horas, com ou sem pré-floculação, um aumento médio de 168% em relação aos ensaios da série C11. Esse aumento foi devido a mudança da granulometria, cujo tamanho efetivo aumentou de 1,1mm para 2,5mm, e na altura do meio filtrante, que passou de 0,9m para 1,43m.

Nas duas séries de ensaios em questão, o coagulante foi o sulfato de alumínio. Na série C11 a dosagem variou de 16 a 18 mg/L, enquanto na série Ec25 a dosagem variou de 22 a 29 mg/L. A qualidade da água filtrada na série Ec25 foi ligeiramente superior em termos de cor aparente e turbidez, provavelmente devido a dosagem mais elevada de coagulante. Se na série C11 fosse utilizado as mesmas dosagens, a diferença na duração das carreiras provavelmente teria sido superior a 168%.

Comparando os ensaios da série Epca25, utilizando hidróxicloreto de alumínio (PAC), com os ensaios da série Ec25, utilizando sulfato de alumínio (SA), observa-se que não houve diferença significativa na duração das carreiras sem pré-floculação, pois a dosagem de PAC variou de 20 a 22 mg/L, portanto inferior a dosagem de SA. Comparando apenas os ensaios da série Epca25, a pré-floculação aumentou a duração das carreiras em 68%. Considerando todas as séries de ensaios, a mudança na granulometria aumentou mais a duração das carreiras do que a pré-floculação. O aumento acumulado devido a mudança de granulometria, mudança de coagulante e pré-floculação, foi da ordem de 334%.

Tabela 5-15 - Resultados de ensaios de filtração direta com e sem pré-floculação

Ensaio	Água bruta			Coagulação		Água filtrada (sem pré-floculação)		Água filtrada (com pré-floculação)		Duração da carreira (h)
	pH	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	pH	Coagulante: dose: mg/L (tipo)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	
C11cpf1	6,6 6,4-6,8	6,8 6,13-7,61	90,9 85-97	5,6 5,5-5,7	16 (SA)	-	-	0,6 1,33-0,38	7,4 14-5	4,7
C11spf1	6,8 6,6-6,8	7,2 6,46-8,52	94 90-97	5,7 5,6-5,8	16 (SA)	0,6 1,23-0,37	6,7 14-4	-	-	4,3
C11cpf2	6,8 6,7-6,9	7,3 6,14-8,20	91,9 88-96	5,7 5,5-5,8	16 (SA)	-	-	0,6 1,25-0,43	8,8 17-5	5,8
C11spf2	6,7 6,4-6,9	5,6 4,83-6,54	81,3 72-90	5,8 5,7-5,8	16 (SA)	0,7 1,52-0,46	8,9 17-6	-	-	6
C11cpf3	6,7 6,5-6,9	6,3 5,19-7,26	86 81-88	5,8 5,6-6,0	17,8 (SA) 16-18	-	-	0,6 1,13-0,39	7,5 16-4	5,5
C11spf3	6,6 6,45-6,8	5,9 5,17-6,61	79,1 76-81	5,6 5,5-5,8	18 (SA)	0,6 1,22-0,42	7,3 17-5	-	-	4,3
C11cpf4	6,6 6,4-6,7	6,8 5,67-8,16	85,1 82-91	5,8 5,7-5,9	18 (SA)	-	-	0,6 1,34-0,41	7 14-5	4,7
C11spf4	6,8 6,8-6,9	5,6 5,35-5,8	80,5 79-82	5,7 5,65-5,8	18 (SA)	0,6 1,12-0,38	8 16-4	-	-	5
Ec25cpf1	7 6,96-7,36	3,8 3,15-4,35	59,2 54-62	5,7 5,4-5,82	24 (SA)	-	-	0,5 1,21-0,35	7 14-5	11,8
Ec25spf1	7 6,5-7,4	3,6 3,17-4,14	58,1 52-63	5,7 5,4-5,9	23,9 (SA) 22-24	0,6 1,74-0,38	7,1 24-5	-	-	12,5
Ec25cpf2	7 6,87-8,38	4 3,47-4,56	55,5 53-58	5,9 5,75-6,34	29 (SA) 27-29	-	-	0,5 1,53-0,29	5,5 23-3	15,5
Ec25spf2	7 6,84-7,47	3,9 3,28-4,97	53,9 48-59	5,8 5,75-5,92	27,3 (SA) 24-28	0,5 1,21-0,35	6,1 14-4	-	-	14
Ec25cpf3	7 6,87-7,08	4 3,47-4,54	62,3 59-65	5,8 5,71-5,91	28,8 (SA) 28-29	-	-	0,5 1,53-0,33	5,9 25-3	13
Ec25spf3	7 6,9-7,08	4 3,83-4,09	56,8 52-59	5,8 5,76-5,84	28 (SA)	0,5 1,51-0,38	6,3 17-5	-	-	13,5
EPCA25cpf1	7,5 6,35-8,94	3,5 3,13-4,55	53,9 50-58	6 5,79-6,29	22 (PAC)	-	-	0,6 0,91-0,34	7,5 13-5	21,9 *17
EPCA25spf1	6,9 6,57-8,48	3,6 3,24-4,03	57,3 53-64	6,1 5,95-6,24	22 (PAC)	0,4 0,72-0,28	5,6 11-2	-	-	13,3
EPCA25cpf2	7,1 6,37-8,61	4 3,51-4,86	60,7 57-66	5,9 5,79-6,22	22 (PAC)	-	-	0,4 0,97-0,25	5,8 14-3	20,7
EPCA25spf2	6,8 5,98-7,84	4,2 3,47-4,75	65,4 60-71	6 5,7-6,3	21,9 (PAC) 20-22	0,5 0,57-0,39	7,4 10-5	-	-	12,4
EPCA25cpf3	7,1 6,53-8,9	3,5 3,01-3,98	49 44-61	6 5,76-6,15	22 (PAC)	-	-	0,4 0,69-0,3	4,9 9-2	22,4
EPCA25spf3	6,6 6,08-6,86	3,8 3,1-4,73	50,5 43-56	6 5,91-6,08	21,1 (PAC) 20-22	0,5 0,53-0,39	5,1 6-3	-	-	13

OBS: Os valores separados por hífen (Ex: 43-56) representam a faixa de variação do parâmetro.

* Carreira encerrada com duração de 17:00 h e 1,31m de perda de carga, devido fortes variações no pH da água bruta, dificultando o controle do pH de coagulação e conseqüentemente da qualidade da água filtrada. 21,9 h representa a duração estimada da carreira para atingir 1,76m de perda de carga.

Os efeitos da pré-floculação nessa particular situação foram devidos a mudança do coagulante. De acordo com DI BERNARDO et al (2003), alguns estudos ressaltam o melhor desempenho do PAC em relação ao SA na floculação, por apresentar maior estabilidade das espécies hidrolisadas, aspecto que favorece a agregação das partículas em menor tempo, e possibilita aplicar menores dosagens do coagulante para obter a mesma qualidade de água, quando comparado ao sulfato de alumínio, como observado

no presente estudo. Estudos evidenciam o aumento da concentração de espécies poliméricas com a adição de [OH] no preparo do PAC. Os autores apresentam resultados de jarreste em que houve redução significativa na turbidez da água filtrada utilizando PAC, quando a basicidade do produto comercial passou de 8% para 18%. No presente estudo foi utilizado PAC com basicidade de 67,47%.

A Figura 5.30 ilustra a participação do meio filtrante na retenção de impurezas para três ensaios. Na figura citada o gráfico (a) representa um ensaio da série C11 sem pré-floculação. Nesse caso a retenção de impurezas ocorreu praticamente nos primeiros 30 cm, atingindo seu limite próximo de 50 cm. Esse comportamento ocorreu nos demais ensaios dessa série, com ou sem pré-floculação, resultando carreiras de curta duração.

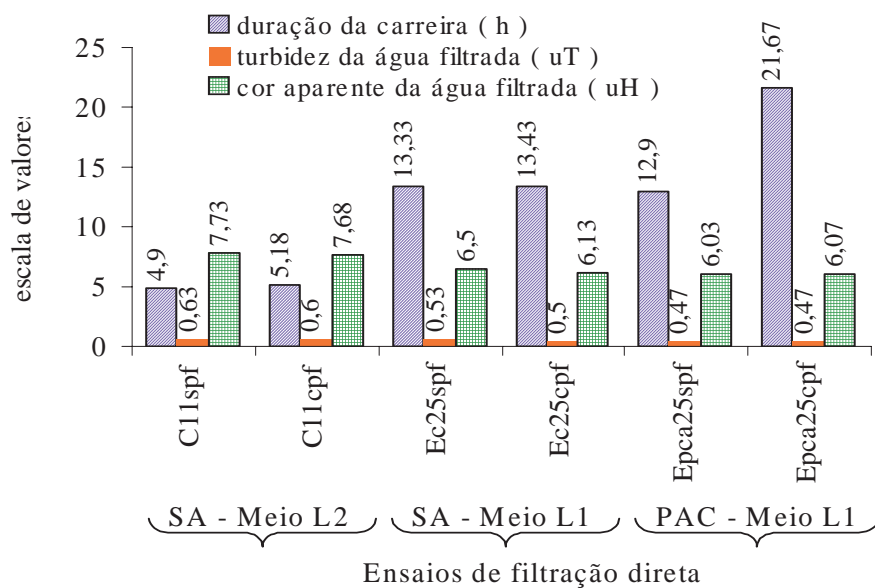


Figura 5-29 - Valores médios de qualidade da água filtrada e duração das carreiras

Os gráficos (b) e (c) ressaltam a diferença da participação do meio filtrante em função da pré-floculação, do antracito com granulometria maior e do uso do PAC como coagulante. No caso (b) a participação do leito atingiu cerca de 1m, e no caso (c), com pré-floculação, atingiu cerca de 1,4m, consequência da resistência dos flocos às forças de cisalhamento, que possibilitou a sua penetração até as camadas mais profundas do meio filtrante. Durante os ensaios com pré-floculação observou-se intensa produção de flocos com tamanho estimado de 0,3 a 0,5mm.

A Figura 5.31 mostra a variação da perda de carga total no meio filtrante e na qualidade da água filtrada para dois ensaios da série Epc25. Percebe-se através do gráfico b (ensaio com pré-floculação) uma ligeira melhora na qualidade da água filtrada em termos de cor aparente e turbidez, em relação ao gráfico a (ensaio sem pré-floculação).

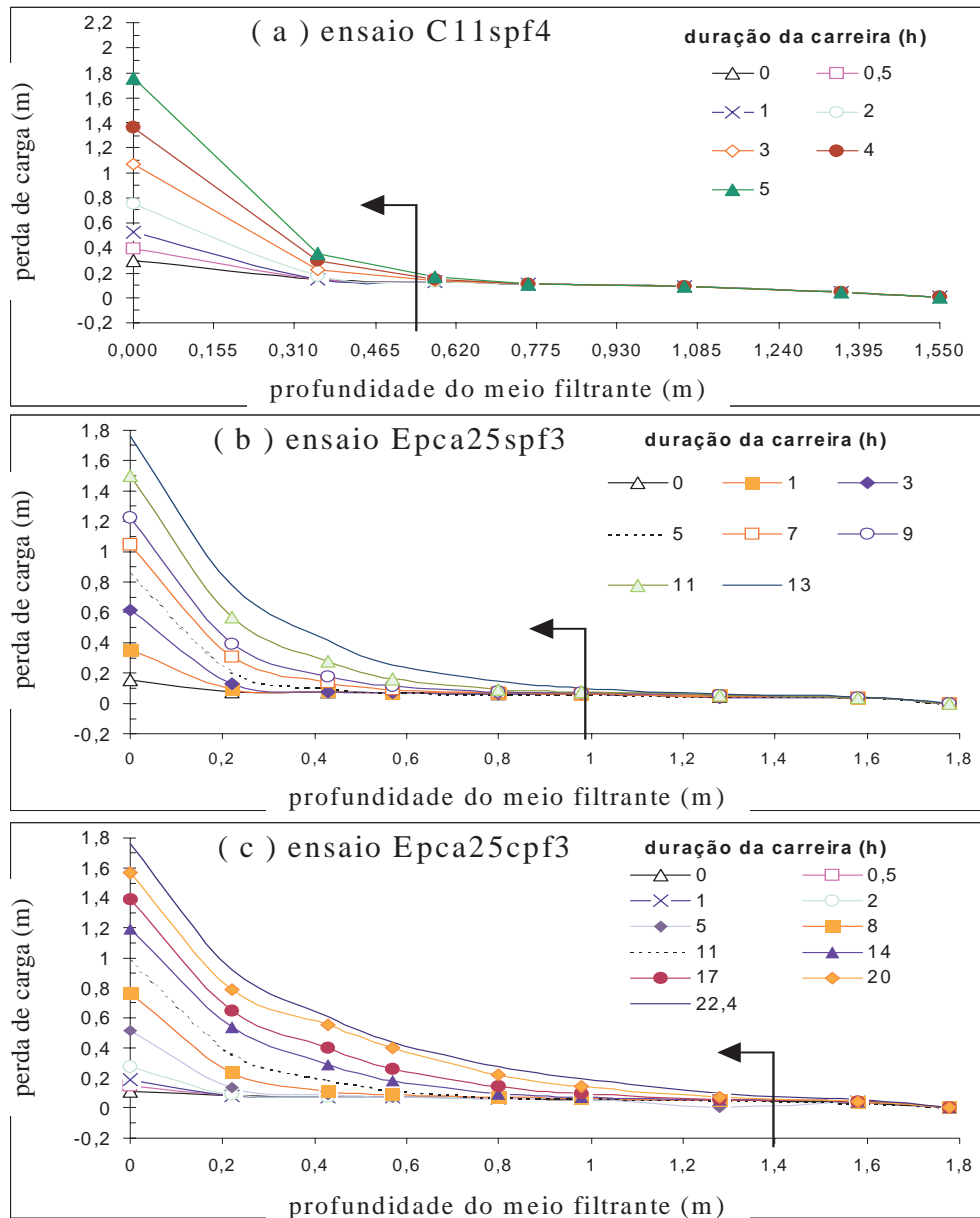


Figura 5-30 - Comparativo da variação da perda de carga no meio filtrante nos ensaios de filtração direta, em função do tipo de leito e do coagulante

Embora o efeito maior da pré-floculação tenha sido o prolongamento das carreiras de filtração pela redução da perda de carga, observou-se uma ligeira melhora

na qualidade da água filtrada. Nos ensaios com sulfato de alumínio, percebeu-se maior estabilidade na qualidade da água filtrada frente às variações ocorridas no pH de coagulação, havendo pré-floculação. Esse aspecto refletiu-se no controle do alumínio residual conforme a Tabela 5.16. Nos ensaios com a pré-floculação as concentrações de alumínio residual foram menores tendo o sulfato de alumínio como coagulante.

Para os ensaios com hidróxicloreto de alumínio, a concentração de alumínio residual na água filtrada esteve abaixo do limite de detecção, independentemente da pré-floculação ou não. O consumo de água para lavagem dos filtros teve o seguinte comportamento médio: ensaios da série C11 = 23,8%; ensaios da série Ec25 = 8,96%; ensaios da série Epca25 = 9,3% - sem pré-floculação e 5,5% - com pré-floculação. Portanto, a produção efetiva dos filtros, relação entre o volume produzido e o consumido na lavagem, variou de 76,2% a 94,5%.

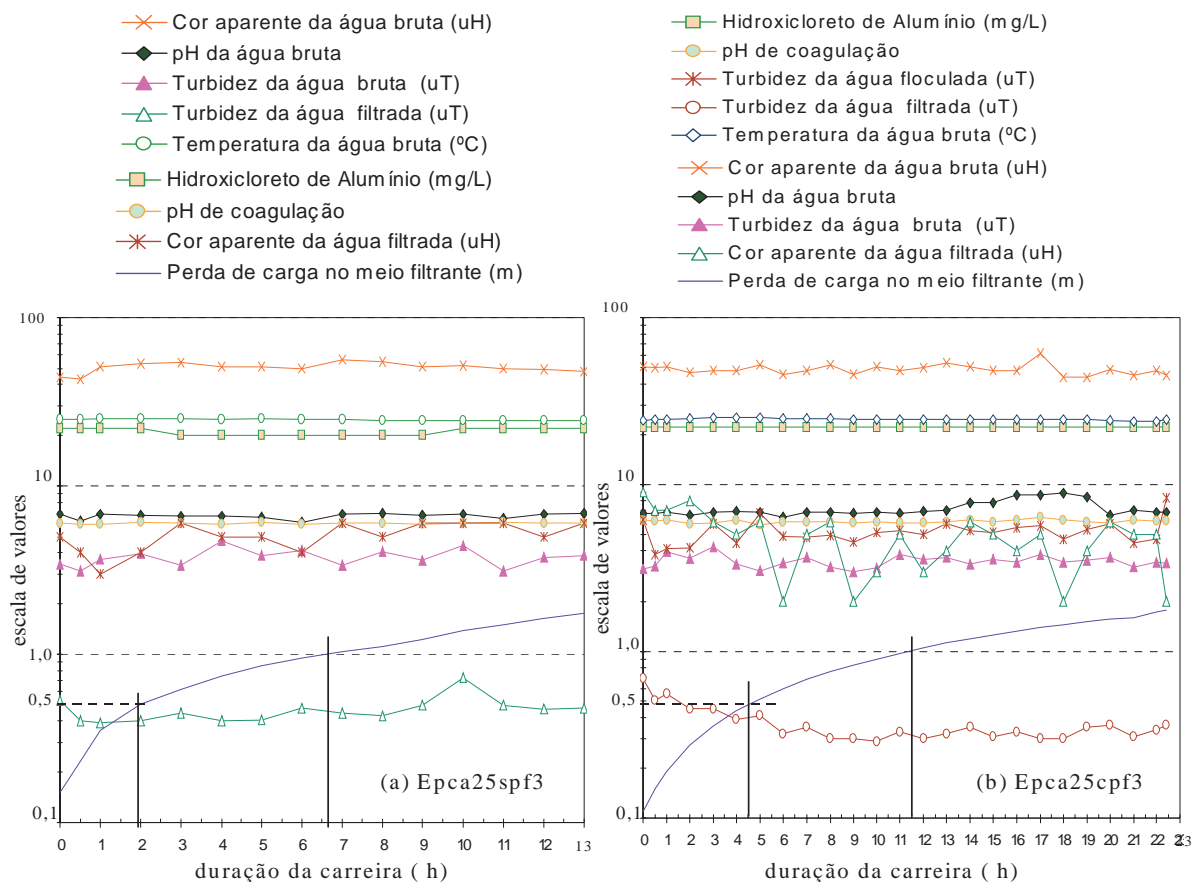


Figura 5-31 - Variações na perda de carga e na qualidade da água filtrada entre ensaios de filtração direta descendente com e sem pré-floculação

Tabela 5-16 - Alumínio residual nos ensaios de filtração direta com e sem pré-floculação

Ensaio	Alumínio Residual mg/L Al³⁺	Ensaio	Alumínio Residual mg/L Al³⁺
C11cpf1	0,17	Ec25cpf2	0,10
C11spf1	0,23	Ec25spf2	0,19
C11cpf2	0,15	Ec25cpf3	0,09
C11spf2	0,25	Ec25spf3	0,12
C11cpf3	0,15	EPCA25spf1	< 0,01
C11spf3	0,19	EPCA25cpf1	< 0,01
C11cpf4	0,09	EPCA25spf2	< 0,01
C11spf4	0,24	EPCA25cpf2	< 0,01
Ec25cpf1	0,15	EPCA25spf3	< 0,01
Ec25spf1	0,32	EPCA25cpf3	< 0,01

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos trabalhos realizados conclui-se:

- a) As águas da lagoa do Peri apresentaram características que indicam a necessidade de alterações nas características do meio filtrante utilizado pela ETA, e/ou a aplicação de um pré-tratamento, além da otimização das condições de coagulação para o emprego da filtração direta descendente, para obtenção de carreiras de filtração com duração aceitável e qualidade da água satisfatória;
- b) As propriedades físicas dos materiais granulares como: massa específica, dimensões e forma geométrica, são determinantes para obtenção de gradientes de velocidades adequados na floculação em meio granular expandido;
- c) O dimensionamento de floculadores de meio granular expandido exige que, no mínimo, sejam feitos ensaios de bancada para determinar as condições de coagulação e floculação. Neste sentido o uso de FLA acoplado ao aparelho de jarteste, mostrou-se uma ferramenta útil para avaliar através da perda de carga, os benefícios da floculação precedendo a filtração rápida descendente;
- d) O floculador de meio granular expandido apresentou menores custos de implantação, operação e manutenção que os floculadores mecânico e de chicanas, ambos dimensionados para uma vazão de 30 L/s;
- e) A pré-floculação mostrou benefícios significativos em termos de aumento na duração das carreiras de filtração, entretanto o sucesso de sua aplicação depende do coagulante utilizado e das características do meio filtrante. No presente estudo o hidróxicloreto de alumínio forneceu os melhores resultados, enquanto que com sulfato de alumínio não houve benefícios em termos de aumento na duração das carreiras de filtração;
- f) A qualidade da água filtrada em termos de cor aparente e turbidez foi levemente beneficiada pela pré-floculação, principalmente com a utilização do

hidroxicloreto de alumínio. Os níveis de alumínio residual foram significativamente menores com a pré-floculação utilizando sulfato de alumínio, e não detectáveis pelo método analítico empregado, utilizando-se hidroxicloreto de alumínio com ou sem pré-floculação;

- g) A floculação em meio granular expandido com os materiais utilizados permitiu produzir flocos em grande quantidade, com tamanho médio da ordem de 0,3 a 0,75mm. Os melhores resultados foram obtidos com o material m6, para o tempo médio de floculação de 2,9 min e gradiente de velocidade médio de 53 s^{-1} ;
- h) As condições de floculação adotadas precedendo a filtração direta descendente, mostraram ser adequadas em função dos resultados obtidos na duração das carreiras de filtração. Os flocos produzidos podem ser considerados resistentes em função do comportamento da qualidade da água filtrada produzida, comparada a variação da perda de carga no meio filtrante.

Com base nos trabalhos realizados recomenda-se:

- a) Aprimorar a avaliação da pré-floculação em ensaios de bancada, utilizando FLAs com carga hidráulica variável e tempos mais longos de filtragem, também variáveis, para aplicação na filtração direta descendente;
- b) Estudar em ensaios de bancada e em sistema piloto, a floculação em meio granular expandido com o uso de polímeros, seja a etapa posterior a decantação ou a filtração direta;
- c) Pesquisar outros materiais granulares fabricados com material reciclado, que possam ser utilizados em floculadores.

APÊNDICE I

Tabela M1.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m1

Material utilizado no flocculador: m1													Altura inicial do leito (cm): 100						
Perda de carga no flocculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = 1mm , e menor que 1mm p/ Va < 523 m/d.																			
Va m/d	Expansão do leito (%)						desvio padrão	Perda de carga (mm)					desvio padrão	Temperatura da água (°C)					desvio padrão
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média	medida 1		medida 2	medida 3	medida 4	média	medida 1		medida 2	medida 3	medida 4	média		
100																			
150																			
200																			
277	0	0	0	0	0	0	13	13	13	13	13	0	18	18	18	18	18	0	
323	0	0	0	0	0	0	17	17	17	17	17	0	18	18,1	18	18	18	0,05	
416	0	0	0	0	0	0	23	22	24	23	23	0,82	18,1	18	18,1	18	18,1	0,06	
523	0	0	0	0	0	0	32	33	31	32	32	0,82	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	0	
598	0	0	0	0	0	0	39	38	37	38	38	0,82	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0	
698	0,1	0	0	0	0	0,05	45	43	44	44	44	0,82	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	0,05	
760	1,4	1,7	1,8	1,8	1,7	0,19	47	46	48	47	47	0,82	18,5	18,5	18,4	18,5	18,5	0,05	
936	10,3	10,2	10,2	10,2	10,2	0,05	43	43	42	43	43	0,5	18,5	18,4	18,4	18,3	18,4	0,08	
1022	14	14,5	15	14,5	14,5	0,41	43	43	43	43	43	0	18	18,2	18,2	18,2	18,2	0,1	
1111	17,8	18,1	18	18	18	0,13	42	42	42	42	42	0	18,2	18,3	18,2	18	18,2	0,13	
1383	29,6	29,5	29,4	29,5	29,5	0,08	42	43	44	43	43	0,82	18	18	18	18	18	0	

Temperatura média no ensaio (° C) » » **18,2**

Tabela M2.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m2

Material utilizado no flocculador: m2										Altura inicial do leito (cm): 100											
Perda de carga no flocculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = 1mm , e menor que 1mm p/ Va < 523 m/d.																					
Va m/d	Expansão do leito (%)						desvio padrão	Perda de carga (mm)						desvio padrão	Temperatura da água (°C)						desvio padrão
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média	medida 1		medida 2	medida 3	medida 4	média	medida 1	medida 2		medida 3	medida 4	média				
100	0,7	0,8	0,7	0,68	0,7	0,05	5	5	5	5	5	0	18,1	18	18	18	18	0,05			
150	1,5	1,3	1,5	1,5	1,5	0,1	8	7	6	7	7	0,82	18	18	18	18,1	18	0,05			
200	2,8	2,6	2,7	2,8	2,7	0,1	8	9	10	9	9	0,82	18	18	18,1	18	18	0,05			
277	5	4,5	5	5,5	5	0,41	14	12	13	13	13	0,82	18	18	18	18	18	0			
323	7	7,1	7	7	7	0,05	15	16	14	15	15	0,82	18	18,1	18	18	18	0,05			
416	11,6	11,5	11,6	11,6	11,6	0,05	14	15	13	14	14	0,82	18,1	18	18,1	18	18,1	0,06			
523	18	18	17,8	18	18	0,1	13	13	13	13	13	0	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	0			
598	26	26	26	26	26	0	13	13	13	13	13	0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0			
698	34,9	34,9	35	35	35	0,06	13	13	13	13	13	0	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	0,05			
760	40	40,1	40,5	40,3	40,2	0,22	13	13	13	13	13	0	18,5	18,5	18,4	18,5	18,5	0,05			
936	62,4	62,3	62,6	62,6	62,5	0,15	13	13	13	13	13	0	18,5	18,4	18,4	18,3	18,4	0,08			
1022	74	73,9	74,1	74	74	0,08	13	13	13	13	13	0	18	18,2	18,2	18,2	18,2	0,1			
1111	87	88,2	87,8	87	87,5	0,6	13	13	13	13	13	0	18,2	18,3	18,2	18	18,2	0,13			
1383	127	126,8	127	127	127	0,1	13	13	13	13	13	0	18	18	18	18	18	0			

Temperatura média no ensaio (° C) » » **18,2**

Tabela M3.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m3

Material utilizado no flocculador: m3										Altura inicial do leito (cm): 100											
Perda de carga no flocculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = 1mm , e menor que 1mm p/ Va < 523 m/d.																					
Va m/d	Expansão do leito (%)						desvio padrão	Perda de carga (mm)						desvio padrão	Temperatura da água (°C)						desvio padrão
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média	medida 1		medida 2	medida 3	medida 4	média	medida 1	medida 2		medida 3	medida 4	média				
100	0	0	0	0	0	0	3	2	4	3	3	0,82	18,1	18	18	18	18	0,05			
150	0	0	0	0	0	0	7	6	5	6	6	0,82	18	18	18	18,1	18	0,05			
200	0	0	0	0	0	0	9	9	9	9	9	0	18	18	18,1	18	18	0,05			
277	0	0	0	0	0	0	14	14	14	14	14	0	18	18	18	18	18	0			
323	0	0	0	0	0	0	17	16	18	17	17	0,82	18	18,1	18	18	18	0,05			
416	0	0	0	0	0	0	23	22	21	22	22	0,82	18,1	18	18,1	18	18,1	0,06			
523	2,5	2,6	2,4	2,4	2,5	0,1	30	30	30	30	30	0	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	0			
598	10,6	10	10,5	11	10,5	0,41	29	29	29	29	29	0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0			
698	14	14	14	14,1	14	0,05	28	26	27	27	27	0,82	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	0,05			
760	14,4	14,6	14,4	14,5	14,5	0,1	27	27	27	27	27	0	18,5	18,5	18,4	18,5	18,5	0,05			
936	25,3	25,6	25,4	25,5	25,5	0,13	28	29	27	28	28	0,82	18,5	18,4	18,4	18,3	18,4	0,08			
1022	30,5	30,6	30,4	30,5	30,5	0,08	27	27	27	27	27	0	18	18,2	18,2	18,2	18,2	0,1			
1111	37	37,2	36,9	37	37	0,13	28	28	28	28	28	0	18,2	18,3	18,2	18	18,2	0,13			
1383	53,5	53,5	53,6	53,5	53,5	0,05	28	28	28	28	28	0	18	18	18	18	18	0			
Temperatura média no ensaio (° C) »»																	18,2				

Tabela M4.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m4

Material utilizado no flocculador: m4										Altura inicial do leito (cm): 100									
Perda de carga no flocculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = 1mm , e menor que 1mm p/ Va < 523 m/d.																			
Va m/d	Expansão do leito (%)					desvio padrão	Perda de carga (mm)					desvio padrão	Temperatura da água (°C)					desvio padrão	
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		
523	0	0	0	0	0	0	24	25	25	26	25	0,82	18,3	18,5	18,5	18,5	18,5	0,1	
598	0	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0	
698	0	0	0	0	0	0	35	34	36	35	35	0,82	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	0,05	
760	0	0	0	0	0	0	40	39	40	41	40	0,82	18,5	18,5	18,4	18,5	18,5	0,05	
936	0	0	0	0	0	0	53	53	53	53	53	0	18,5	18,4	18,4	18,3	18,4	0,08	
1022	0	0	0	0	0	0	58	60	61	61	60	1,41	18,5	18,2	18,5	18,2	18,4	0,17	
1111	0	0	0	0	0	0	69	67	68	68	68	0,82	18,2	18,3	18,2	18,3	18,3	0,06	
1383	0	0	0	0	0	0	93	93	93	93	93	0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0	
Temperatura média no ensaio (°C) »»																	18,5		

Tabela M5.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m5

Material utilizado no flocculador: m5							Altura inicial do leito (cm): 100											
Perda de carga no flocculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = 1mm , e menor que 1mm p/ Va < 523 m/d.																		
Va m/d	Expansão do leito (%)					desvio padrão	Perda de carga (mm)					desvio padrão	Temperatura da água (°C)					desvio padrão
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média	
100	0,6	0,6	0,61	0,59	0,6	0,01	13	13	12	14	13	0,82	17,6	17,5	17,6	17,6	17,6	0,05
150	1,41	1,4	1,42	1,39	1,4	0,01	19	20	21	20	20	0,82	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	0
200	2,38	2,4	2,35	2,42	2,4	0,03	27	27	28	26	27	0,82	17,6	17,6	17,7	17,7	17,7	0,06
277	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5	0,05	33	34	35	34	34	0,82	17,6	17,7	17,7	17,6	17,7	0,06
323	6	6,1	5,9	6,1	6	0,1	46	45	46	47	46	0,82	17,7	17,7	17,7	17,8	17,7	0,05
416	9,75	9,81	9,85	9,79	9,8	0,04	49	49	49	49	49	0	18	18	17,9	17,9	18	0,06
523	15	15,3	14,5	15,1	15	0,34	45	46	47	46	46	0,82	18,1	18	18,1	18,1	18,1	0,05
598	19,3	19,8	19,3	19,6	19,5	0,24	47	47	47	47	47	0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0
698	26,2	26,3	26,5	26,1	26,3	0,17	47	47	47	47	47	0	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	0,05
760	31	31	31,2	30,9	31	0,13	48	47	46	47	47	0,82	18,4	18,5	18,4	18,4	18,4	0,05
936	45	45	45	45	45	0	48	48	48	48	48	0	18,4	18,4	18,3	18,3	18,4	0,06
1022	52	52,1	52	52	52	0,05	47	48	46	47	47	0,82	18,3	18,2	18,2	18,2	18,2	0,05
1111	61,5	61,4	61,6	61,5	61,5	0,08	48	48	48	48	48	0	18,2	18,3	18,2	18	18,2	0,13
1383	97	96,5	97,3	97,2	97	0,36	46	46	46	46	46	0	18	18	18	18	18	0
Temperatura média no ensaio (° C) »»																	18	

Tabela M6.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m6

Material utilizado no flocculador: m6							Altura inicial do leito (cm): 100											
Perda de carga no flocculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = 1mm , e menor que 1mm p/ Va < 523 m/d.																		
Va m/d	Expansão do leito (%)					desvio padrão	Perda de carga (mm)					desvio padrão	Temperatura da água (°C)					desvio padrão
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média	
100	4,5	4,6	4,3	4,5	4,5	0,13	14	16	15	15	15	0,82	17,6	17,5	17,6	17,6	17,6	0,05
150	8	7,5	8	8,5	8	0,41	17	17	17	17	17	0	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	0
200	11,6	11,5	11,6	11,6	11,6	0,05	22	21	22	23	22	0,82	17,6	17,6	17,7	17,7	17,7	0,06
277	18	18	18	18	18	0	36	36	36	36	36	0	17,6	17,7	17,7	17,6	17,7	0,06
323	22	22,5	22,2	22,1	22,2	0,22	35	34	36	35	35	0,82	17,7	17,7	17,7	17,8	17,7	0,05
416	31,5	31,5	31,4	31,5	31,5	0,05	34	34	34	34	34	0	18	18	17,9	17,9	18	0,06
523	44	44	44	44	44	0	33	33	32	34	33	0,82	18,1	18	18,1	18,1	18,1	0,05
598	50	49,8	50	50	50	0,1	34	34	34	34	34	0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0
698	62,5	62,4	62,5	62,5	62,5	0,05	34	34	34	34	34	0	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	0,05
760	70,5	70,5	70,5	70,4	70,5	0,05	34	34	34	34	34	0	18,4	18,5	18,4	18,4	18,4	0,05
936	92,5	92,3	92,5	92,6	92,5	0,13	35	34	36	35	35	0,82	18,4	18,4	18,3	18,3	18,4	0,06
1022	104	104	104	104	104	0	34	34	34	34	34	0	18,3	18,2	18,2	18,2	18,2	0,05
1111	120	120	120	120	120	0	34	34	34	34	34	0	18,2	18,3	18,2	18	18,2	0,13
1383	161	159	160	160	160	0,82	35	35	35	35	35	0	18	18	18	18	18	0
Temperatura média no ensaio (°C) »»																	18	

Tabela M7.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m7

Material utilizado no flocculador: m7										Altura inicial do leito (cm): 100									
Perda de carga no flocculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = 1mm , e menor que 1mm p/ Va < 523 m/d.																			
Va m/d	Expansão do leito (%)					desvio padrão	Perda de carga (mm)					desvio padrão	Temperatura da água (°C)					desvio padrão	
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		
100	4,8	4,5	5	4,7	4,8	0,21	18	20	19	19	19	0,82	17,6	17,5	17,6	17,6	17,6	0,05	
150	8,7	8,5	8,7	8,7	8,7	0,1	27	26	27	28	27	0,82	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	0	
200	13,2	13,2	13,1	13,3	13,2	0,08	25	25	24	26	25	0,82	17,6	17,6	17,7	17,7	17,7	0,06	
277	21	21	20	22	21	0,82	24	24	24	24	24	0	17,6	17,7	17,7	17,6	17,7	0,06	
323	26,3	26,4	26,3	26,3	26,3	0,05	23	24	25	24	24	0,82	17,7	17,7	17,7	17,8	17,7	0,05	
416	37,9	37,9	37,8	37,6	37,8	0,14	24	25	25	26	25	0,82	18	18	17,9	17,9	18	0,06	
523	53,5	53	53,8	53,5	53,5	0,33	23	23	23	23	23	0	18,1	18	18,1	18,1	18,1	0,05	
598	63	63	63	63	63	0	24	24	24	24	24	0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0	
698	77,3	77,4	77,6	77,5	77,5	0,13	24	24	24	24	24	0	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	0,05	
760	88,4	88,3	88,6	88,6	88,5	0,15	25	25	25	25	25	0	18,4	18,5	18,4	18,4	18,4	0,05	
936	124	124	123	125	124	0,82	25	24	23	24	24	0,82	18,4	18,4	18,3	18,3	18,4	0,06	
1022	135	135	135	135	135	0	25	25	24	26	25	0,82	18,3	18,2	18,2	18,2	18,2	0,05	
1111	156	156	156	156	156	0	25	25	25	25	25	0	18,2	18,3	18,2	18	18,2	0,13	
1383	214	214	214	214	214	0	23	23	23	23	23	0	18	18	18	18	18	0	
Temperatura média no ensaio (°C) »»																	18		

Tabela M8.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m8

Material utilizado no flocculador: m8										Altura inicial do leito (cm): 100									
Perda de carga no flocculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = 1mm , e menor que 1mm p/ Va < 523 m/d.																			
Va m/d	Expansão do leito (%)					desvio padrão	Perda de carga (mm)					desvio padrão	Temperatura da água (°C)					desvio padrão	
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	média		
523	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	17,2	17,5	17	17,2	17,2	0,21	
598	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	0	
698	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5	2	1	1,5	0,41	17,5	17,6	17,6	17,6	17,6	0,05	
760	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	18	18	18	18	18	0	
936	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	18	18	18	18	18	0	
1022	0	0	0	0	0	0	2,5	3	2	2,5	2,5	0,41	17,9	17,9	18	18	18	0,06	
1111	0	0	0	0	0	0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0	18	18	18	18	18	0	
1383	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	18	18	18	18	18	0	

Temperatura média no ensaio (°C) »» **17,8**

Tabela M9.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m9

Material utilizado no floculador: **m9** Altura inicial do leito (cm): **100**

Perda de carga no floculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = **1mm**, e menor que **1mm** p/ Va < 523 m/d.

Va m/d	Expansão do leito (%)						Perda de carga (mm)						Temperatura da água (°C)					
	medida	medida	medida	medida	média	desvio padrão	medida	medida	medida	medida	média	desvio padrão	medida	medida	medida	medida	média	desvio padrão
	1	2	3	4			1	2	3	4			1	2	3	4		
523	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	17,2	17,5	17	17,2	17,2	0,21
598	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	0
698	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	17,5	17,6	17,6	17,6	17,6	0,05
760	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	18	18	18	18	18	0
936	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	18	18	18	18	18	0
1022	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	17,9	17,9	18	18	18	0,06
1111	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	18	18	18	18	18	0
1383	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	18	18	18	18	18	0

Temperatura média no ensaio (°C) »» **17,8**

Tabela M10.1 - Avaliação da expansão e perda de carga para o material m10

Material utilizado no floculador: **m10** Altura inicial do leito (cm): **100**

Perda de carga no floculador, sem material, para Velocidades de aproximação (Va) entre 523 e 1383 m/d = **1mm**, e menor que **1mm** p/ Va < 523 m/d.

Va m/d	Expansão do leito (%)						Perda de carga (mm)						Temperatura da água (°C)					
	medida	medida	medida	medida	média	desvio padrão	medida	medida	medida	medida	média	desvio padrão	medida	medida	medida	medida	média	desvio padrão
	1	2	3	4			1	2	3	4			1	2	3	4		
523	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	17,2	17,5	17	17,2	17,2	0,21
598	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	0
698	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	17,5	17,6	17,6	17,6	17,6	0,05
760	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	18	18	18	18	18	0
936	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	18	18	18	18	18	0
1022	0	0	0	0	0	0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0	17,9	17,9	18	18	18	0,06
1111	0	0	0	0	0	0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0	18	18	18	18	18	0
1383	0	0	0	0	0	0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	0	18	18	18	18	18	0

Temperatura média no ensaio (°C) »» **17,8**

Tabela M1.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m1

Va m/d	Material: m1 Altura inicial do leito: 1m			Equações utilizadas (1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
	Perda de carga (mm)			
	medido	previsto (1)	previsto (2)	
100			4,24	
150			6,7	
200			9,39	
277	13		13,98	
323	17		16,98	
416	23		23,63	
523	32		32,27	
598	38		38,96	
698	44	44,35	44,35	
760	47	44,33		
936	43	44,33		
1022	43	44,33		
1111	42	44,33		
1383	43	44,33		

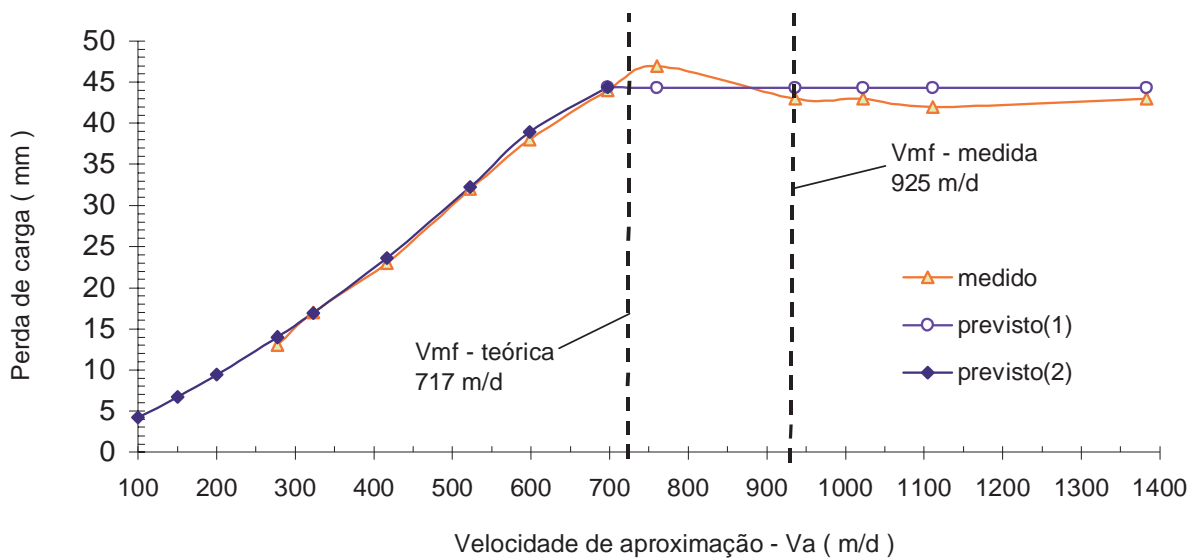


Figura M1.1- perda de carga para o material m1

Tabela M2.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m2

Va m/d	Material: m2 Altura inicial do leito: 1m			Equações utilizadas (1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
	Perda de carga (mm)			
	medido	previsto (1)	previsto (2)	
100	4		3.91	
150	7		5.88	
200	9		7.65	
277	13	13.3	9.85	
323	15	13.3		
416	14	13.3		
523	13	13.3		
598	13	13.3		
698	13	13.3		
760	13	13.3		
936	13	13.3		
1022	13	13.3		
1111	13	13.3		
1383	13	13.3		

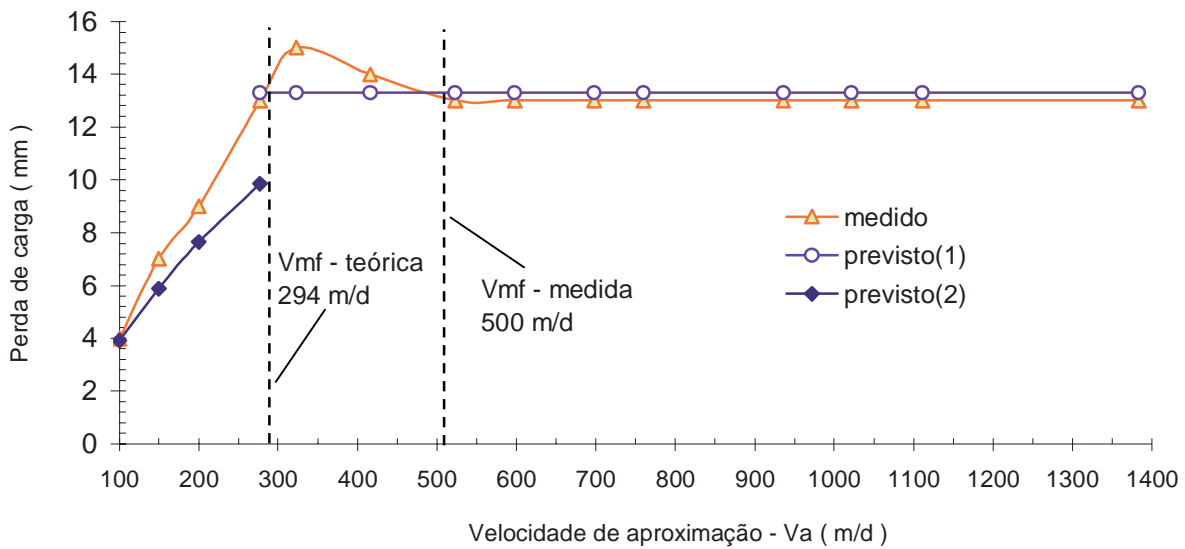


Figura M2.1 - perda de carga para o material m2

Tabela M3.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m3

Va m/d	Material: m3 Altura inicial do leito: 1m		
	Perda de carga (mm)		Equações utilizadas
	medido	previsto (1)	previsto (2)
			(1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN
			Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
100	3		4.14
150	6		6.55
200	9		9.19
277	14		13.69
323	17		16.64
416	22		23.18
523	30	27.6	27.08
598	29	27.6	
698	27	27.6	
760	27	27.6	
936	28	27.6	
1022	27	27.6	
1111	28	27.6	
1383	28	27.6	

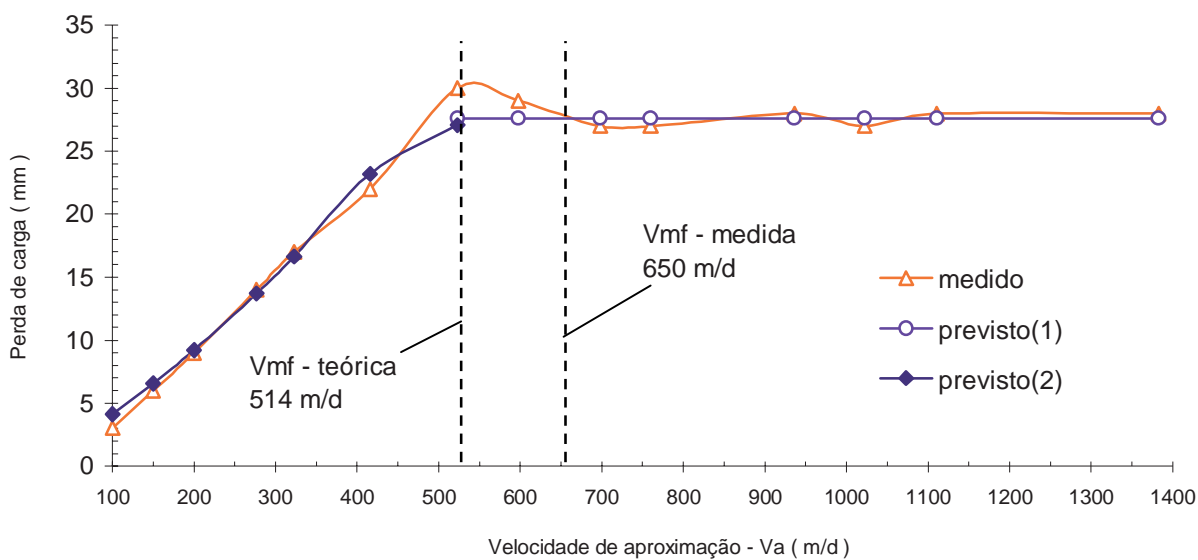


Figura M3.1 - perda de carga para o material m3

Tabela M4.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m4

Material: m4 Altura inicial do leito: 1m		Equações utilizadas	
Va m/d	Perda de carga (mm)		(1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
	medido	previsto (1)	
100		4	
150		6.6	
200		9	
277		14	
323		16.7	
416		23	
523	25	32	
598	30	38	
698	35	47	
760	40	54	
936	53	74	
1022	60	85	
1111	68	97	
1383	93	138	
2179	243		
2300	243		
2500	243		

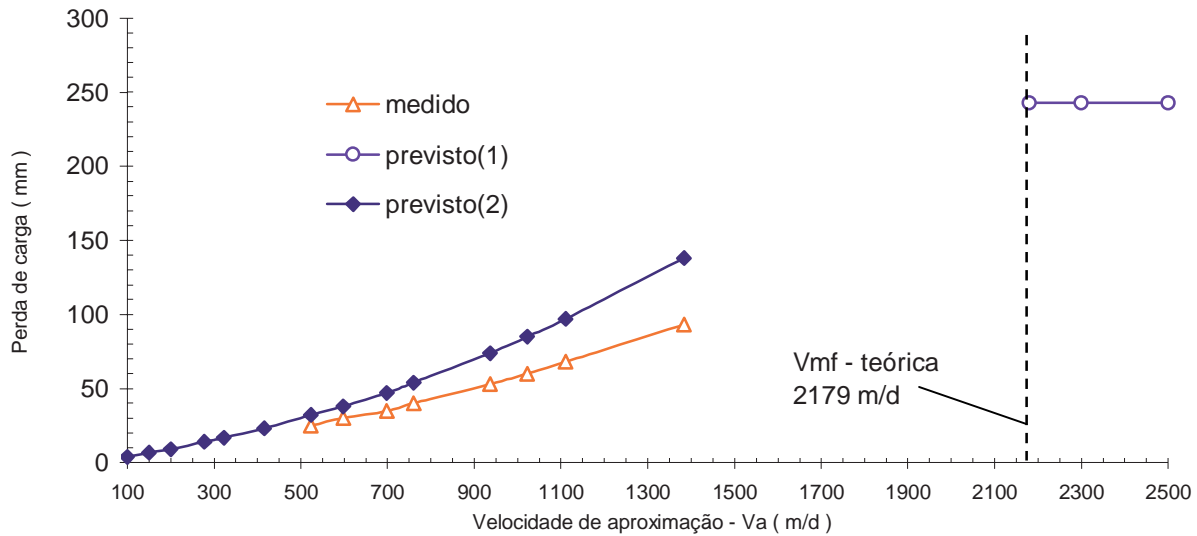


Figura M4.1 - perda de carga para o material m4

Tabela M5.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m5

Va m/d	Material: m5 Altura inicial do leito: 1m		
	Perda de carga (mm)		Equações utilizadas
	medido	previsto (1)	previsto (2)
			(1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN
			Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
100	13		13.96
150	20		20.53
200	27		26.47
277	34		33.96
323	46	47.3	37.37
416	49	47.3	
523	46	47.3	
598	47	47.3	
698	47	47.3	
760	47	47.3	
936	48	47.3	
1022	47	47.3	
1111	48	47.3	
1383	46	47.3	

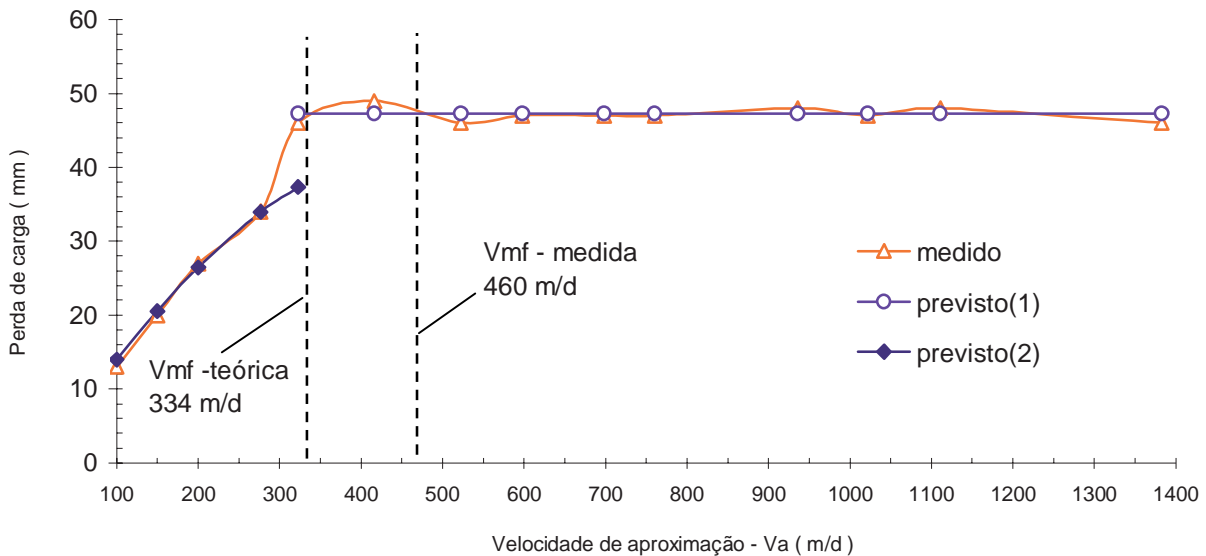


Figura M5.1 - perda de carga para o material m5

Tabela M6.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m6

Va m/d	Material: m6 Altura inicial do leito: 1m		
	Perda de carga (mm)		Equações utilizadas
	medido	previsto (1)	previsto (2)
			(1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN
			Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
100	15		14.17
150	17		17.91
200	22		20.04
277	36	34.45	21.24
323	35	34.45	
416	34	34.45	
523	33	34.45	
598	34	34.45	
698	34	34.45	
760	34	34.45	
936	35	34.45	
1022	34	34.45	
1111	34	34.45	
1383	35	34.45	

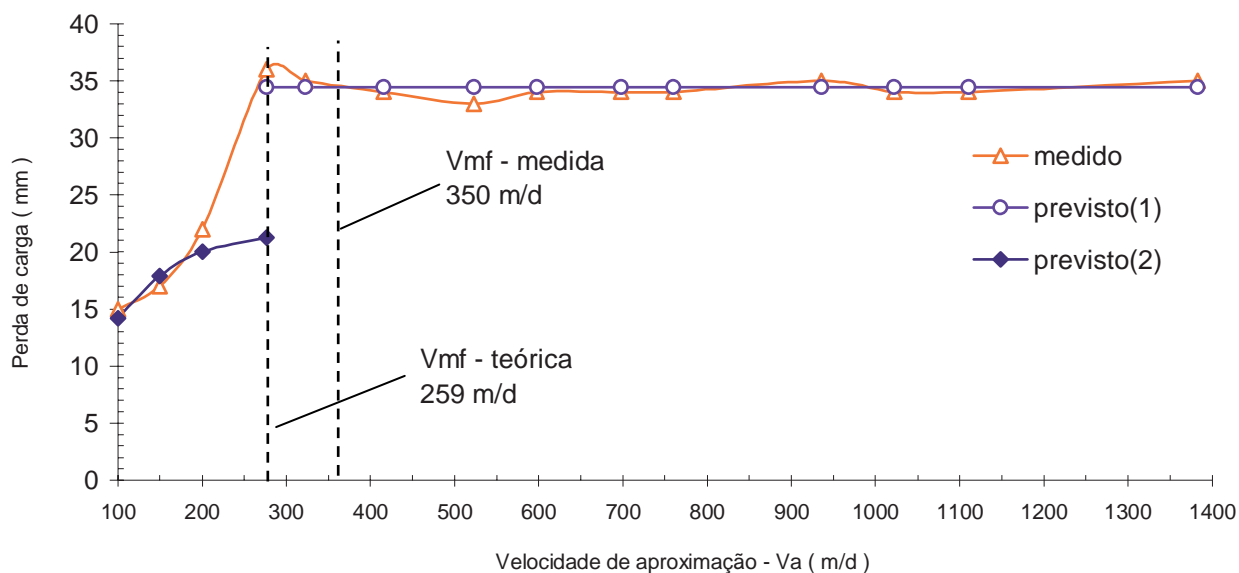


Figura M6.1 - perda de carga para o material m6

Tabela M7.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m7

Va m/d	Perda de carga (mm)			Equações utilizadas (1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
	medido	previsto (1)	previsto (2)	
100	19		18.1	
150	27	24.87	22.41	
200	25	24.87		
277	24	24.87		
323	24	24.87		
416	25	24.87		
523	23	24.87		
598	24	24.87		
698	24	24.87		
760	25	24.87		
936	24	24.87		
1022	25	24.87		
1111	25	24.87		
1383	23	24.87		

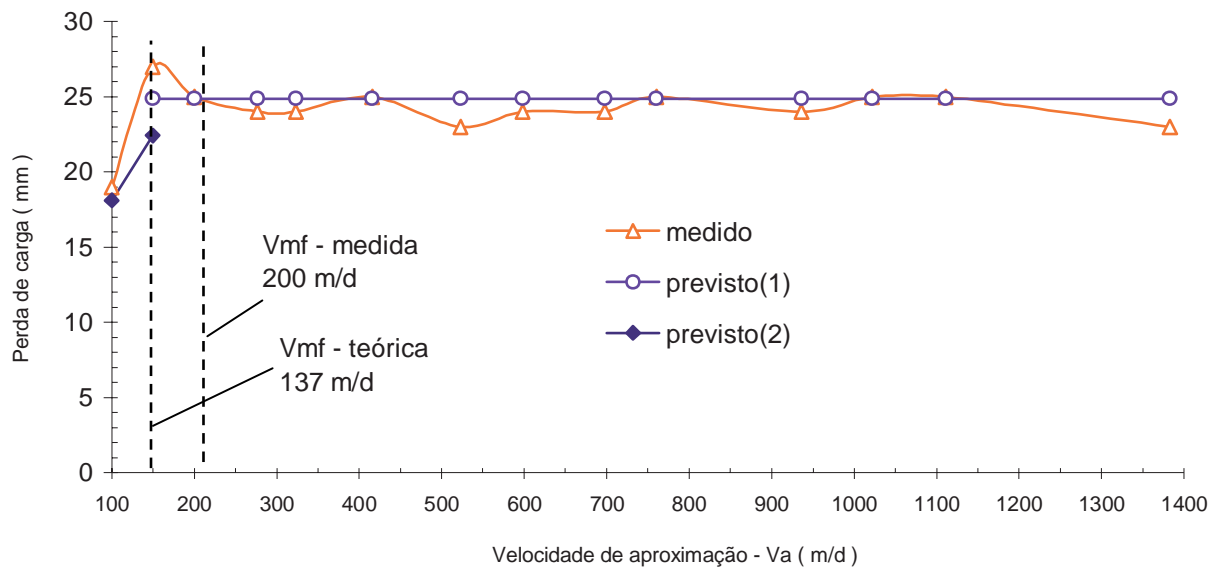


Figura M7.1 - perda de carga para o material m7

Tabela M8.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m8

Va m/d	Perda de carga (mm)		Equações utilizadas (1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
	medido	previsto (1)	
523	0.5		0.49
598	1		0.6
698	1.5		0.8
760	1.5		0.93
936	2		1.35
1022	2.5		1.6
1111	2.5		1.83
1383	4		2.74

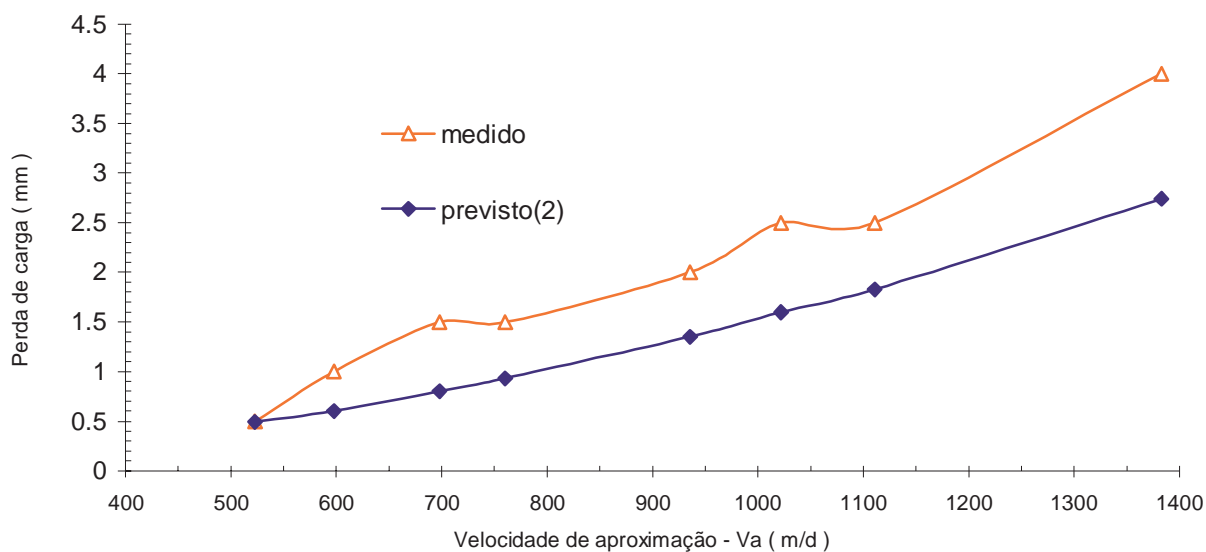


Figura M8.1 - perda de carga para o material m8

Tabela M9.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m9

Va m/d	Perda de carga (mm)		Equações utilizadas (1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
	medido	previsto (1)	
523	0.5		0.62
598	0.3		0.77
698	1		1
760	1		1.16
936	1.5		1.67
1022	2		1.95
1111	2		2.26
1383	3		3.35

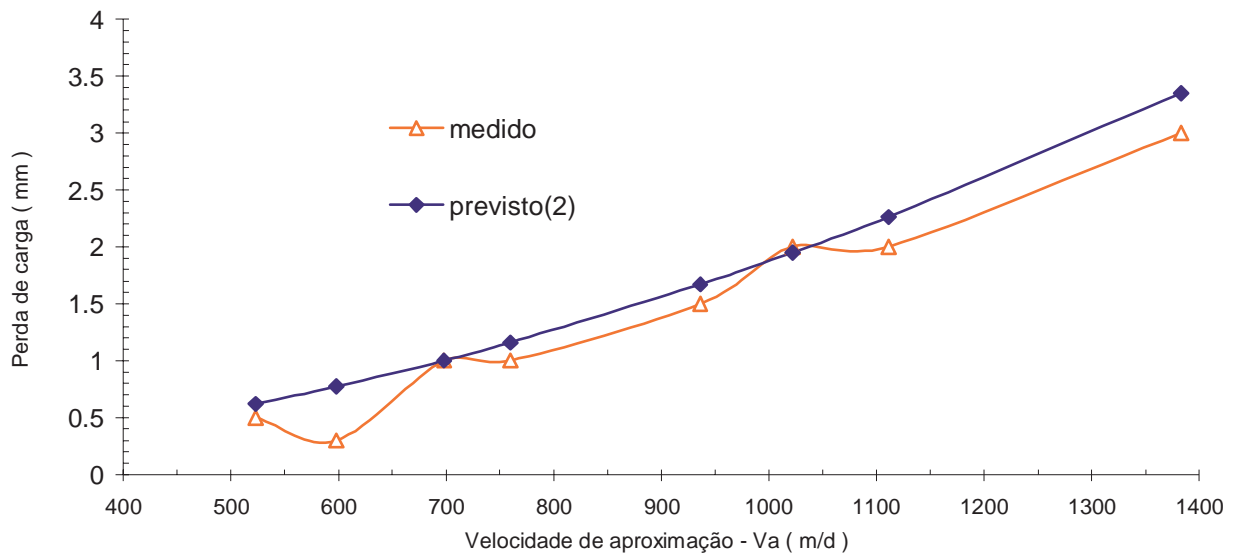


Figura M9.1 - perda de carga para o material m9

Tabela M10.2 - Perda de carga no floculador granular com o material m10

Va m/d	Perda de carga (mm)		Equações utilizadas (1) previsto pela equação 3.32 para leito completamente fluidificado; (2) previsto pela equação 3.19 de ERGUN Vmf (teórica) - calculada pela equação 3.34
	medido	previsto (1)	
523	1	0.33	
598	1	0.42	
698	2	0.56	
760	2	0.65	
936	2	0.94	
1022	2.5	1.11	
1111	2.5	1.29	
1383	3.5	1.95	

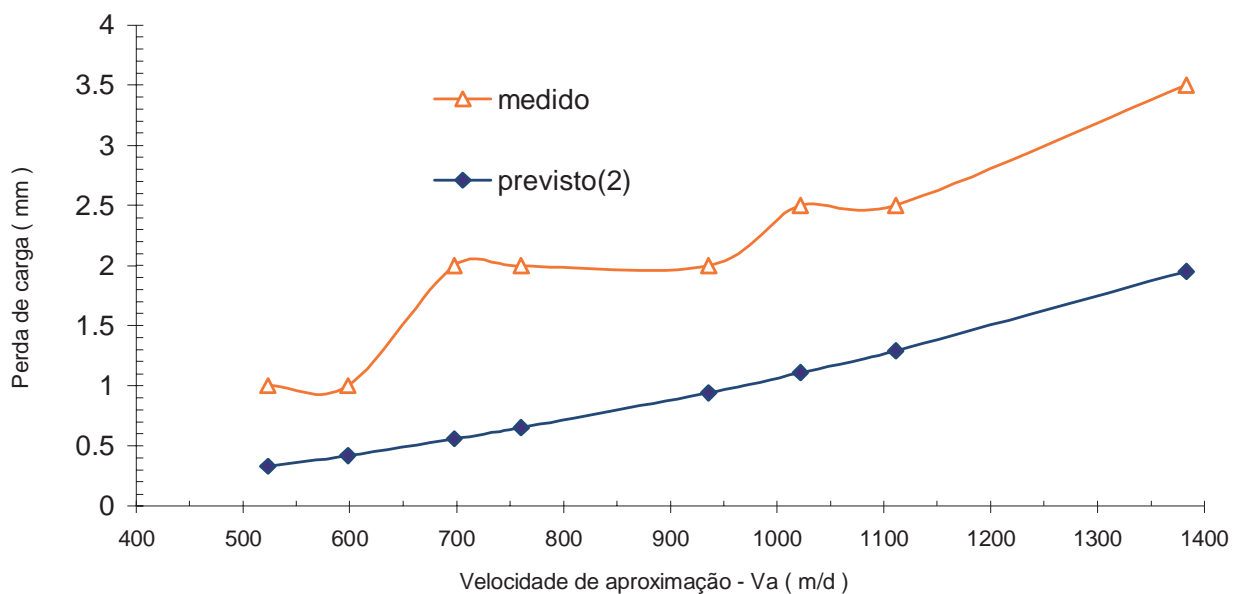


Figura M10.1 - perda de carga para o material m10

Tabela M1.3 - Relação entre velocidade de aproximação da água, expansão e porosidade do material m1.

Material m1		Área do floclador (m2)			0.0104
		Porosidade do leito quando não expandido			0.38
		Volume de grãos / m de leito (L)			6.448
Va	Va	expansão	porosidade	Log poros.	Log
m/d	mm/s	decimal	decimal		Va
698	8.0787	0	0.38	-0.42022	0.91
760	8.7963	0.017	0.39036	-0.40853	0.94
936	10.83333	0.102	0.43739	-0.35913	1.03
1022	11.8287	0.145	0.45852	-0.33864	1.07
1111	12.8588	0.18	0.47458	-0.32369	1.11
1383	16.00694	0.295	0.52124	-0.28296	1.2

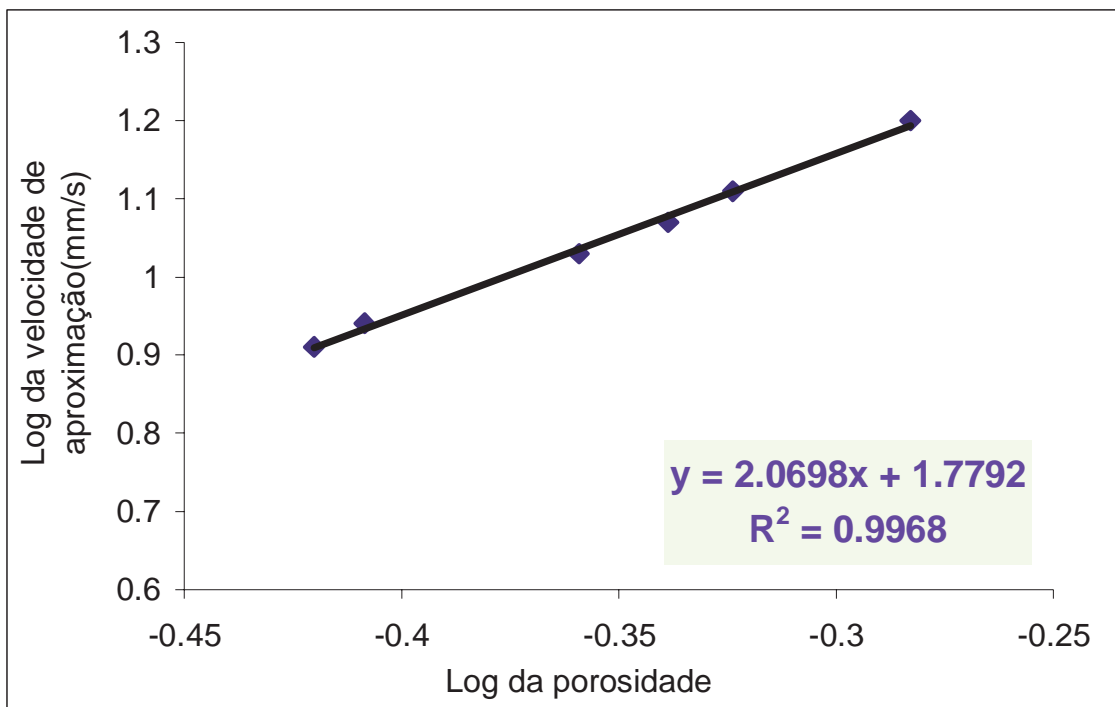


Figura M1.2 - Relação entre porosidade e velocidade de aproximação da água a 18 + ou - 0,5°C para o material m1

Tabela M2.3 - Relação entre velocidade de aproximação da água, expansão e porosidade do material m2.

Material m2		Área do floclador (m2)			0.0104
		Porosidade do leito quando não expandido			0.38
		Volume de grãos / m de leito (L)			6.448
Va	Va	expansão	porosidade	Log poros.	Log
m/d	mm/s	decimal	decimal		Va
598	6.9213	0.26	0.50794	-0.29419	0.84
698	8.0787	0.35	0.54074	-0.26701	0.91
760	8.7963	0.402	0.55777	-0.25354	0.94
936	10.83333	0.625	0.61846	-0.20869	1.03
1022	11.8287	0.74	0.64368	-0.19133	1.07
1383	16.00694	1.27	0.72687	-0.13854	1.2

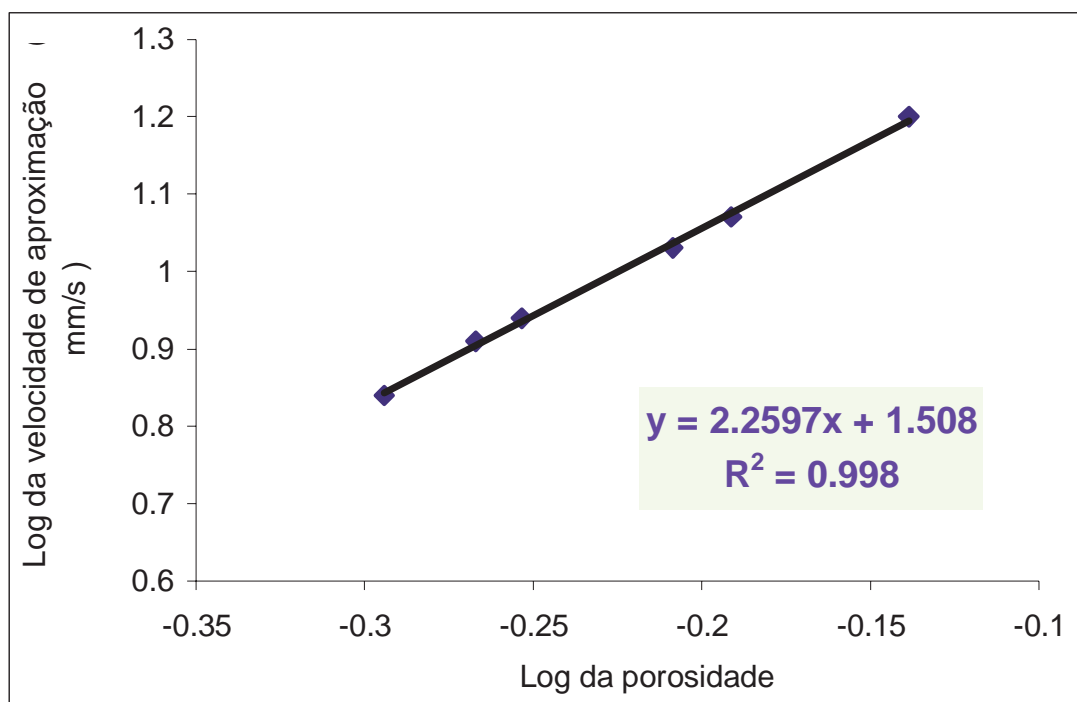


Figura M2.2 - Relação entre porosidade e velocidade de aproximação da água a 18 + ou - 0,5°C para o material m2

Tabela M3.3 - Relação entre velocidade de aproximação da água, expansão e porosidade do material m3.

Material m3		Área do floculador (m2)		0.0104	
		Porosidade do leito quando não expandido		0.38	
		Volume de grãos/ m de leito (L)		6.448	
Va	Va	expansão	porosidade	Log poros.	Log
m/d	mm/s	decimal	decimal		Va
698	8.0787	0.14	0.45614	-0.3409	0.91
760	8.7963	0.145	0.45852	-0.33864	0.94
936	10.83333	0.255	0.50598	-0.29587	1.03
1022	11.8287	0.305	0.5249	-0.27992	1.07
1111	12.8588	0.37	0.54745	-0.26166	1.11
1383	16.00694	0.535	0.59609	-0.22469	1.2

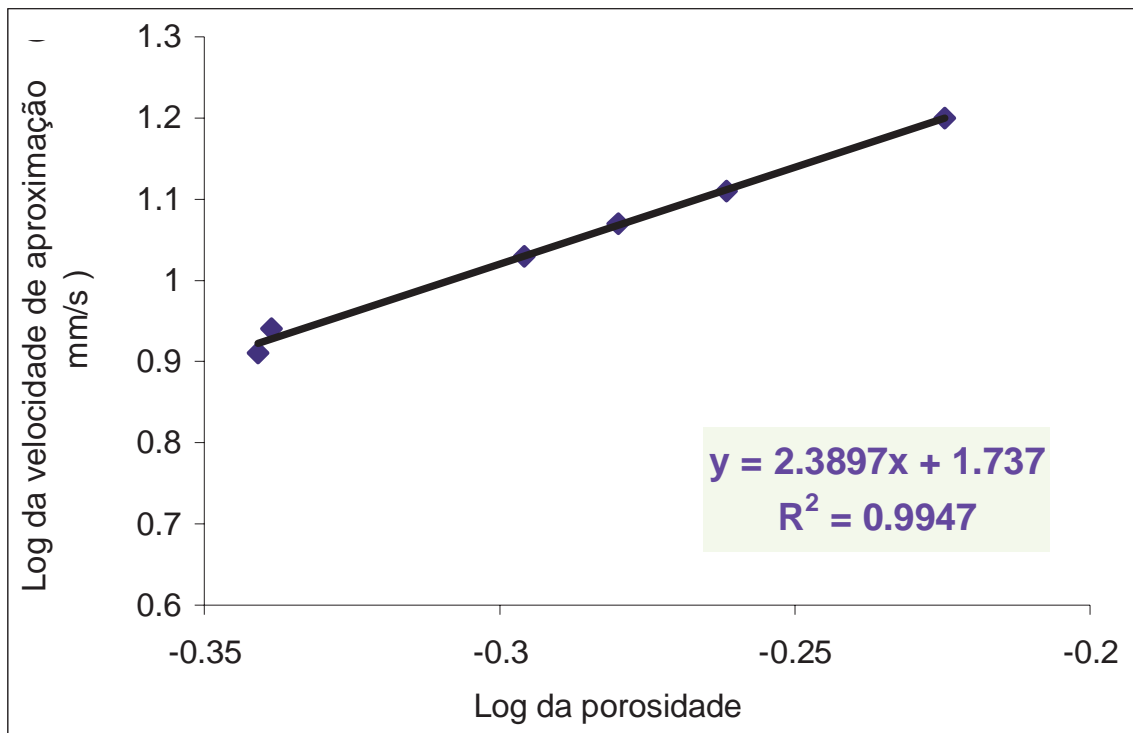


Figura M3.2 - Relação entre porosidade e velocidade de aproximação da água a 18 + ou - 0,5°C para o material m3

Tabela M5.3 - Relação entre velocidade de aproximação da água, expansão e porosidade do material m5.

Material m5		Área do flocculador (m2)		0.0104	
Porosidade do leito quando não expandido				0.42	
Volume de grãos / m de leito (L)				6.032	
Va m/d	Va mm/s	expansão decimal	porosidade decimal	Log poros.	Log Va
523	6.05324	0.15	0.49565	-0.30482	0.78
598	6.9213	0.195	0.51464	-0.2885	0.84
698	8.0787	0.263	0.54078	-0.26698	0.91
760	8.7963	0.31	0.55725	-0.25395	0.94
936	10.83333	0.45	0.6	-0.22185	1.03
1022	11.8287	0.52	0.61842	-0.20872	1.07
1111	12.8588	0.615	0.64087	-0.19323	1.11

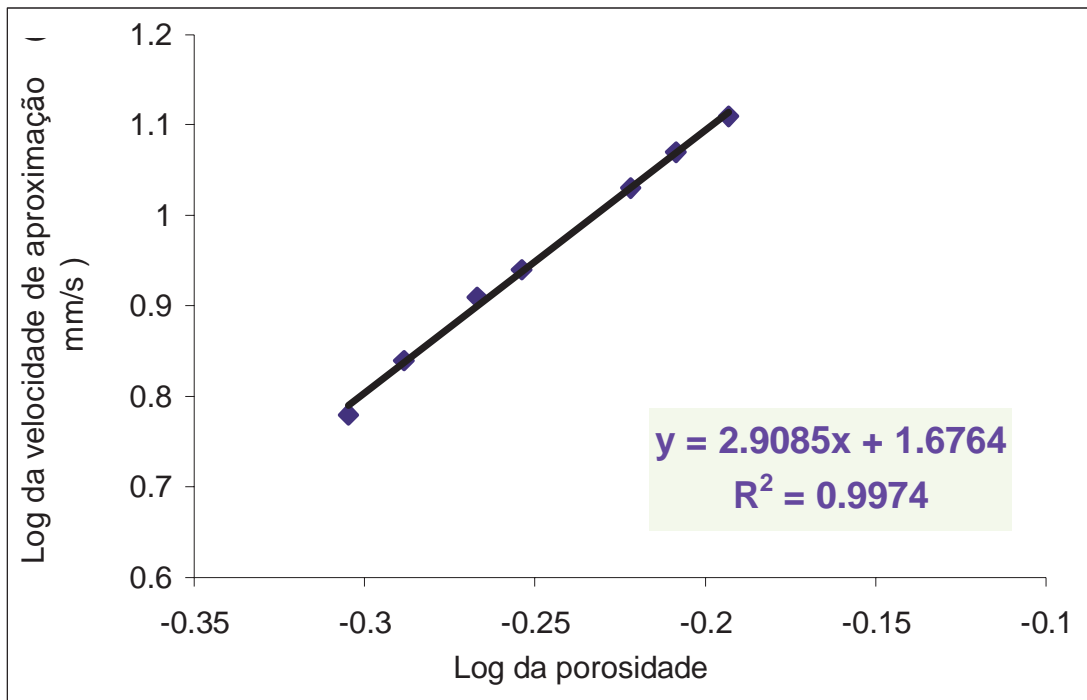


Figura M5.2 - Relação entre porosidade e velocidade de aproximação da água a 18 + ou - 0,5°C para o material m5

Tabela M6.3 - Relação entre velocidade de aproximação da água, expansão e porosidade do material m6.

Material m6		Área do floculador (m2)		0.0104	
Porosidade do leito quando não expandido				0.39	
Volume de grãos / m de leito (L)				6.344	
Va m/d	Va mm/s	expansão decimal	porosidade decimal	Log poros.	Log Va
523	6.05324	0.44	0.57639	-0.23928	0.78
598	6.9213	0.5	0.59333	-0.2267	0.84
698	8.0787	0.625	0.62462	-0.20438	0.91
760	8.7963	0.705	0.64223	-0.19231	0.94
936	10.83333	0.925	0.68312	-0.1655	1.03
1022	11.8287	1.04	0.70098	-0.15429	1.07
1111	12.8588	1.2	0.72273	-0.14102	1.11

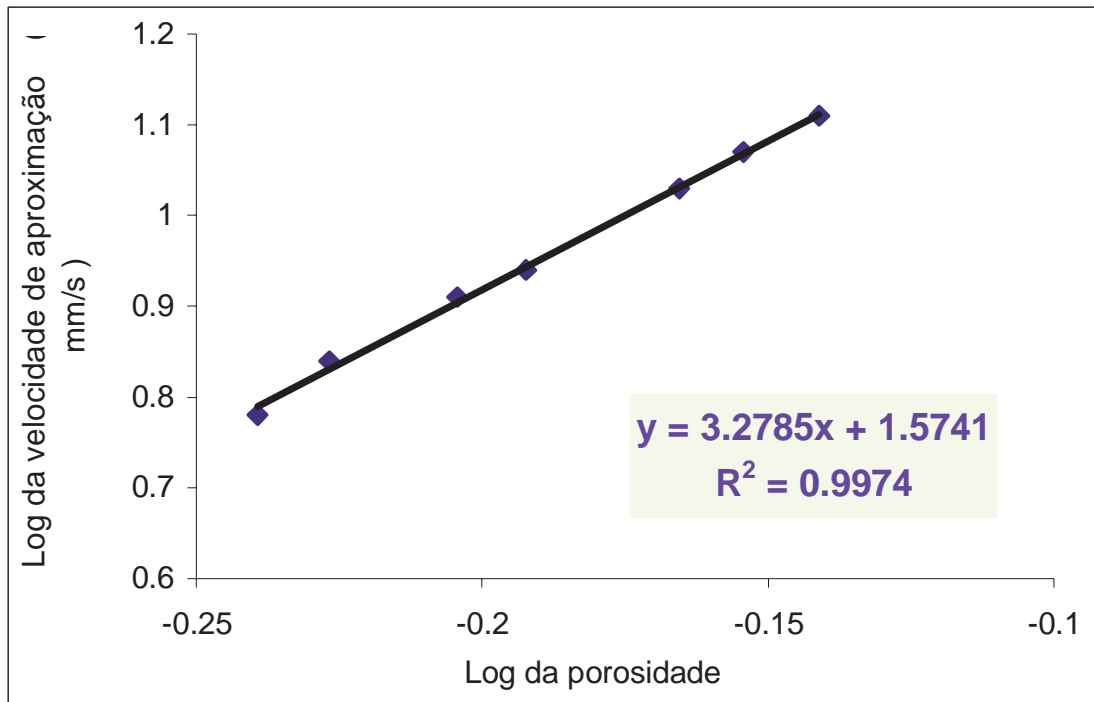


Figura M6.2 - Relação entre porosidade e velocidade de aproximação da água a 18 + ou - 0,5°C para o material m6

Tabela M7.3 - Relação entre velocidade de aproximação da água, expansão e porosidade do material m7.

Material m7		Área do floculador (m2)		0.0104	
		Porosidade do leito quando não expandido		0.4	
		Volume de grãos / m de leito (L)		6.24	
Va	Va	expansão	porosidade	Log poros.	Log
m/d	mm/s	decimal	decimal		velocidade
598	6.9213	0.63	0.6319	-0.19935	0.84
698	8.0787	0.775	0.66197	-0.17916	0.91
760	8.7963	0.885	0.6817	-0.16641	0.94
936	10.83333	1.24	0.73214	-0.13541	1.03
1022	11.8287	1.35	0.74468	-0.12803	1.07
1111	12.8588	1.56	0.76563	-0.11598	1.11

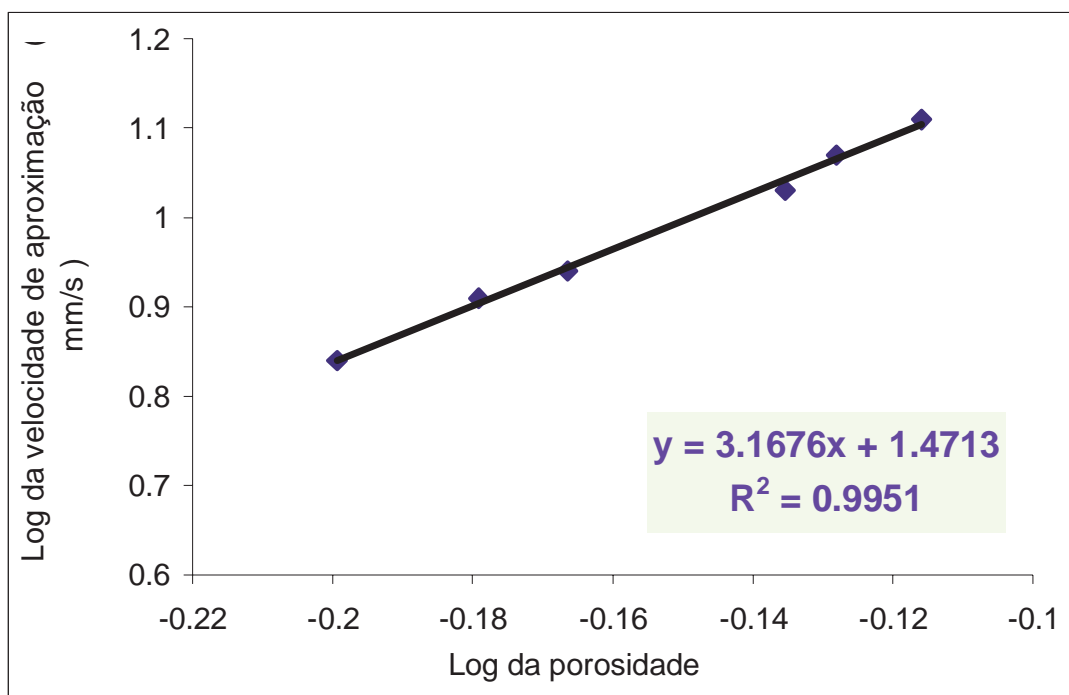


Figura M7.2 - Relação entre porosidade e velocidade de aproximação da água a 18 + ou - 0,5°C para o material m7

Tabela 5.A Planilha de custos de materiais e equipamentos para os flocladores incluindo fornecimento e execução

OBRAS CIVIS	unidade	Floclador mecânico			Floclador chicanas			Floclador granular		
		Quantidade	Custos (R\$)		Quantidade	Custos (R\$)		Quantidade	Custos (R\$)	
			unitário	Total		unitário	Total		unitário	Total
1-Serviços preliminares										
1.1-Limpeza do terreno: escavação + transporte até bota fora 2Km. Espessura 30cm	m2	40	6.26	250.40	38	6.26	237.88	9	6.26	56.34
2-Fundações										
2.1-Escavação manual	m3	5	13.82	69.10	5	13.82	69.10	2	13.82	27.64
2.2-Lastro de concreto magro - 5 cm	m3	1.22	171.07	208.71	1.8	171.07	307.93	0.35	171.07	59.87
3-Estruturas de concreto										
3.1-Forma em compensado plastificado - 12mm	m2	308	33.18	10,219.44	306	33.18	10,153.08	120	33.18	3,981.60
3.2-Concreto estrutural fck=25 MPA + lançamento	m3	33	249.17	8,222.61	47	249.17	11,710.99	18	249.17	4,485.06
3.3-Armadura de aço CA60 / CA50	Kg	3300	5.03	16,599.00	4700	5.03	23,641.00	1800	5.03	9,054.00
3.4-Imperbealização de superfícies de reservatórios	m2	112	47.60	5,331.20	104	47.60	4,950.40	50	47.60	2,380.00
4-Estruturas metálicas										
4.1-Guarda corpo tubular. F°G° 11/4"	mL	15	95.00	1,425.00	25	95.00	2,375.00	9	95.00	855.00
4.2-Perfil U de alumínio 1"	mL				718	14.87	10,676.66			
5. Instalações Hidráulicas										
5.1-Diâmetro 100 mm										
5.1.1-Extremidade ponta e flange - F°F° L=50cm	un	1	442.40	442.40	4	442.40	1,769.60			
5.1.2-Curva 90° com flanges F°F°	un				1	194.60	194.60			
5.1.3-Tê com flanges F°F°	un				3	492.80	1,478.40			
5.1.4-Toco de tubo com flanges F°F° L = 50cm	un				3	274.40	823.20			
5.1.5-Registro de gaveta com flanges e cabeçote F°F°	un	1	778.40	778.40	1	778.40	778.40	1	778.40	778.40
5.1.6-Tubo de PVC linha esgoto primário	m	0.5	18.48	9.24						
5.1.7-Parafusos para flanges c/ arruelas e porca	un	4	6.30	25.20	44	6.30	277.20	4	6.30	25.20
5.1.8-Anel de borracha para flanges	un	4	15.40	61.60	44	15.40	677.60	4	15.40	61.60
5.2-Diâmetro 150mm										
5.2.1-Extremidade ponta e flange - F°F° L=50cm	un							2	561.40	1,122.80
5.2.2-Tê com flanges F°F°	un							1	676.20	676.20
5.2.3-Redução normal 150x100mm F°F°	un							1	393.40	393.40
5.2.4-Tubo com flanges F°F° L=2m	un							1	1,121.40	1,121.40
5.2.5-Parafusos para flanges c/ arruelas e porca	un							24	6.30	151.20
5.2.6-Anel de borracha para flanges	un							24	22.40	537.60
6-Estuturas de madeira										
6.1-Tábuas de madeira de Lei 2x30x74cm	un				1027	9.56	9,818.12			
7-Equipamentos										
7.1-Agitador mecanizado com motorxreductor 1/3 cv	un	1	12,000.00	12,000.00						
7.1-Agitador mecanizado com motorxreductor 1/4 cv	un	3	12,000.00	36,000.00						
8-Meio filtrante										
8.1- Material granular Cycogel	m3							5.44	4,924.00	26,786.56
		Totais >		91,642.30			79,939.16			52,553.87

APÊNDICE II

Parte A1
ENSAIOS DE BANCADA COM A ÁGUA DE ESTUDO TIPO I

Características da água de estudo tipo I durante os ensaios:

Turbidez: 3,3 a 4,66 uT;

pH: 6,77 a 7,46

Cor aparente: 42 a 58 uH;

Cor verdadeira: 8 a 12 uH;

Alcalinidade total: 11 a 13 mg/L CaCO₃

Condutividade: 69,0 a 79,4 $\mu S/cm$

Sólidos Totais Dissolvidos: 33 a 39 mg/L

Temperatura: 26,3 a 27,8 °C

Série I: Condições de coagulação

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 s^{-1}$ e $T_{mr} = 30 s$; Filtração: FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A1.1 – Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	0		12	6,24	0,86	
2	1		12	6,27	0,92	
3	2		12	6,37	0,65	
4	3		12	6,45	0,85	
5	4		12	6,57	0,67	
6	5		12	6,73	1,27	

Tabela A1.2 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1			8	6,36	0,52	
2			10	6,22	0,44	
3			12	5,90	0,52	
4			14	5,74	0,58	
5			16	5,61	0,34	
6			18	5,33	0,39	

Tabela A1.3 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	2		8	6,57	0,99	
2	2		10	6,40	0,84	
3	2		12	6,24	0,56	
4	2		14	6,06	0,52	
5	2		16	5,93	0,54	
6	2		18	5,81	0,55	

Tabela A1.4 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	3		8	6,51	1,13	
2	3		10	6,50	1,37	
3	3		12	6,30	0,56	
4	3		14	6,09	0,53	
5	3		16	6,07	0,46	
6	3		18	5,89	0,49	

Tabela A1.5 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	4		8	6,63	0,84	
2	4		10	6,57	1,14	
3	4		12	6,47	0,73	
4	4		14	6,30	0,63	
5	4		16	6,11	0,50	
6	4		18	5,94	0,55	

Tabela A1.6 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1			6	6,53	0,91	
2			7	6,41	0,82	
3			8	6,34	0,82	
4			9	6,24	0,54	
5			10	6,20	0,51	
6			11	6,15	0,49	

Tabela A1.7 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1			6	6,45	0,75	
2			7	6,40	0,69	
3			8	6,33	0,71	
4			9	6,24	0,50	
5			10	6,17	0,68	
6			11	6,05	0,39	

Série II: Verificação do tipo de areia dos FLAs

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$ e $T_{mr} = 30 \text{ s}$; Dosagem de Sulfato de Alumínio: 9 mg/L e pH de coagulação: $6,24 \pm 0,06$; Filtração em FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A1.8 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tipo de areia	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1		9	1	6,25	0,35	2
2		9	1	6,27	0,30	2
3		9	2	6,22	0,56	6
4		9	2	6,30	0,51	5
5		9	3	6,26	1,18	11
6		9	3	6,24	1,22	13

OBS: A turbidez da água filtrada produzida pela ETA da lagoa do Peri, para a dosagem de 9 mg/L de Sulfato de Alumínio, variou de 0,59 a 0,68 uT.

Série III: Verificação das condições de mistura rápida

Condições dos ensaios: Dosagem de Sulfato de Alumínio: 9 mg/L e pH de coagulação: $6,24 \pm 0,06$; Filtração em FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A1.9 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 600 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1		9	5	6,30	0,66	
2		9	10	6,25	0,51	
3		9	15	6,23	0,61	
4		9	20	6,30	0,53	
5		9	25	6,26	0,82	
6		9	30	6,25	1,11	

Tabela A1.10 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 900 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1		9	5	6,28	0,60	
2		9	10	6,22	0,60	
3		9	15	6,23	0,73	
4		9	20	6,30	0,58	
5		9	25	6,24	0,47	
6		9	30	6,25	0,56	

Tabela A1.11 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1		9	5	6,23	0,56	
2		9	10	6,26	0,53	
3		9	15	6,23	0,51	
4		9	20	6,25	0,47	
5		9	25	6,23	0,49	
6		9	30	6,23	0,42	

Tabela A1.12 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 1500 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1		9	5	6,24	0,58	
2		9	10	6,30	0,66	
3		9	15	6,26	0,62	
4		9	20	6,23	0,59	
5		9	25	6,24	0,45	
6		9	30	6,22	0,54	

Série IV: Verificação das condições de floculação

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$ e $T_{mr} = 30 \text{ s}$. Dosagem de Sulfato de Alumínio: 9 mg/L e pH de coagulação: $6,24 \pm 0,06$; Filtração em FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm , com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A1.13 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 60 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco			9	6,25	0	0,28	4
1			9	6,23	1	0,27	4
2			9	6,23	5	0,28	4
3			9	6,25	10	0,27	4
4			9	6,24	15	0,34	4
5			9	6,26	20	0,34	4
6			9	6,20	30	0,38	5

Tabela A1.14 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 50 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco			9	6,28	0	0,23	4
1			9	6,23	1	0,26	4
2			9	6,24	5	0,27	4
3			9	6,22	10	0,30	4
4			9	6,27	15	0,35	5
5			9	6,20	20	0,36	5
6			9	6,25	30	0,35	5

Tabela A1.15- Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 40 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco			9	6,21	0	0,23	5
1			9	6,23	1	0,31	4
2			9	6,26	5	0,30	5
3			9	6,22	10	0,34	5
4			9	6,21	15	0,33	5
5			9	6,23	20	0,36	5
6			9	6,25	30	0,35	5

Tabela A1.16- Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 30 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco			9	6,22	0	0,26	4
1			9	6,23	1	0,32	4
2			9	6,22	5	0,30	4
3			9	6,22	10	0,33	4
4			9	6,21	15	0,39	6
5			9	6,20	20	0,41	6
6			9	6,20	30	0,52	7

Tabela A1.17- Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 20 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco			9	6,25	0	0,29	4
1			9	6,23	1	0,26	6
2			9	6,25	5	0,27	4
3			9	6,26	10	0,29	4
4			9	6,24	15	0,30	5
5			9	6,25	20	0,30	5
6			9	6,23	30	0,35	5

Tabela A1.18- Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 10 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco			9	6,22	0	0,25	4
1			9	6,20	1	0,36	6
2			9	6,20	5	0,30	4
3			9	6,24	10	0,32	4
4			9	6,21	15	0,42	5
5			9	6,20	20	0,36	5
6			9	6,21	30	0,31	5

Série V: Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs.

As características da água tipo I durante os ensaios dessa série foram as seguintes:

Turbidez: 4,34 a 5,90 uT;

pH: 6,76 a 7,00

Cor aparente: 54 a 79 uH;

Cor verdadeira: 5 a 10 uH;

Alcalinidade total: 11 a 13 mg/L CaCO₃

Condutividade: 66,0 a 74,0 $\mu S / cm$

Sólidos Totais Dissolvidos: 33 a 37 mg/L

Temperatura: 18,0 a 19,1 °C

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$ e $T_{mr} = 30 \text{ s}$. Dosagem de Sulfato de Alumínio: 9 mg/L e pH de coagulação: $6,24 \pm 0,06$; Filtração em FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta de seis alíquotas de água filtrada após descarte dos primeiros 100 mL filtrados. Avaliação do tamanho dos flocos pelo Índice de Willcomb – IW.

Tabela A1.19 – Resultados de ensaio de filtração direta – $G_{floc} = 15 \text{ s}^{-1}$

Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs.						
Sulfato de Alumínio (mg/L): 9,0 para todos os jarros						
JARRO: 1 pH de coagulação: 6,24 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 0	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	78	90	101	120	148	180
Taxa de filtração (m/d)	120	104	93	78	63	52
Turbidez da água filtrada (uT)	1,06	1,03	0,82	0,83	0,68	0,64
JARRO: 2 pH de coagulação: 6,23 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 5	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	52	56	68	94	122	174
Taxa de filtração (m/d)	181	168	139	100	77	54
Turbidez da água filtrada (uT)	1,15	1,09	1,07	0,95	0,83	0,71
JARRO: 3 pH de coagulação: 6,28 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 10	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	61	74	73	90	103	120
Taxa de filtração (m/d)	155	127	129	105	92	79
Turbidez da água filtrada (uT)	1,18	1,08	0,95	0,92	0,88	0,83
JARRO: 4 pH de coagulação: 6,28 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 15	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	68	72	92	120	124	134
Taxa de filtração (m/d)	139	131	103	79	76	70
Turbidez da água filtrada (uT)	1,36	0,96	0,82	0,72	0,71	0,67
JARRO: 5 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 20	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	58	78	96	104	122	138
Taxa de filtração (m/d)	163	121	98	91	77	68
Turbidez da água filtrada (uT)	1,03	0,85	0,84	0,82	0,73	0,73
JARRO: 6 pH de coagulação: 6,22 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 25	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	74	78	92	138	162	194
Taxa de filtração (m/d)	127	121	102	68	58	49
Turbidez da água filtrada (uT)	0,94	0,87	0,88	0,81	0,82	0,82
JARRO: 7 pH de coagulação: 6,22 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 30	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	88	114	120	132	136	150
Taxa de filtração (m/d)	107	83	79	71	69	62
Turbidez da água filtrada (uT)	1,13	1,07	0,90	0,83	0,83	0,76

Tabela A1.20 – Resultados de ensaio de filtração direta – Gfloc = 20 s⁻¹

Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs.						
Sulfato de Alumínio (mg/L): 9,0 para todos os jarros						
JARRO: 1 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 0	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	65	82	96	122	176	190
Taxa de filtração (m/d)	145	115	98	77	53	50
Turbidez da água filtrada (uT)	0,87	0,95	0,81	0,69	0,66	0,58
JARRO: 2 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 5	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	52	62	71	96	138	157
Taxa de filtração (m/d)	181	152	133	98	65	60
Turbidez da água filtrada (uT)	1,21	0,88	0,81	0,69	0,67	0,65
JARRO: 3 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 10	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	53	67	87	95	128	164
Taxa de filtração (m/d)	178	141	108	99	74	57
Turbidez da água filtrada (uT)	1,24	1,11	0,93	0,93	0,95	0,71
JARRO: 4 pH de coagulação: 6,27 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 15	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	73	88	93	111	122	154
Taxa de filtração (m/d)	129	107	101	85	77	61
Turbidez da água filtrada (uT)	1,17	1,02	0,93	0,83	0,72	0,76
JARRO: 5 pH de coagulação: 6,23 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 20	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	64	80	95	101	131	165
Taxa de filtração (m/d)	147	117	99	93	70	57
Turbidez da água filtrada (uT)	1,1	0,95	0,78	0,76	0,74	0,73
JARRO: 6 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 25	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	70	89	114	126	148	195
Taxa de filtração (m/d)	135	106	82	74	63	48
Turbidez da água filtrada (uT)	1,09	1,05	1,00	0,82	0,76	0,79
JARRO: 7 pH de coagulação: 6,25 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 30	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	68	84	102	134	178	190
Taxa de filtração (m/d)	138	112	92	70	52	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,11	1,04	1	0,91	0,79	0,77

Tabela A1.21– Resultados de ensaio de filtração direta – Gfloc = 30 s⁻¹

Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs.						
Sulfato de Alumínio (mg/L): 9,0 para todos os jarros						
JARRO: 1 pH de coagulação: 6,25 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 0	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	60	76	90	118	174	228
Taxa de filtração (m/d)	157	124	105	80	54	41
Turbidez da água filtrada (uT)	1,11	0,81	0,74	0,67	0,82	0,55
JARRO: 2 pH de coagulação: 6,27 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 5	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	55	68	80	86	112	133
Taxa de filtração (m/d)	171	139	118	110	84	71
Turbidez da água filtrada (uT)	1,09	0,94	0,87	0,80	0,58	0,77
JARRO: 3 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 10	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	68	79	96	104	129	171
Taxa de filtração (m/d)	139	119	98	91	73	55
Turbidez da água filtrada (uT)	0,99	0,88	0,76	0,76	0,72	0,69
JARRO: 4 pH de coagulação: 6,21 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 15	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	60	84	102	134	178	190
Taxa de filtração (m/d)	157	112	92	70	52	49
Turbidez da água filtrada (uT)	0,97	0,95	0,68	0,69	0,61	0,87
JARRO: 5 pH de coagulação: 6,23 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 20	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	61	96	97	136	163	198
Taxa de filtração (m/d)	155	98	97	69	58	48
Turbidez da água filtrada (uT)	1,14	1,06	0,85	0,73	0,68	0,67
JARRO: 6 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 25	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	56	64	69	154	175	190
Taxa de filtração (m/d)	168	147	137	61	53	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,37	1,16	0,96	0,79	0,79	0,73
JARRO: 7 pH de coagulação: 6,25 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 30	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	66	79	110	128	154	192
Taxa de filtração (m/d)	142	119	85	73	61	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,08	0,99	0,83	0,74	0,71	0,68

Tabela A1.22– Resultados de ensaio de filtração direta – Gfloc = 40 s⁻¹

Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs.						
Sulfato de Alumínio (mg/L): 9,0 para todos os jarros						
JARRO: 1 pH de coagulação: 6,20 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 0	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	57	75	84	118	167	224
Taxa de filtração (m/d)	165	126	122	80	56	42
Turbidez da água filtrada (uT)	1,12	1,08	0,69	0,64	0,64	0,61
JARRO: 2 pH de coagulação: 6,24 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 5	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	60	69	80	97	103	121
Taxa de filtração (m/d)	157	136	117	97	91	77
Turbidez da água filtrada (uT)	0,95	0,90	0,76	0,74	0,64	0,60
JARRO: 3 pH de coagulação: 6,22 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 10	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	68	80	94	114	130	160
Taxa de filtração (m/d)	138	117	100	82	72	58
Turbidez da água filtrada (uT)	0,78	0,72	0,65	0,60	0,54	0,58
JARRO: 4 pH de coagulação: 6,22 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 15	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	52	60	78	108	146	206
Taxa de filtração (m/d)	181	157	121	87	65	46
Turbidez da água filtrada (uT)	1,13	1,13	0,94	0,67	0,63	0,62
JARRO: 5 pH de coagulação: 6,29 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 20	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	58	77	108	132	158	189
Taxa de filtração (m/d)	163	122	87	71	59	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,24	1,05	1,01	1,07	0,82	0,74
JARRO: 6 pH de coagulação: 6,27 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 25	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	57	65	94	145	172	190
Taxa de filtração (m/d)	165	145	100	65	54	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,32	1,35	0,97	0,93	0,93	0,93
JARRO: 7 pH de coagulação: 6,25 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 30	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	60	70	81	154	185	190
Taxa de filtração (m/d)	157	134	116	61	50	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,44	1,39	1,17	0,88	0,62	0,61

Tabela A1.23– Resultados de ensaio de filtração direta – $G_{floc} = 55 \text{ s}^{-1}$

Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs.						
Sulfato de Alumínio (mg/L): 9,0 para todos os jarros						
JARRO: 1 pH de coagulação: 6,23 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 0	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	62	72	80	160	181	192
Taxa de filtração (m/d)	152	131	117	58	52	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,43	1,14	0,96	0,87	0,67	0,64
JARRO: 2 pH de coagulação: 6,23 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 5	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	60	62	68	79	96	118
Taxa de filtração (m/d)	157	152	139	119	98	80
Turbidez da água filtrada (uT)	1,27	1,11	0,97	0,86	0,70	0,64
JARRO: 3 pH de coagulação: 6,24 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 10	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	47	56	70	90	130	182
Taxa de filtração (m/d)	200	168	135	105	72	52
Turbidez da água filtrada (uT)	1,53	1,32	1,09	0,84	0,87	0,72
JARRO: 4 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 15	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	56	68	84	104	138	176
Taxa de filtração (m/d)	168	139	112	91	68	54
Turbidez da água filtrada (uT)	1,54	1,27	0,81	0,84	0,65	0,69
JARRO: 5 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 20	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	59	74	79	154	175	188
Taxa de filtração (m/d)	159	127	119	61	53	50
Turbidez da água filtrada (uT)	1,36	1,16	0,98	0,81	0,80	0,75
JARRO: 6 pH de coagulação: 6,26 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 25	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	60	69	85	146	168	189
Taxa de filtração (m/d)	157	136	110	64	56	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,71	1,34	1,17	1,01	0,92	0,89
JARRO: 7 pH de coagulação: 6,23 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 30	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	56	70	92	144	174	189
Taxa de filtração (m/d)	168	134	102	65	54	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,57	1,53	1,22	0,88	0,92	0,83

Tabela A1.24– Resultados de ensaio de filtração direta – $G_{floc} = 75 \text{ s}^{-1}$

Verificação da evolução da perda de carga nos FLAs.						
Sulfato de Alumínio (mg/L): 9,0 para todos os jarros						
JARRO: 1 pH de coagulação: 6,27 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 0	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	56	68	111	154	174	189
Taxa de filtração (m/d)	168	138	84	61	54	49
Turbidez da água filtrada (uT)	1,08	0,86	0,80	0,68	0,65	0,67
JARRO: 2 pH de coagulação: 6,28 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 5	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	60	66	108	144	157	181
Taxa de filtração (m/d)	157	142	87	65	60	52
Turbidez da água filtrada (uT)	1,14	0,86	0,73	0,62	0,58	0,55
JARRO: 3 pH de coagulação: 6,28 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 10	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	52	68	83	110	174	276
Taxa de filtração (m/d)	181	139	114	86	54	34
Turbidez da água filtrada (uT)	1,21	1,04	0,82	0,78	0,70	0,61
JARRO: 4 pH de coagulação: 6,25 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 15	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	60	78	100	144	157	184
Taxa de filtração (m/d)	157	120	94	65	60	51
Turbidez da água filtrada (uT)	1,37	1,27	0,86	0,67	0,73	0,64
JARRO: 5 pH de coagulação: 6,25 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 20	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	46	72	100	128	150	256
Taxa de filtração (m/d)	205	131	94	74	63	37
Turbidez da água filtrada (uT)	1,33	1,16	0,99	0,86	0,65	0,60
JARRO: 6 pH de coagulação: 6,27 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 25	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	62	77	104	142	159	186
Taxa de filtração (m/d)	152	122	90	66	59	50
Turbidez da água filtrada (uT)	1,48	1,17	0,92	0,73	0,72	0,78
JARRO: 7 pH de coagulação: 6,22 IW(mm):0,3-0,5 Alíquotas de 40 mL						
Tempo de floculação (min): 30	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a
Tempo de filtragem da alíquota (s)	58	69	114	148	165	185
Taxa de filtração (m/d)	162	136	82	63	57	50
Turbidez da água filtrada (uT)	1,16	1,12	0,97	0,81	0,75	0,75

Parte A1B

ENSAIOS DE BANCADA COM A ÁGUA DE ESTUDO TIPO I

Em virtude das mudanças ocorridas na qualidade das águas da lagoa do Peri a partir de outubro de 2001, foram refeitos ensaios de jarreste para determinara as novas condições de coagulação.

Características da água de estudo tipo I durante os ensaios:

Turbidez: 5,94 a 7,30 uT;

pH: 6,76 a 6,88

Cor aparente: 77 a 89 uH;

Cor verdadeira: 8 a 10 uH;

Alcalinidade total: 6,1 a 7,5 mg/L CaCO₃

Condutividade: 50 a 60 $\mu S/cm$

Sólidos Totais Dissolvidos: 25 a 30 mg/L

Temperatura: 26,5 a 27,0 °C

Série I: Condições de coagulação

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 s^{-1}$ e $T_{mr} = 30 s$; Filtração: FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A1B.1 – Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	0	-	14	6,05	0,74	8
2	1,5	-	14	6,34	0,74	10
3	3,0	-	14	6,66	0,99	15
4	4,5	-	14	6,73	1,24	14
5	6,0	-	14	7,00	2,41	26
6	7,5	-	14	7,15	2,34	30

Tabela A1B.2 – Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	0	-	15	5,74	0,67	10
2	1,5	-	15	6,20	0,88	13
3	3,0	-	15	6,32	0,84	14
4	4,5	-	15	6,50	1,08	19
5	6,0	-	15	6,72	1,88	29
6	7,5	-	15	6,80	2,34	39

Tabela A1B.3 – Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	0	-	16	5,74	0,45	6
2	1,5	-	16	6,01	0,73	10
3	3,0	-	16	6,19	0,76	12
4	4,5	-	16	6,42	1,43	22
5	6,0	-	16	6,62	2,25	30
6	7,5	-	16	6,77	2,00	30

Tabela A1B.4 – Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	0	-	17	5,70	0,48	5
2	1,5	-	17	6,00	0,55	5
3	3,0	-	17	6,15	0,67	6
4	4,5	-	17	6,35	1,02	10
5	6,0	-	17	6,58	1,32	19
6	7,5	-	17	6,75	1,82	22

Ponto de trabalho escolhido nesta série:

Dosagem de Sulfato de Alumínio = 16 mg/L

pH de coagulação = 5,74 ± 0,08

Parte A1C

ENSAIOS DE BANCADA COM A ÁGUA DE ESTUDO TIPO I

Em virtude das mudanças ocorridas na qualidade das águas da lagoa do Peri a partir de outubro de 2001, decidiu-se avaliar a aplicação do hidroxiclreto de alumínio - PAC. Foram feitos ensaios em jarreste para determinara as novas condições de coagulação, cujos resultados são mostrados nas tabelas A1C.1 a A1C.9.

Características da água de estudo tipo I durante os ensaios:

Turbidez: 3,94 a 4,05 uT;

pH: 6,88 a 7,28

Cor aparente: 49 a 56 uH;

Cor verdadeira: 4 a 11 uH;

Alcalinidade total: 7,7 a 9,5 mg/L CaCO₃

Condutividade: 60 a 71 $\mu S/cm$

Sólidos Totais Dissolvidos: 30 a 36 mg/L

Temperatura: 28,0 a 29,0 °C

Série I: Condições de coagulação

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 s^{-1}$ e $T_{mr} = 30 s$; Filtração: FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte. Em função dos resultados obtidos, indicados pelas Tabelas A1C.1 a A1C.9, foi escolhido o ponto de trabalho: Dosagem de Hidroxiclreto de Alumínio = 22 mg/L e pH de coagulação = $6,00 \pm 0,1$

Tabela A1C.1 – Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxiclreto de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	-	12	6,49	0,79	11
2	0,5	-	12	6,59	1,31	18
3	1,0	-	12	6,71	0,78	8
4	2,0	-	12	6,86	1,46	23
5	3,5	-	12	7,17	2,15	32
6	5,0	-	12	7,38	2,30	32

Tabela A1C.2 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxiclreto de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	0,4	12	6,39	1,17	17
2	-	0,8	12	6,31	1,26	17
3	-	1,2	12	6,21	1,10	15
4	-	1,6	12	6,14	1,17	17
5	-	2,0	12	6,08	1,26	15
6	-	2,4	12	5,88	1,10	14

Tabela A1C.3 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxiclreto de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	-	12	6,43	1,50	22
2	1,0	-	12	6,71	1,42	24
3	-	2,4	12	5,62	1,19	19
4	-	2,8	12	5,43	1,16	16
5	-	3,2	12	5,08	0,98	14
6	-	3,6	12	4,56	0,67	9

Tabela A1C.4 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxiclreto de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	-	12	6,81	1,34	23
2	-	-	14	6,80	1,14	19
3	-	-	16	6,76	0,75	14
4	-	-	18	6,71	0,56	10
5	-	-	20	6,66	0,41	7
6	-	-	22	6,60	0,31	5

Tabela A1C.5- Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxiclreto de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	-	16	6,45	0,61	10
2	-	0,43	16	6,14	0,50	8
3	-	0,86	16	5,64	0,50	8
4	-	1,29	16	5,25	0,48	8
5	-	1,72	16	4,83	0,39	7
6	-	2,15	16	4,50	0,37	7

Tabela A1C.6 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxicloreto de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	-	18	6,45	0,44	8
2	-	0,4	18	6,11	0,40	7
3	-	0,8	18	5,76	0,38	6
4	-	1,2	18	5,33	0,36	7
5	-	1,6	18	4,95	0,28	4
6	-	2,0	18	4,70	0,29	5

Tabela A1C.7 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxicloreto de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	-	20	6,49	0,38	7
2	-	0,35	20	6,12	0,32	5
3	-	0,70	20	5,76	0,25	4
4	-	1,05	20	5,52	0,27	4
5	-	1,40	20	5,28	0,29	5
6	-	1,75	20	5,04	0,26	4

Tabela A1C.8 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxicloreto de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	-	20	6,63	0,42	5
2	1	-	20	7,02	0,58	6
3	2	-	20	7,26	0,55	6
4	3	-	20	7,29	0,75	7
5	4	-	20	7,55	1,49	17
6	5	-	20	7,77	1,82	27

Tabela A1C.9 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS				ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Hidroxicloreto de Alumínio mg/L	pH de coagulação	Turbidez uT	Cor aparente uH
1	-	-	22	6,58	0,34	5
2	-	0,48	22	6,06	0,29	5
3	-	0,96	22	5,64	0,31	6
4	-	1,44	22	5,30	0,30	6
5	-	1,92	22	4,95	0,40	5
6	-	2,40	22	4,61	0,25	3

Parte A2

ENSAIOS DE BANCADA COM A ÁGUA DE ESTUDO TIPO II

Características da água de estudo tipo II durante os ensaios:

Turbidez: 1,16 a 1,65 uT;

pH: 6,34 a 6,58

Cor aparente: 12 a 15 uH;

Cor verdadeira: 6 a 8 uH;

Alcalinidade total: 6,5 a 7,5 mg/L CaCO₃

Condutividade: 23 a 29 $\mu S/cm$

Sólidos Totais Dissolvidos: 11 a 14 mg/L

Temperatura: 17,2 a 18,5 °C

Série I: Condições de coagulação

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 s^{-1}$ e $T_{mr} = 30 s$; Filtração: FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A2.1 – Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1			8	5,41	0,64	6
2		0,1	8	5,33	0,47	5
3		0,2	8	5,27	0,36	2
4		0,3	8	5,21	0,34	2
5		0,4	8	5,07	0,45	5
6		0,5	8	4,92	0,45	5

Tabela A2.2 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	1		8	5,8	0,78	6
2	2		8	6,15	0,52	6
3	3		8	6,41	0,33	2
4			8	5,33	0,52	5
5		0,2	8	5,08	0,39	3
6		0,3	8	5,01	0,36	5

Tabela A2.3 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	4		9	6,78	0,28	0
2	3		8	6,59	0,29	0
3	3		7	6,69	0,28	0
4	2		7	6,44	0,31	0
5	2		6	6,5	0,28	0
6	1		6	6,17	0,28	1

Tabela A2.4 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1			6	5,81	0,57	5
2			5	5,88	0,29	2
3	2		6	6,47	0,28	0
4		0,2	6	5,54	0,43	4
5		0,3	6	5,37	0,50	5
6		0,4	6	5,07	0,83	8

Série III: Verificação das condições de mistura rápida

Condições dos ensaios: Dosagem de Sulfato de Alumínio: 6 mg/L e pH de coagulação: 6,50 ± 0,06; Filtração em FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A2.5 - Resultados do ensaio de filtração direta - Gmr = 600 s⁻¹

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1	2	6	5	6,53	0,38	4
2	2	6	10	6,54	0,33	4
3	2	6	15	6,50	0,35	4
4	2	6	20	6,52	0,30	4
5	2	6	25	6,52	0,26	2
6	2	6	30	6,51	0,25	2

Tabela A2.6 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 900 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1	2	6	5	6,51	0,45	5
2	2	6	10	6,48	0,33	4
3	2	6	15	6,50	0,39	4
4	2	6	20	6,54	0,43	5
5	2	6	25	6,51	0,46	4
6	2	6	30	6,50	0,45	5

Tabela A2.7 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo De Mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1	2	6	5	6,50	0,29	3
2	2	6	10	6,52	0,28	3
3	2	6	15	6,49	0,29	3
4	2	6	20	6,53	0,24	1
5	2	6	25	6,48	0,26	1
6	2	6	30	6,50	0,25	1

Tabela A2.8 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 1500 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo De Mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1	2	6	5	6,48	0,37	4
2	2	6	10	6,50	0,43	5
3	2	6	15	6,53	0,29	3
4	2	6	20	6,52	0,33	3
5	2	6	25	6,50	0,26	2
6	2	6	30	6,48	0,25	1

Série IV: Verificação das condições de floculação

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$ e $T_{mr} = 20 \text{ s}$. Dosagem de Sulfato de Alumínio: 6 mg/L e pH de coagulação: $6,50 \pm 0,06$; Filtração em FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A2.9 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 60 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	2		6	6,52	0	0,23	3
1	2		6	6,53	1	0,25	2
2	2		6	6,53	5	0,24	2
3	2		6	6,55	10	0,32	2
4	2		6	6,54	15	0,23	2
5	2		6	6,56	20	0,23	1
6	2		6	6,50	30	0,25	1

Tabela A2.10 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 50 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	1,5		6	6,50	0	0,34	4
1	1,5		6	6,47	1	0,50	4
2	1,5		6	6,46	5	0,50	4
3	1,5		6	6,45	10	0,34	3
4	1,5		6	6,51	15	0,32	2
5	1,5		6	6,50	20	0,28	2
6	1,5		6	6,48	30	0,25	1

Tabela A2.11 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 40 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	1,5		6	6,51	0	0,25	2
1	1,5		6	6,50	1	0,25	2
2	1,5		6	6,48	5	0,29	1
3	1,5		6	6,52	10	0,28	2
4	1,5		6	6,50	15	0,23	1
5	1,5		6	6,51	20	0,43	5
6	1,5		6	6,50	30	0,25	1

Tabela A2.12 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 30 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	2		6	6,56	0	0,26	2
1	2		6	6,53	1	0,25	2
2	2		6	6,56	5	0,27	3
3	2		6	6,55	10	0,22	3
4	2		6	6,51	15	0,26	3
5	2		6	6,53	20	0,27	2
6	2		6	6,53	30	0,32	3

Tabela A2.13 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 20 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	1,5		6	6,50	0	0,26	3
1	1,5		6	6,49	1	0,31	2
2	1,5		6	6,46	5	0,32	3
3	1,5		6	6,50	10	0,36	3
4	1,5		6	6,48	15	0,38	3
5	1,5		6	6,51	20	0,38	3
6	1,5		6	6,49	30	0,38	3

Tabela A2.14 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 10 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	1,5		6	6,49	0	0,29	3
1	1,5		6	6,49	1	0,30	4
2	1,5		6	6,48	5	0,44	4
3	1,5		6	6,51	10	0,30	3
4	1,5		6	6,49	15	0,26	3
5	1,5		6	6,50	20	0,25	3
6	1,5		6	6,50	30	0,25	3

Parte A3

ENSAIOS DE BANCADA COM A ÁGUA DE ESTUDO TIPO III

Características da água de estudo tipo III durante os ensaios:

Turbidez: 9,89 a 11 uT;

pH: 6,28 a 6,60

Cor aparente: 66 a 72 uH;

Cor verdadeira: 4 a 6 uH;

Alcalinidade total: 10 a 11,2 mg/L CaCO₃

Condutividade: 49 a 51 $\mu\text{S} / \text{cm}$

Sólidos Totais Dissolvidos: 24 a 25 mg/L

Temperatura: 18,9 a 20 °C

Série I: Condições de coagulação

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$ e $T_{mr} = 30 \text{ s}$; Filtração: FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A3.1 – Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1			9	5,89	0,87	5
2	1		9	6,07	0,65	2
3	2		9	6,15	0,54	0
4	3		9	6,32	0,95	4
5	4		9	6,39	1,27	7
6	5		9	6,53	0,25	0

Tabela A3.2 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	5		9	6,58	0,71	5
2	5		9	6,70	0,24	1
3	4		8	6,63	0,24	1
4	3		8	6,57	0,23	1
5	4		7	6,76	0,38	1
6	3		7	6,55	0,44	1

Tabela A3.3 - Resultados do ensaio de filtração direta

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ mL/L	Sulfato de Alumínio mg/L		Turbidez uT	Cor aparente uH
1	4		9	6,47	0,23	1
2	4		9	6,50	0,25	1
3	3		8	6,52	0,22	1
4	3		8	6,55	0,23	1
5	2		7	6,58	0,31	2
6	2		7	6,56	0,33	2

Série III: Verificação das condições de mistura rápida

Condições dos ensaios: Dosagem de Sulfato de Alumínio: 8 mg/L e pH de coagulação: 6,55 ± 0,06; Filtração em FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A3.4 - Resultados do ensaio de filtração direta - Gmr = 600 s⁻¹

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1	4	8	5	6,53	0,50	3
2	4	8	10	6,54	0,56	3
3	4	8	15	6,53	0,32	2
4	4	8	20	6,50	0,41	3
5	4	8	25	6,52	0,43	4
6	4	8	30	6,53	0,32	2

Tabela A3.5 - Resultados do ensaio de filtração direta - Gmr = 900 s⁻¹

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1	4	8	5	6,55	0,50	4
2	4	8	10	6,54	0,43	3
3	4	8	15	6,58	0,30	2
4	4	8	20	6,60	0,35	2
5	4	8	25	6,53	0,25	1
6	4	8	30	6,55	0,27	1

Tabela A3.6 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1	4	8	5	6,54	0,67	5
2	4	8	10	6,58	0,56	5
3	4	8	15	6,53	0,70	5
4	4	8	20	6,51	0,54	4
5	4	8	25	6,55	0,49	4
6	4	8	30	6,56	0,71	5

Tabela A3.7 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{mr} = 1500 \text{ s}^{-1}$

JARRO	PRODUTOS QUÍMICOS		Tempo de mistura rápida (s)	pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal mg/L	Sulfato de Alumínio mg/L			Turbidez uT	Cor aparente uH
1	4	8	5	6,56	0,54	4
2	4	8	10	6,54	0,53	4
3	4	8	15	6,55	0,50	5
4	4	8	20	6,53	0,58	5
5	4	8	25	6,50	0,59	5
6	4	8	30	6,52	0,61	5

Série IV: Verificação das condições de floculação

Condições dos ensaios: Mistura Rápida: $G_{mr} = 900 \text{ s}^{-1}$ e $T_{mr} = 25 \text{ s}$. Dosagem de Sulfato de Alumínio: 8 mg/L e pH de coagulação: $6,55 \pm 0,06$; Filtração em FLAs, com carga hidráulica constante de 11 cm, com areia tipo 2 e coleta da água filtrada após 20 min de descarte.

Tabela A3.8 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 60 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	4		8	6,51	0	0,33	1
1	4		8	6,53	1	0,29	0
2	4		8	6,52	5	0,25	2
3	4		8	6,50	10	0,28	1
4	4		8	6,52	15	0,29	0
5	4		8	6,53	20	0,58	1
6	4		8	6,50	30	0,37	1

Tabela A3.9 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 50 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	4		8	6,57	0	0,23	0
1	4		8	6,56	1	1,02	7
2	4		8	6,58	5	0,77	5
3	4		8	6,57	10	0,39	1
4	4		8	6,55	15	0,86	3
5	4		8	6,59	20	0,26	0
6	4		8	6,58	30	0,22	0

Tabela A3.10 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 40 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	3,5		8	6,50	0	0,25	1
1	3,5		8	6,49	1	0,20	1
2	3,5		8	6,51	5	0,26	1
3	3,5		8	6,50	10	0,28	1
4	3,5		8	6,50	15	0,28	1
5	3,5		8	6,49	20	0,25	0
6	3,5		8	6,51	30	0,33	1

Tabela A3.11 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 30 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	4		8	6,57	0	0,29	2
1	4		8	6,58	1	0,24	1
2	4		8	6,56	5	0,27	2
3	4		8	6,55	10	0,24	1
4	4		8	6,56	15	0,19	1
5	4		8	6,56	20	0,39	2
6	4		8	6,57	30	0,23	1

Tabela A3.12 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 20 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	4		8	6,53	0	0,39	1
1	4		8	6,55	1	0,23	1
2	4		8	6,53	5	0,25	1
3	4		8	6,56	10	0,23	0
4	4		8	6,53	15	0,32	0
5	4		8	6,52	20	0,29	0
6	4		8	6,52	30	0,33	1

Tabela A3.13 - Resultados do ensaio de filtração direta - $G_{floc} = 10 \text{ s}^{-1}$

JARRO	Cal mg/L	H ₂ SO ₄ ML/L	Sulfato de Alumínio mg/L	PH de Coagulação	Tempo de Floculação min	Água Filtrada	
						Turbidez uT	Cor aparente uH
Branco	4		8	6,56	0	0,31	3
1	4		8	6,53	1	0,38	2
2	4		8	6,56	5	0,42	2
3	4		8	6,52	10	0,24	1
4	4		8	6,54	15	0,30	1
5	4		8	6,55	20	0,41	2
6	4		8	6,54	30	0,41	2

Planilha Nfloc1 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta	Mistura Rápida	Coagulação	
hora de coleta:	10:00	Tempo (s): 30	
Turbidez (uT):	6.48	Gradiente(l/s): 1200	
Cor aparente (uH):	94	Coagulante	
Cor verdadeira (uH):	6	Dosagem (mg/L): 17	
pH	7.28	Volume da câmara (L):	
Temperatura (Celsius)	18	Vazão (L/h): 1798	
Alcalinidade (mg/L):	5.7	Dose de ácido(mL/L):	
S.T.D (mg/L):	30	Dose de cal(mg/L):	
Condutividade(uS/cm)	60	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO	
Coleta para algas(S/N)	N	Floculador	Material
produção de flocos »	m9	Num.	tipo
produção de flocos »	m10	2	m9
produção de flocos »	m8	3	m10
			m8

Floculação em meio granular

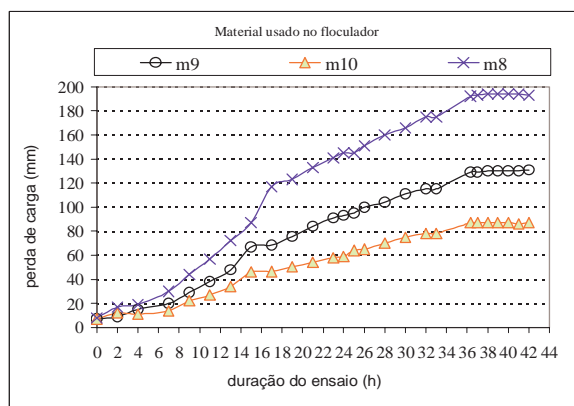
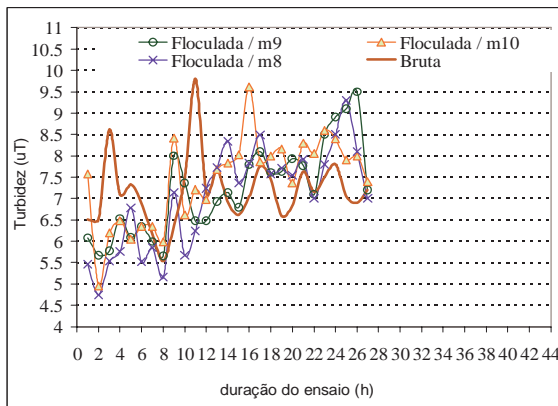
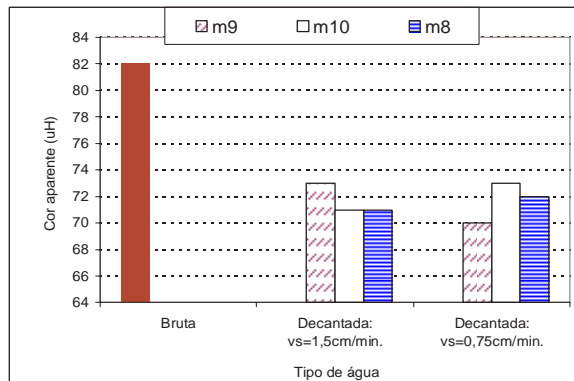
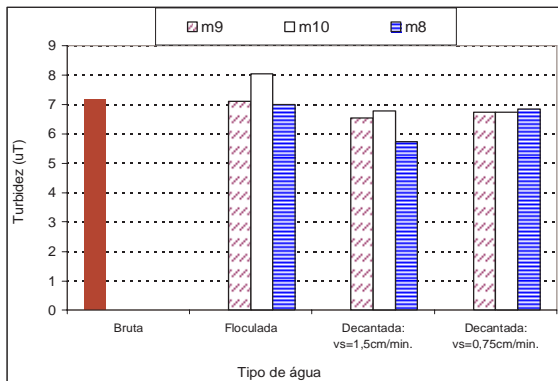
Ensaio: **Nfloc 1**

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta				Expansão do leito				
	sem materia	m9	m10	m8	oculada / nculada	moculada / moculada	n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatura	pH	m9	m10	m8
0	1.2	7	7	8	6.08	7.57	5.46	6.51	7.17	89	18.5	5.58	0	0	0
2	1.2	9	12	17	5.67	4.96	4.74	6.51	7.39	90	18.2	5.7	0	0	0
4	1.2	15	11	19	5.77	6.2	5.53	8.61	7.17	82	18	5.79	0	0	0
7	1.2	20	14	30	6.53	6.48	5.76	7.1	6.82	86	20.5	5.44	0	0	0
9	1.2	29	22	44	6.09	6.05	6.78	7.33	6.83	89	21	5.36	0	0	0
11	1.2	38	27	57	6.34	6.35	5.52	6.89	6.83	80	20	5.43	0	0	0
13	1.2	48	34	72	5.99	6.35	5.85	6.17	6.84	82	19	5.49	0	0	0
15	1.2	67	46	87	5.66	5.99	5.16	5.53	6.85	87	18.6	5.46	0	0	0
17	1.2	68.5	46.5	117	8	8.42	7.14	6.37	7.08	83	19.4	5.58	0	0	0
19	1.2	75.5	50.5	123	7.36	6.61	5.67	7.49	7.36	103	19.5	5.65	0	0	0
21	1.2	84	54	133	6.48	7.21	6.24	9.8	7.34	94	19	5.73	0	0	0
23	1.2	91	58	141	6.48	6.98	7.24	7.14	7.17	88	18.5	5.7	0	0	0
24	1.2	93	59	145	6.93	7.68	7.72	7.68	6.85	93	18.3	5.59	0	0	0
25	1.2	95	64	145	7.14	7.82	8.34	6.91	7.07	93	18	5.57	0	0	0
26	1.2	100	65	151	6.79	8.03	7.36	6.62	7.15	88	18	5.66	0	0	0
28	1.2	104	70	160	7.79	9.61	7.83	7.05	7.11	87	18	5.6	0	0	0
30	1.2	111	75	166	8.1	7.86	8.49	7.75	7.16	86	18	5.68	0	0	0
32	1.2	115	78	175	7.61	7.99	7.58	7.45	7.08	85	17.7	5.71	0	0	0
33	1.2	115	78	175	7.63	8.16	7.71	6.59	7.05	92	17.7	5.68	0	0	0
36.33	1.2	129	87	192	7.93	7.37	7.54	6.84	7.01	83	18.5	5.59	0	0	0
37	1.2	129	87	193	7.77	8.29	7.92	7.63	7.06	86	18.9	5.61	0	0	0
38	1.2	130	87	194	7.1	8.05	7	7.16	7.09	82	19	5.61	0	0	0
39	1.2	130	87	194	8.5	8.6	7.8	7.5	7.11	84	19	5.61	0	0	0
40	1.2	130	87	194	8.9	8.4	8.5	7.8	7.08	83	19	5.6	0	0	0
41	1.2	130	86	194	9.1	7.9	9.3	7.05	7.03	84	18.8	5.64	0	0	0
42	1.2	131	87	193	9.5	8	8.1	6.9	7.07	88	18.8	5.63	0	0	0
médias »	1.2	84.4	56.9	127.7	7.2	7.4	7	7.2	7.1	87.2	18.8	5.6	0	0	0

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

uT	Turbidez da decantada			uH	Cor aparente
Bruta	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.			Bruta	ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.
Bruta	7.16			82	
m9	7.1	6.53	6.72	73	70
m10	8.05	6.78	6.72	71	73
m8	7	5.73	6.84	71	72



Planilha Nfloc2 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação	
Hora de coleta:	09:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A
Turbidez (uT):	6.69	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	17
Cor aparente (uH):	82	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):	
Cor verdadeira (uH):	6	Vazão (L/h):	1216.3	Dose de cal(mg/L):	
pH	7.03	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO			
Temperatura (Celsius)	16.3	Floculador	Material	Espessura	Densidade
Alcalinidade (mg/L):		Num.	tipo	cm	g/cm3
S.T.D (mg/L):	3.1	1	m9	200	2.13
Conductividade(uS/cm)	62	2	m10	200	1.54
Coleta para algas(S/N)	N	3	m8	200	1.67
produção de flocos »	m9	produção de flocos pequenos (IW = 0,3 a 0,5 mm), alternada com liberação de flocos retidos sem forma e dimensões definidas			
produção de flocos »	m10	produção de flocos pequenos (IW = 0,3 a 0,5 mm), alternada com liberação de flocos retidos sem forma e dimensões definidas			
produção de flocos »	m8	idem aos outros dois, mas houve separação do material granular por colmatção quando a perda de carga atingiu 198mm.			

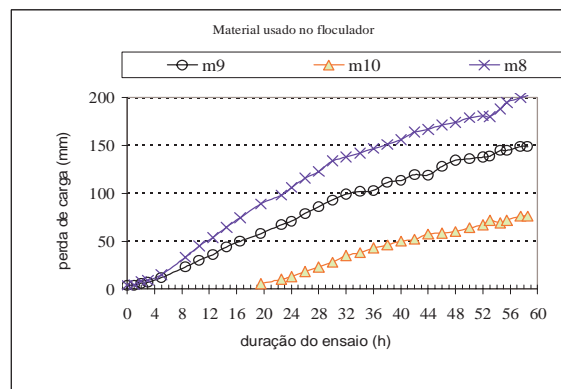
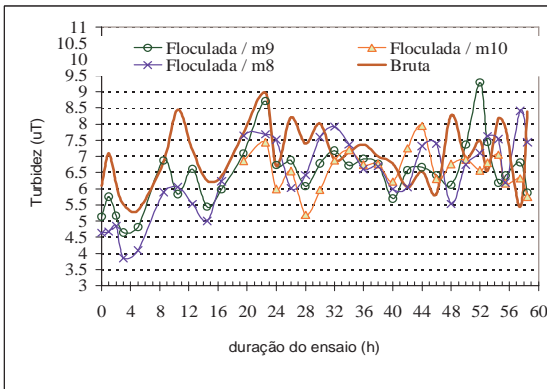
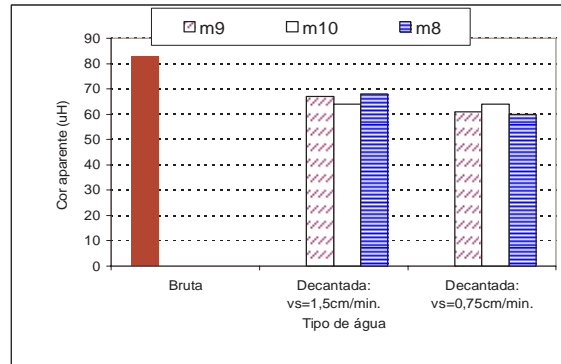
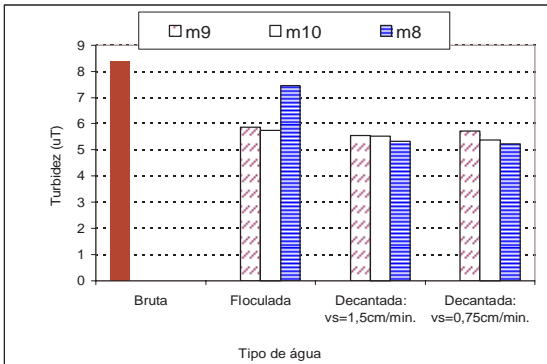
Floculação em meio granular

Ensaio: **Nfloc 2**

Duração(h)	Perda de carga (mm)				Turbidez da água floculada (uT)				Dados da água bruta			Expansão do leito		
	sem materia	m9	m10	m8	oculada / nocolada / mocolada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur	pH	m9	m10	m8	
0	1.2	3.5			5.13	4.63	6.09	7.12	83	18.8	5.47	0	0	
1	1.2	4			5.75	4.67	7.09	6.91	82	18.4	5.19	0	0	
2	1.2	6			5.16	4.85	6.15	7	83	17.8	5.54	0	0	
3	1.2	7			4.64	3.85	5.52	7.12	77	15.5	5.65	0	0	
5	1.2	12			4.81	4.09	5.33	6.99	85	16.6	5.65	0	0	
8.5	1.2	23			6.87	5.89	6.84	6.97	81	18.1	5.48	0	0	
10.5	1.2	30			5.83	6.05	8.45	7.12	90	17.6	5.64	0	0	
12.5	1.2	36			53.5	6.61	5.53	7.2	7.14	83	17.2	5.69	0	0
14.5	1.2	44			64.5	5.44	5	6.25	7.07	86	17	5.67	0	0
16.5	1.2	50			74.5	5.97	6.23	6.39	7.01	94	16.9	5.65	0	0
19.5	1.2	58	5.5	89	7.09	6.86	7.64	7.73	7.04	96	17.1	5.35	0	0
22.5	1.2	67	10	98	8.71	7.44	7.68	8.97	6.78	98	18.6	5.22	0	0
24	1.2	71	13	106	6.73	5.99	7.51	6.7	6.82	83	18.5	5.34	0	0
26	1.2	79	18	116	6.88	6.55	6.02	8.2	6.95	92	18	5.4	0	0
28	1.2	86	23	123	6.07	5.19	6.42	7.39	7.03	86	17.9	5.41	0	0
30	1.2	93	28	134	6.78	5.96	7.6	8.02	6.91	89	17.9	5.49	0	0
32	1.2	99	35	138	7.18	6.87	7.92	6.89	7.04	80	17.2	5.56	0	0
34	1.2	102	38	142	6.72	7.2	7.37	7.14	7.16	81	17.4	5.62	0	0
36	1.2	103	43	147	6.92	6.75	6.61	7.37	7.13	81	17.5	5.6	0	0
38	1.2	111.5	46	151	6.77	6.76	6.69	7	7.18	84	17.4	5.72	0	0
40	1.2	113.5	50	156	5.69	6.22	5.98	6.78	7.1	85	16.5	5.66	0	0
42	1.2	119.5	52	164	6.57	7.25	6.04	6.04	7.05	84	16.3	5.6	0	0
44	1.2	119	57.5	167	6.66	7.94	7.32	6.54	6.93	78	16.3	5.58	0	0
46	1.2	128	58.5	171.5	6.42	6.3	7.39	5.84	7.08	80	16.2	5.57	0	0
48	1.2	134.5	60	174	6.11	6.76	5.53	8.28	6.92	78	16.2	5.51	0	0
50	1.2	136	64	179	7.36	6.9	6.75	6.96	6.98	87	16.5	5.42	0	0
52	1.2	138	67	181	9.29	6.57	7.11	7.49	7.22	87	16.5	5.57	0	0
53	1.2	139	72	180	7.44	6.8	7.63	6.55	7.1	74	17.5	5.55	0	0
54.5	1.2	145	69	188	6.18	7.05	7.54	8.17	7.05	85	17.5	5.43	0	0
55.5	1.2	145	72	195	6.4	6.17	6.19	7.88	6.85	88	17.3	5.51	0	0
57.5	1.2	149	76	200	6.81	6.32	8.41	5.43	7.18	78	17.2	5.52	0	0
58.5	1.2	149	76	202	5.87	5.75	7.44	8.39	6.99	83	17	5.49	0	0
médias »	1.2	84.4	47	116	6.5	6.6	6.4	7	7	84.4	17.3	5.5	0	0

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

uT		1		uH		83	
Turbidez da decantada		vs=1,5da: vs=0,75cm/min.		Cor aparente		vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	
Bruta	8.39			Bruta	83		
m9	5.87	5.54	5.71	m9	67	61	
m10	5.75	5.51	5.36	m10	64	64	
m8	7.44	5.31	5.23	m8	68	60	



Planilha Nfloc3 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação	
Hora da coleta:	09:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A
Turbidez (uT):	6.93	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	17
Cor aparente (uH):	86	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):	
Cor verdadeira (uH):	8	Vazão (L/h):	988.5	Dose de cal(mg/L):	
pH	6.82				

Floculação em meio granular

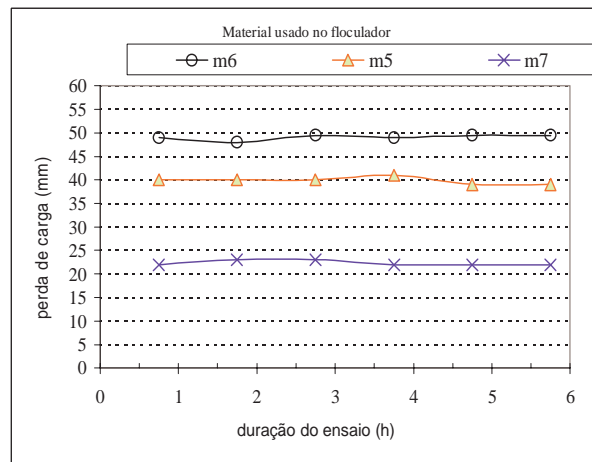
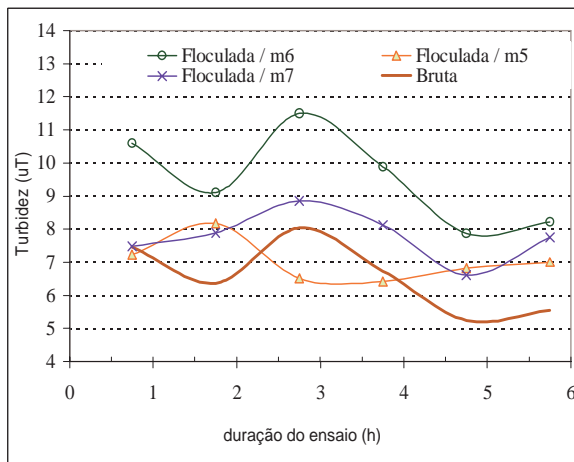
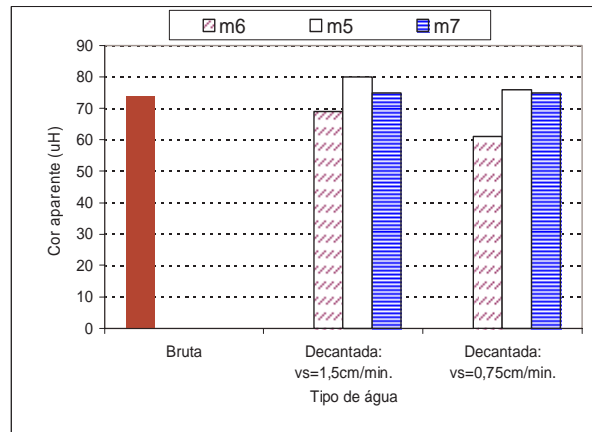
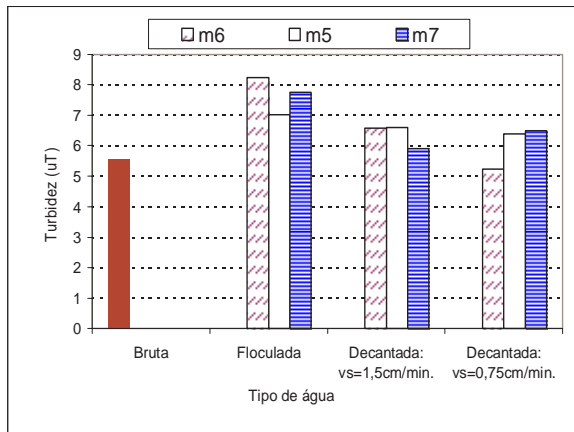
Ensaio: **Nfloc 3**

CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO															
Temperatura (Celsius)	Alcalinidade (mg/L)	S.T.D (mg/L)	Conductividade(uS/cm)	Coleta para algas(S/N)	Fluorador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
											m3/m2.d	%			
16.5	5.5			N	1	m6	160	1.055	E	329.5	760	67.7	194	45	8730
					2	m5	100	1.08	E	329.5	760	32	78	85	6630
					3	m7	100	1.04	E	329.5	760	72.5	130	44	5720

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta			Expansão do leito					
	m6	m5	m7	oculada / n oculada / n oculada / n	Bruta	pH	uH	Celsius	coagulação	m6	m5	m7			
0.75	1.2	49	40	22	10.6	7.24	7.48	7.47	6.99	80	17.1	5.38	70	33	76
1.75	1.2	48	40	23	9.11	8.17	7.89	6.37	6.89	82	17	5.41	68	33	76
2.75	1.2	49.5	40	23	11.5	6.51	8.85	8.04	7	86	17.1	5.37	68	32.5	73
3.75	1.2	49	41	22	9.89	6.42	8.13	6.73	6.91	82	17.1	5.33	68	33	73.5
4.75	1.2	49.5	39	22	7.87	6.82	6.61	5.25	6.73	76	17.9	5.33	65	32	73.5
5.75	1.2	49.5	39	22	8.23	7.01	7.75	5.56	6.82	74	18.3	5.59	67	32	72.5
médias »	1.2	49.1	39.8	22.3	9.5	7	7.8	6.6	6.9	80	17.4	5.4	67.7	32.6	74.1

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

uT	Turbidez da decantada			uH	Cor aparente	
	Bruta	Floculada: vs=1,5da	vs=0,75cm/min.			Bruta
Bruta	5.56			74		
m6		8.23	6.58	61	69	61
m5		7.01	6.6	76	80	76
m7		7.75	5.92	75	75	75



Planilha Nfloc4 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

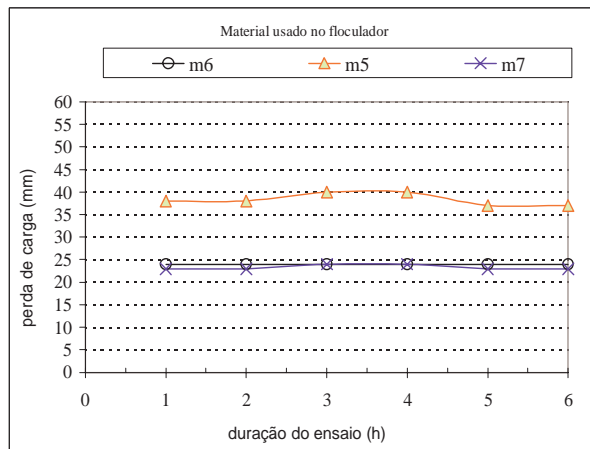
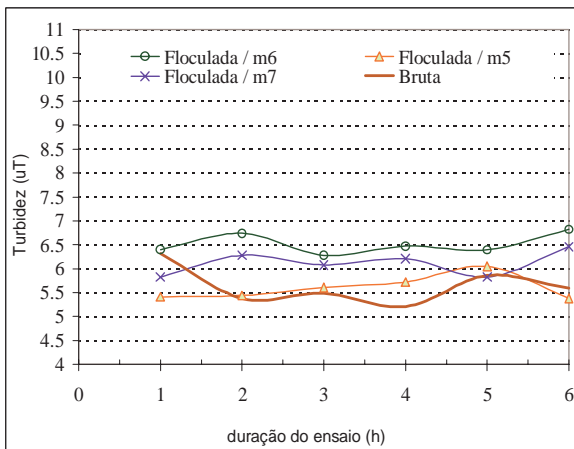
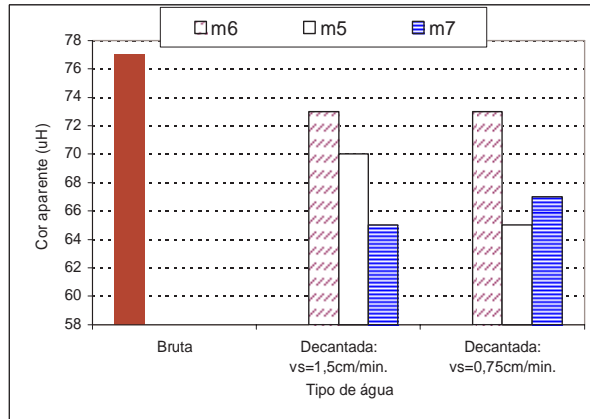
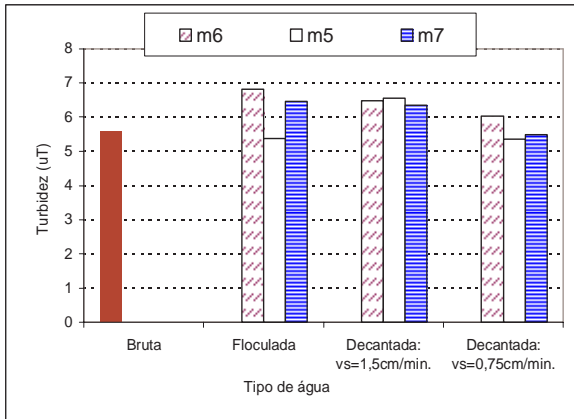
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	11:15	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 4						
Turbidez (uT):	6.48	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	17							
Cor aparente (uH):	78	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):		Ensaio: Nfloc 4						
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	680	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.96	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	19.4	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	5.5	Num.	tipo	cm	g/cm ³	Expand:E	L/h	m ³ /m ² .d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m6	100	1.055	E	226.7	523	41.5	128	46	5888
Condutividade(uS/cm):		2	m5	100	1.08	E	226.7	523	17.5	98	69	6762
Coleta para algas(S/N)	N	3	m7	100	1.04	E	226.7	523	41	132	52	6864
produção de flocos »	m6	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm										
produção de flocos »	m5	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm										
produção de flocos »	m7	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta					Expansão do leito			
	m6	m5	m7	oculada / n oculada	n oculada / n oculada	n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatura	coagulação	m6	m5	m7	
1	1.2	24	38	23	6.4	5.41	5.83	6.32	6.72	78	20.5	5.4	42	16	42.5
2	1.2	24	38	23	6.74	5.44	6.28	5.38	7.03	79	20.1	5.48	41.5	16.5	42
3	1.2	24	40	24	6.28	5.61	6.08	5.48	6.94	77	20.6	5.42	41.5	16.5	41.5
4	1.2	24	40	24	6.47	5.72	6.21	5.21	6.98	74	21	5.4	41.5	16.5	41.5
5	1.2	24	37	23	6.39	6.05	5.83	5.86	6.96	81	21	5.4	41.5	17.5	41
6	1.2	24	37	23	6.82	5.38	6.46	5.59	6.92	77	21	5.38	41.5	17.5	41
médias »	1.2	24	38.3	23.3	6.5	5.6	6.1	5.6	6.9	77.7	20.7	5.4	41.6	16.8	41.6

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Cor aparente	
	uT	Floculada		uH	ida
Bruta	5.59	vs=1,5da: vs=0,75cm/min.		77	vs=1,5da: vs=0,75cm/min.
m6	6.82	6.48	6.03	73	73
m5	5.38	6.55	5.35	70	65
m7	6.46	6.34	5.49	65	67



Planilha Nfloc5 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

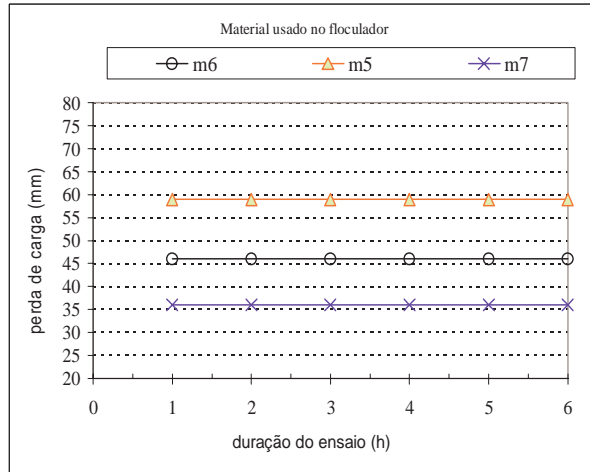
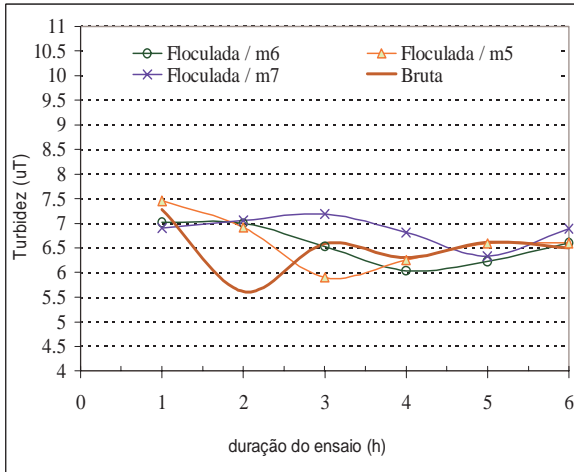
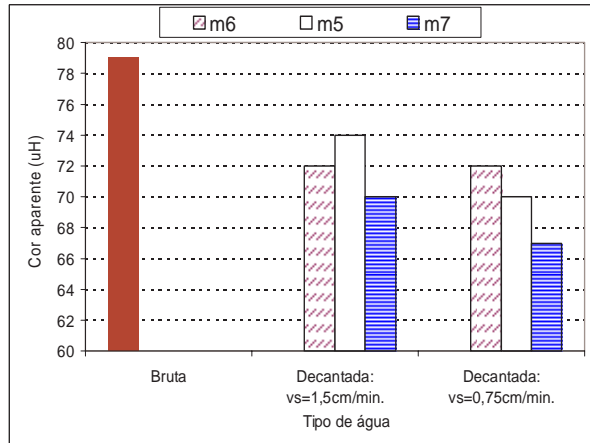
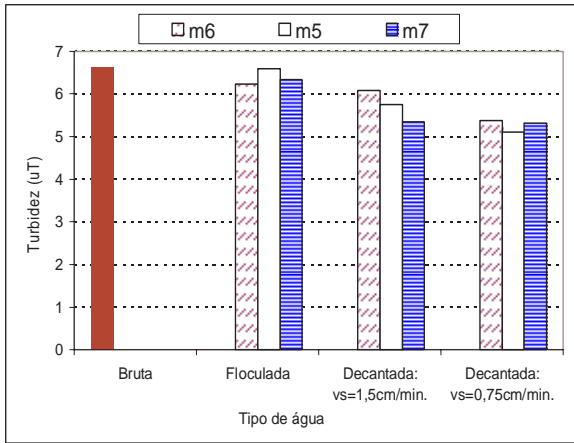
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular												
Hora da coleta:	08:15	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 5												
Turbidez (uT):	6.28	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	17													
Cor aparente (uH):	83	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):														
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	680	Dose de cal(mg/L):		CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO												
pH	6.85																	
Temperatura (Celsius)	17.8	Floculador	Material	Espessura	Densidade							Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	5.7	Num.	tipo	cm	g/cm ³							Expand:E	L/h	m ³ /m ² .d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m6	150	1.055							E	226.7	523	42	200	41	8200
Condutividade(uS/cm):		2	m5	150	1.08							E	226.7	523	16.6	145	70	10150
Coleta para algas(S/N)	N	3	m7	150	1.04							E	226.7	523	41	201	50	10050
produção de flocos »	m6	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm																
produção de flocos »	m5	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm																
produção de flocos »	m7	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm																

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta			Expansão do leito					
	m6	m5	m7	oculada / n oculada / n	oculada / n oculada / n	oculada / n oculada / n	Turbidez	pH	uH	Celsius	coagulação	m6	m5	m7	
sem matéria							Bruta								
0	1.2	46	59	36	7.02	7.46	6.91	7.28	6.97	77	18.2	5.58	42	15.6	41
2	1.2	46	59	36	7	6.92	7.06	5.61	6.89	77	19.5	5.36	42	16.6	41
3	1.2	46	59	36	6.53	5.9	7.19	6.59	7	83	19	5.44	42	16.6	41
4	1.2	46	59	36	6.04	6.26	6.82	6.3	6.83	76	19	5.32	42	16.6	41
5	1.2	46	59	36	6.23	6.59	6.34	6.62	6.94	79	19	5.32	42	16.6	41
médias »	1.2	46	59	36	6.6	6.6	6.9	6.5	6.9	78.4	18.9	5.4	42	16.4	41

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

uT	Turbidez da decantada			uH	Cor aparente	
	Bruta	Floculada: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.				Bruta
Bruta	6.62			79		
m6		6.23	6.09	5.37	72	72
m5		6.59	5.76	5.11	74	70
m7		6.34	5.35	5.31	70	67



Planilha Nfloc6 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

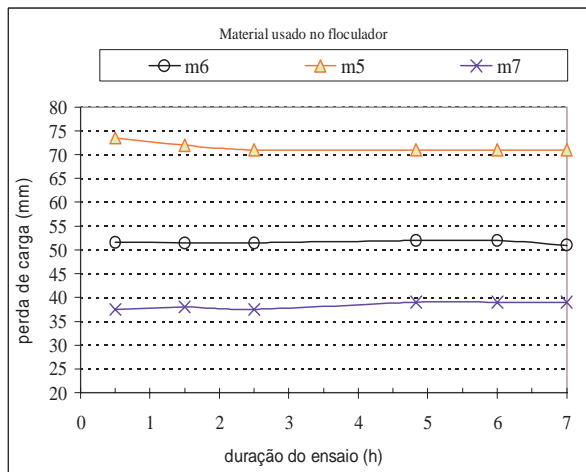
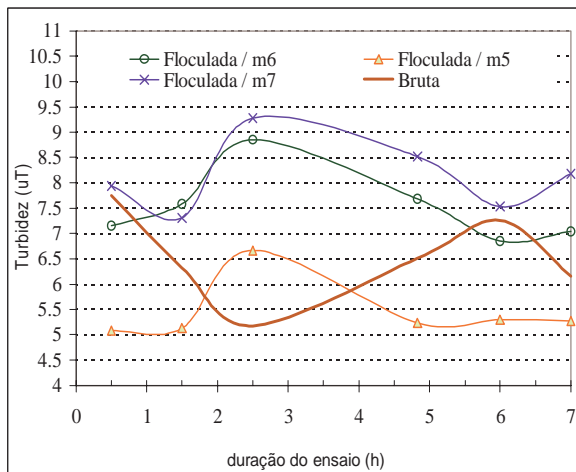
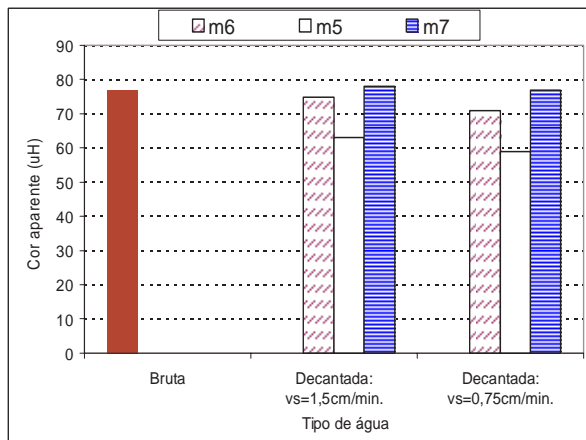
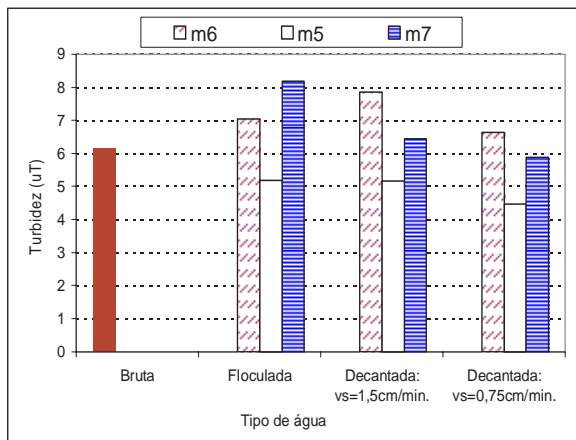
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	09:20	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 6						
Turbidez (uT):	6.57	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.6							
Cor aparente (uH):	81	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	6	Vazão (L/h):	506	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.81	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	17.7	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	4.7	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m6	180	1.055	E	168.7	389	27	219	44	9636
Condutividade(uS/cm):		2	m5	180	1.08	E	168.7	389	16	231	50	11550
Coleta para algas(S/N)	N	3	m7	180	1.04	E	168.7	389	35.5	298	40	11920
produção de flocos »	m6	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm - pouca retenção de flocos na base do floculador										
produção de flocos »	m5	constante - IW = 0,5 a 0,7mm - muita retenção de flocos na bas e do floculador / liberação contínua de flocos retidos										
produção de flocos »	m7	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta			Expansão do leite					
	sem materia	m6	m5	m7	oculada / nocolada / nocolada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur	pH	m6	m5	m7		
0.5	1.2	51.6	73.5	37.5	7.15	5.08	7.94	7.75	6.81	87	17.7	5.27	26.67	16.67	35.56
1.5	1.2	51.5	72	38	7.58	5.13	7.31	6.33	6.77	83	17.6	5.28	26.94	16.44	35.56
2.5	1.2	51.5	71	37.5	8.85	6.67	9.28	5.18	6.75	81	17.6	5.3	26.94	16.44	35.56
4.83	1.2	52	71	39	7.68	5.24	8.52	6.51	6.84	74	16.9	5.33	26.67	16.39	35.56
6	1.2	52	71	39	6.85	5.3	7.53	7.26	6.81	79	17.6	5.33	26.94	16.11	35.56
7	1.2	51	71	39	7.04	5.28	8.18	6.16	6.86	77	17.6	5.33	26.94	16.11	35.56
médias »	1.2	51.6	71.6	38.3	7.5	5.5	8.1	6.5	6.8	80.2	17.5	5.3	26.9	16.4	35.6

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	uT			Bruta	uH	
	Bruta	Floculada: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta		Bruta	Cor aparente
6.16				77		
m6	7.04	7.86	6.63	75	71	
m5	5.18	5.16	4.46	63	59	
m7	8.18	6.44	5.88	78	77	



Planilha Nfloc7 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

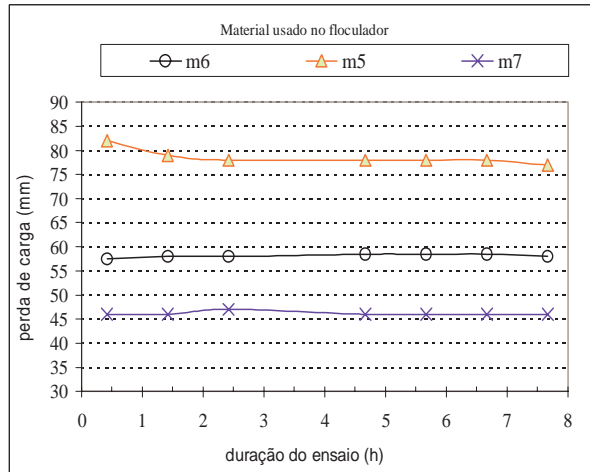
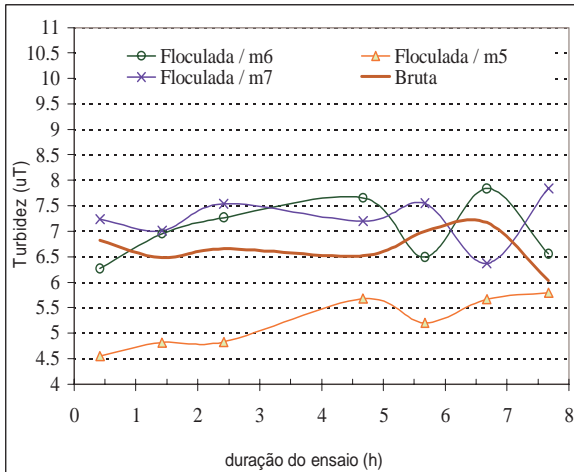
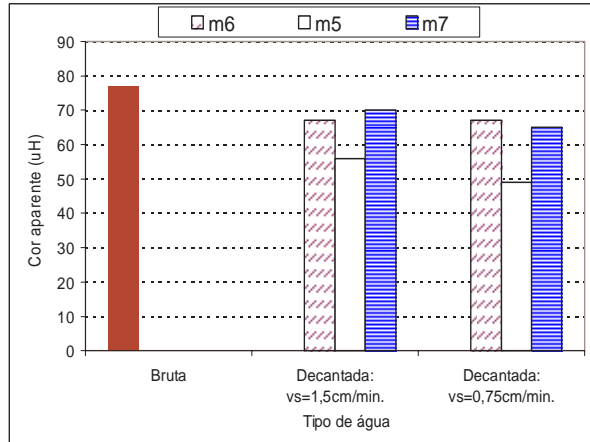
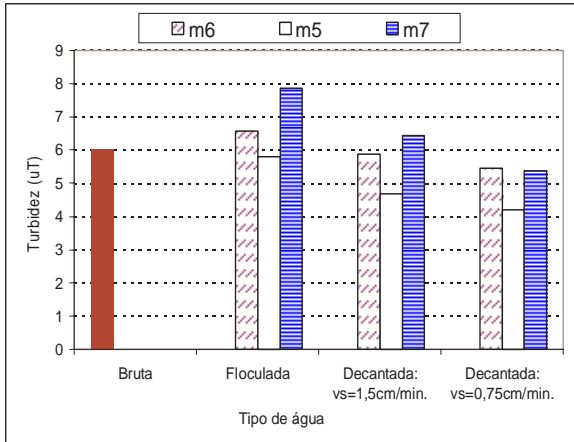
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	10:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A							
Turbidez (uT):	6.66	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16							
Cor aparente (uH):	84	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	10	Vazão (L/h):	506	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.95	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	18	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	5.3	Num.	tipo	cm	g/cm ³	Expand:E	L/h	m ³ /m ² .d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m6	200	1.055	E	168.7	389	28	279	44	12276
Condutividade(uS/cm):		2	m5	200	1.08	E	168.7	389	16	270	48	12960
Coleta para algas(S/N)	N	3	m7	200	1.04	E	168.7	389	35.5	326	41	13366
produção de flocos »	m6	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm - pouca retenção de flocos na base e no meio do floculador										
produção de flocos »	m5	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm - muita retenção de flocos na base e no meio do floculador - efeito filtrante										
produção de flocos »	m7	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta				Expansão do leito				
	sem matéria	m6	m5	m7	oculada / n oculada / n oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur	pH	m6	m5	m7		
0.42	1.2	57.5	82	46	6.27	4.55	7.24	6.82	6.88	82	17.5	5.52	28.4	16.25	35.55
1.42	1.2	58	79	46	6.95	4.82	7.01	6.48	6.94	84	17.6	5.56	28.4	16.15	35.05
2.42	1.2	58	78	47	7.27	4.83	7.54	6.66	6.95	84	18	5.55	28.15	16.25	34.4
4.67	1.2	58.5	78	46	7.66	5.68	7.2	6.52	7.03	83	19.7	5.55	28	16.5	34
5.67	1.2	58.5	78	46	6.49	5.2	7.55	7	7	82	19.7	5.48	28	16	34.25
6.67	1.2	58.5	78	46	7.84	5.67	6.37	7.17	6.98	82	19.5	5.53	28.15	16.15	34.25
7.67	1.2	58	77	46	6.56	5.8	7.85	6.03	7.02	77	19	5.6	28	16.15	35.5
médias »	1.2	58.1	78.6	46.1	7	5.2	7.3	6.7	7	82	18.7	5.5	28.2	16.2	34.7

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Bruta	Cor aparente	
	uT	Floculada: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.			uH	Cor aparente
6.03				77		
m6	6.56	5.87	5.45	m6	67	67
m5	5.8	4.68	4.21	m5	56	49
m7	7.85	6.43	5.37	m7	70	65



Planilha Nfloc8 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

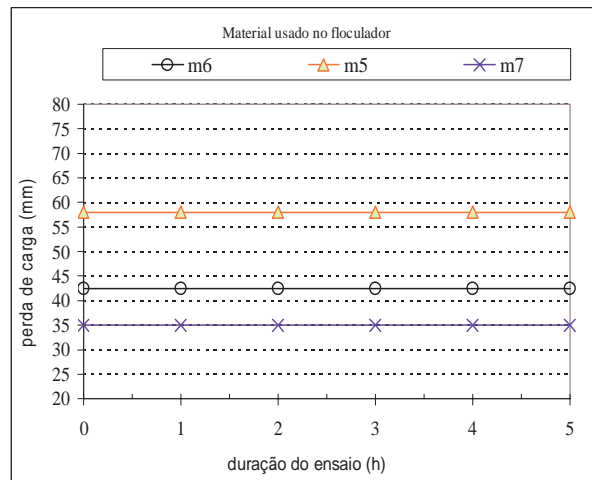
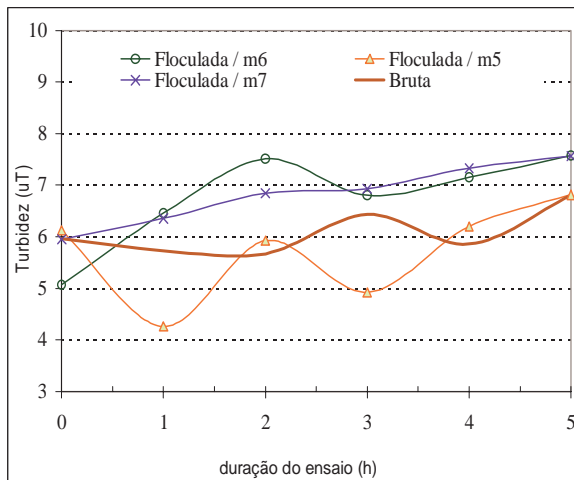
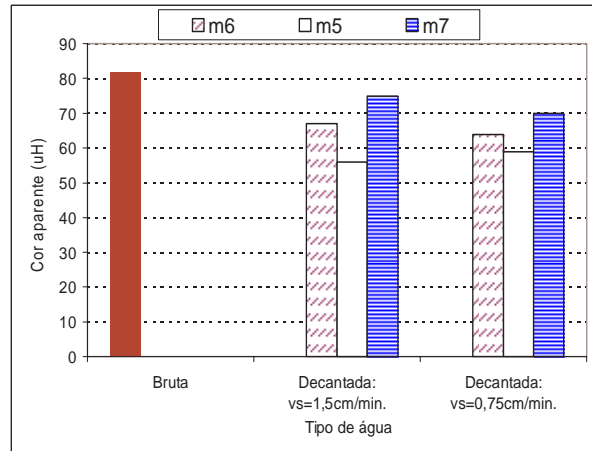
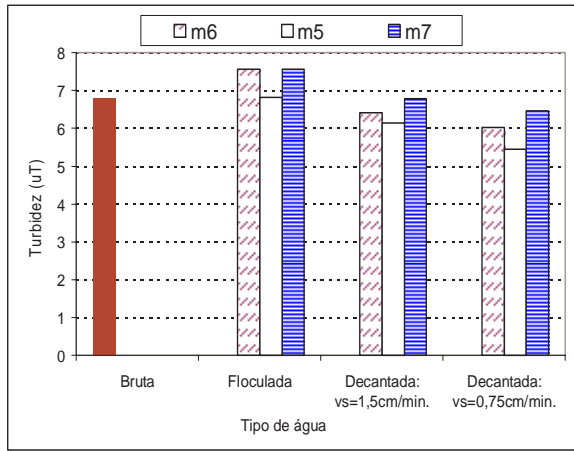
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	18:50	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 8						
Turbidez (uT):	6.43	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.5							
Cor aparente (uH):	81	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	8	Vazão (L/h):	506	Dose de cal(mg/L):								
pH	7.02	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	19.5	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	5.2	Num.	tipo	cm	g/cm ³	Expand:E	L/h	m ³ /m ² .d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m6	150	1.055	E	168.7	389	26.7	210	44	9240
Condutividade(uS/cm):		2	m5	150	1.08	E	168.7	389	16	192	52	9984
Coleta para algas(S/N)	N	3	m7	150	1.04	E	168.7	389	35	250	40	10000
produção de flocos »	m6	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm										
produção de flocos »	m5	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm. Observado períodos com liberação de flocos retidos (maior quantidade porém do mesmo tam)										
produção de flocos »	m7	constante - IW = 0,3 a 0,5 mm										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta				Expansão do leito				
	sem matéria	m6	m5	m7	oculada / n oculada / n oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur	pH	m6	m5	m7		
0	1.2	42.5	58	35	5.06	6.12	5.95	5.96	7.03	73	19.8	5.51	26	7.66	28.66
1	1.2	42.5	58	35	6.45	4.26	6.35	5.73	7.1	78	19.8	5.43	27	12.67	34
2	1.2	42.5	58	35	7.51	5.92	6.84	5.67	7.02	74	19.6	5.42	27	14.67	35
3	1.2	42.5	58	35	6.8	4.92	6.93	6.43	7.02	81	19.5	5.44	26.86	15	35
4	1.2	42.5	58	35	7.15	6.2	7.33	5.86	7.08	86	19.4	5.46	26.86	15.8	35.3
5	1.2	42.5	58	35	7.57	6.81	7.56	6.8	7.01	82	19.4	5.46	26.67	15.8	35
médias »	1.2	42.5	58	35	6.8	5.7	6.8	6.1	7	79	19.6	5.5	26.7	13.6	33.8

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Bruta	Cor aparente	
	Bruta	Floculada: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta		Bruta	da: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.
6.8				82		
m6	7.57	6.42	6.02	m6	67	64
m5	6.81	6.15	5.45	m5	56	59
m7	7.56	6.79	6.46	m7	75	70



Planilha Nfloc9 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

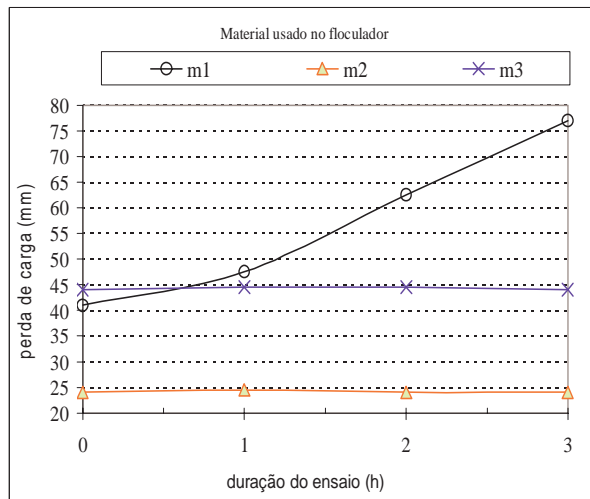
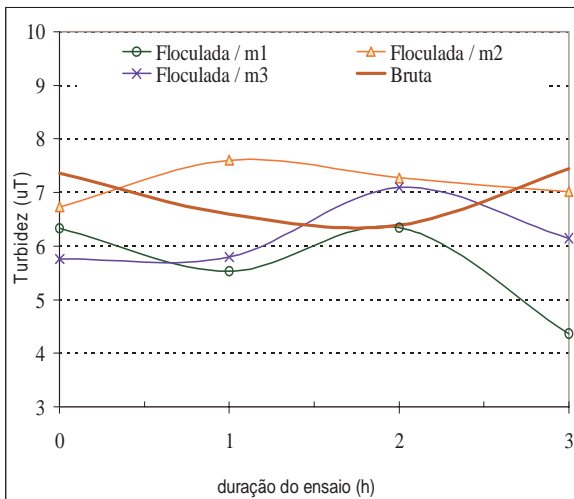
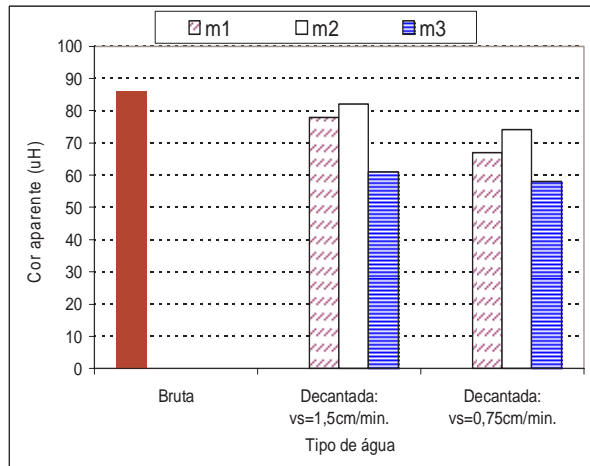
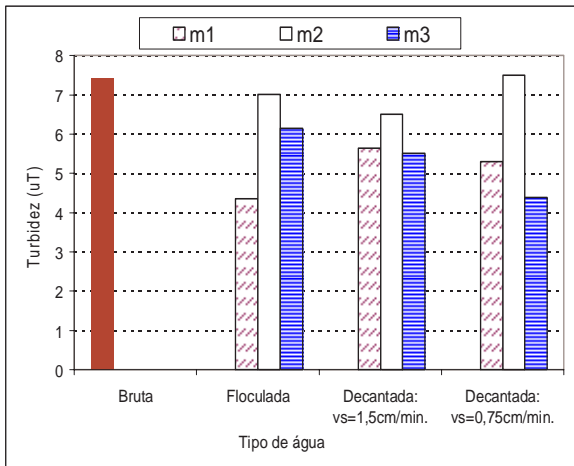
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	14:30	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 9						
Turbidez (uT):	6.59	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.1							
Cor aparente (uH):	82	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	777.5	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.95	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	20.2	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	6	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m1	139	1.07	E	259.2	598	0	76	82	6232
Conductividade(uS/cm):		2	m2	191	1.02	E	259.2	598	27	179	37	6623
Coleta para algas(S/N)	S	3	m3	170	1.043	E	259.2	598	10.6	119	56	6664
produção de flocos »	m1	IW = 0,3 a 0,5 mm. Floculação não constante. Colmatação do leito com variações na expansão e perda de carga.										
produção de flocos »	m2	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos, porém miúdos.										
produção de flocos »	m3	IW = 0,3 a 0,5 mm. Boa produção de flocos, e ocorrência de liberação de flocos retidos e variações na expansão e perda de c										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta			coagulação			Expansão do leito			
	sem materia	m1	m2	m3	oculada / n oculada / n	oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur	pH	m1	m2	m3	
0	1.2	41	24	44	6.33	6.73	5.76	7.36	6.91	82	19.5	5.51	0	28.9	5.88
1	1.2	47.5	24.5	44.5	5.53	7.6	5.79	6.59	6.95	82	20.2	5.49	0	29.06	8.88
2	1.2	62.5	24	44.5	6.34	7.27	7.09	6.39		82		5.43	0.72	29.06	11
3	1.2	77	24	44	4.36	7.01	6.14	7.44	6.83	86	23	5.39	6.47	27.07	10.59
médias »	1.2	57	24.1	44.3	5.6	7.2	6.2	6.9	6.9	83	20.9	5.5	1.8	28.5	9.1

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Bruta	Cor aparente	
	uT	Floculada			uH	Cor aparente
7.44	vs=1,5da: vs=0,75cm/min.			86	vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	
m1	4.36	5.64	5.3	m1	78	67
m2	7.01	6.51	7.5	m2	82	74
m3	6.14	5.51	4.39	m3	61	58



Planilha Nfloc10 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular												
Hora de coleta:	19:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 10												
Turbidez (uT):	7.53	Gradiente (1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.1													
Cor aparente (uH):	80	Voluma de a câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):														
Cor verdadeira (uH):	6	Vazão (L/h):	896.1	Dose de cal(mg/L):														
pH	6.5	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO																
Temperatura (Celsius)	21	Floculador	Material	Espessura	Densidade							Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	6	Num.	tipo	cm	g/cm3							Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m1	139	1.07							E	298.7	689	2.7	71	88	6248
Condutividade(uS/cm):		2	m2	191	1.02							E	298.7	689	38	182	36	6552
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	170	1.043							E	298.7	689	13	108	63	6804
produção de flocos »	m1	IW = 0,3 a 0,5 mm. Floculação não constante. Colmatção do leito com variações na expansão e perda de carga.																
produção de flocos »	m2	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos, porém miúdos.																
produção de flocos »	m3	IW = 0,3 a 0,5 mm. Boa produção de flocos, e ocorrência de liberação de flocos retidos e variações na expansão e perda de ca																

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

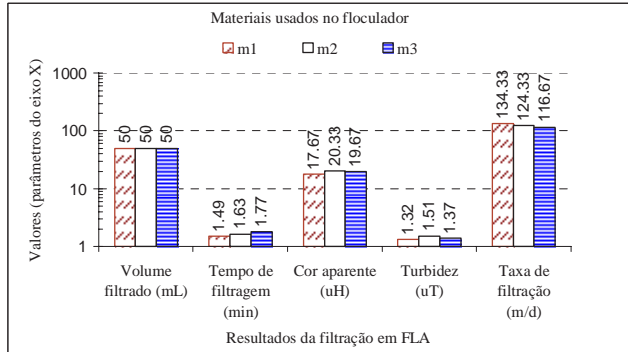
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta			Expansão do leito					
	sem materia	m1	m2	m3	oculada / n oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur:	pH	m1	m2	m3	
0	1.2	54	26	44	7.38	7.04	6.83	80	21.2	5.26	1.8	37.7	11.47	
1	1.2	67	23	43	6.09	7.37	7.3	7.56	6.86	80	21	5.28	3.24	37.7
2	1.2	62	23	43	5.54	8.21	6.27	7.03	6.69	84	21	5.38	6.12	37.7
3	1.2	59	23.5	43.5	6.1	7.58	6.98	6.48	7	79	20.1	5.52	2.66	38.05
4	1.2	59.5	23.5	43	7.31	8.15	6.86	6.55	7.03	79	20.6	5.52	4.68	38.22
médias »	1.2	60.3	23.8	43.3	6.5	7.7	6.8	7	6.8	80.4	20.8	5.4	3.7	37.9

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtragem (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	1.63	17	1.35	122
m1(2)	50	1.39	18	1.26	143
m1(3)	50	1.44	18	1.34	138
m2(1)	50	1.95	19	1.31	102
m2(2)	50	1.53	20	1.6	130
m2(3)	50	1.41	22	1.62	141
m3(1)	50	2.21	20	1.27	90
m3(2)	50	1.69	19	1.6	118
m3(3)	50	1.4	20	1.24	142

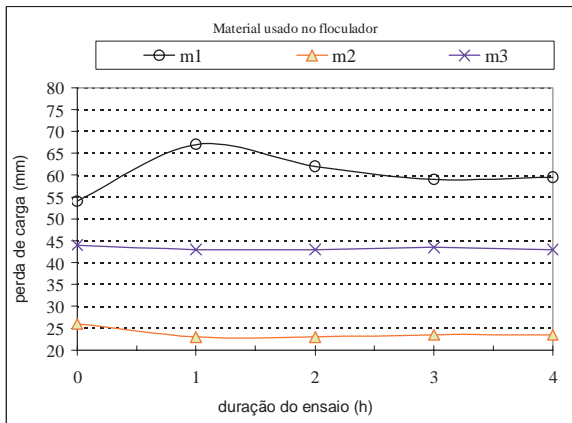
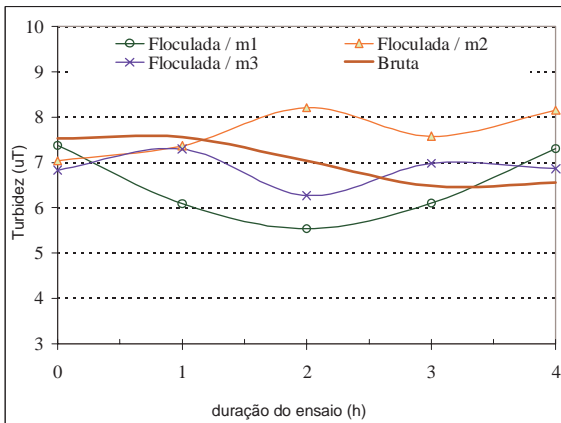
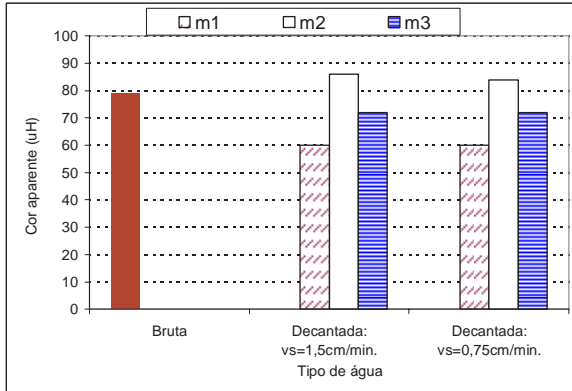
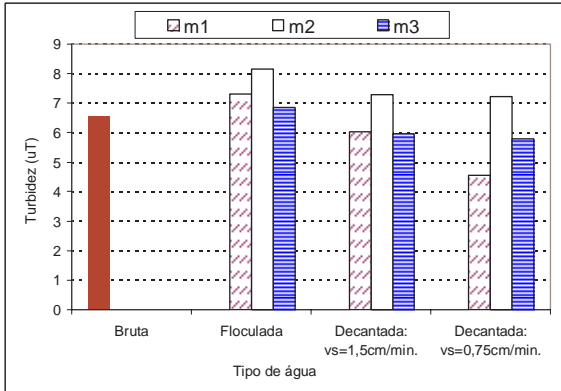
Volume filtrado de filtragem aparente (turbidez uT) e taxa de filtração (m/d)

	m1	m2	m3	MÉDIAS
Volume filtrado (mL)	50	50	50	
Tempo de filtragem (min)	1.49	1.63	1.77	1.63
Cor aparente (uH)	17.67	20.33	19.67	19.22
Turbidez (uT)	1.32	1.51	1.37	1.4
Taxa de filtração (m/d)	134.33	124.33	116.67	125



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Bruta	Cor aparente	
	uT	uH	uH		uH	Cor aparente
Bruta	6.55			79		
m1	7.31	6.03	4.56	60	60	
m2	8.15	7.28	7.22	86	84	
m3	6.86	5.96	5.8	72	72	



Planilha Nfloc11 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora de coleta:	06:25	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 11						
Turbidez (uT):	6.65	Gradiente (1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16							
Cor aparente (uH):	89	Voluma de a câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	8	Vazão (L/h):	1216.3	Dose de cal(mg/L):								
pH	7.1	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	21.5	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	5.5	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):	33	1	m1	139	1.07	E	405.43	936	8.3	59	107	6313
Condutividade(uS/cm)	66	2	m2	150	1.02	E	405.43	936	64.5	142	37	5254
Coleta para algas(S/N)	S	3	m3	170	1.043	E	405.43	936	22.2	94	74	6956
produção de flocos »	m1	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos, mas houve períodos de retenção de flocos com liberação posterior.										
produção de flocos »	m2	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante. Flocos mais discretizados comparado aos outros dois floculadores										
produção de flocos »	m3	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

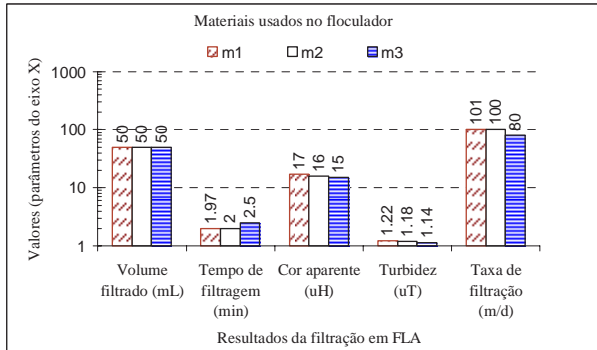
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta					Expansão do leito			
	sem materia	m1	m2	m3	oculada / n oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur:	pH	m1	m2	m3	
0	1.2	56	22	43	6.77	7	7.18	6.65	89	21.5	5.45	6.83	7.19	25.2
1	1.2	57	21	43	7.76	7.52	7.52	6.51	7.11	90	5.43	7.19	54.8	25.27
2	1.2	56	20	42	8.06	7.32	7.24	6.4	7.19	89	21	5.58	7.9	56.35
3	1.2	56	21	43	8.6	7.59	7.4	6.43	7.05	92	21	5.58	8.27	64.53
4	1.2	57	21	43	6.7	7.6	7.97	6.28	7.25	78	21	5.54	8.27	64.46
médias »	1.2	56.4	21	42.8	7.6	7.4	7.5	6.5	7.1	87.6	21.2	5.5	7.7	49.5

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtragem (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	1.97	17	1.22	101
m1(2)					
m1(3)					
m2(1)	50	2	16	1.18	100
m2(2)					
m2(3)					
m3(1)	50	2.5	15	1.14	80
m3(2)					
m3(3)					

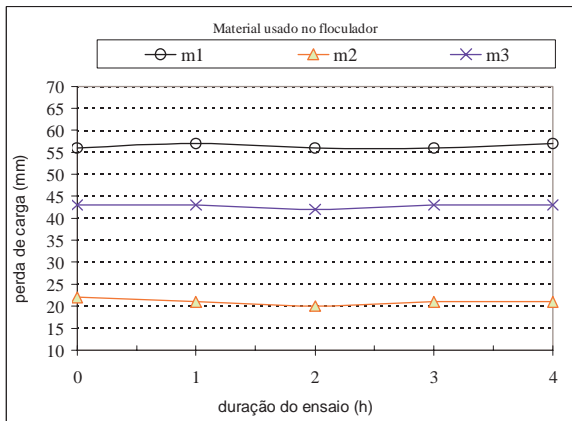
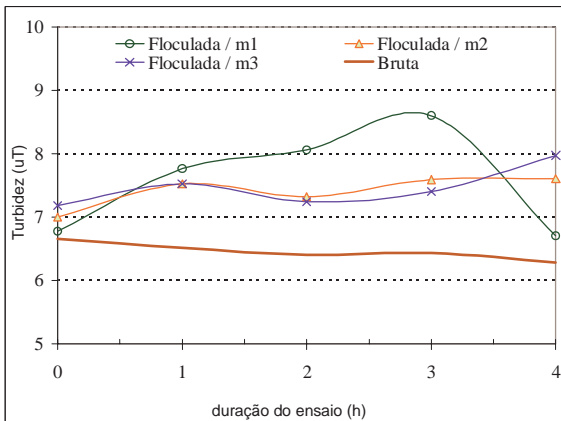
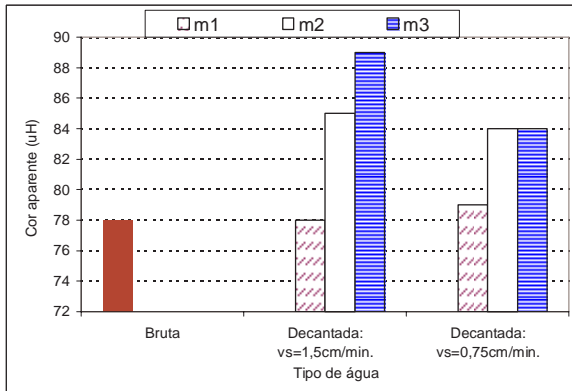
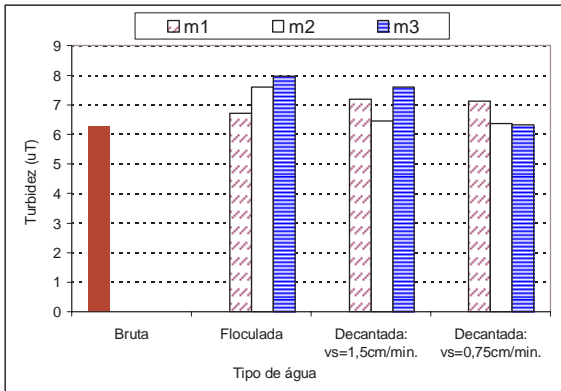
Volume filtrado de filtragem aparente (turbidez uT/le filtração m/d)

	m1	m2	m3
MÉDIAS	50	50	50
MÉDIAS	1.97	2	2.5
MÉDIAS	17	16	15
MÉDIAS	1.22	1.18	1.14
MÉDIAS	101	100	80



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

	uT Turbidez da decantada			uH Cor aparente		
	Bruta	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	Bruta	Decantada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta
Bruta	6.28		78			
m1		6.7	78	79		
m2		7.6	85	84		
m3		7.97	89	84		



Planilha Nfloc12 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação	
Hora de coleta:	09:55	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A
Turbidez (uT):	6.03	Gradiente (1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16
Cor aparente (uH):	80	Voluma de a câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):	
Cor verdadeira (uH):	6	Vazão (L/h):	1329	Dose de cal(mg/L):	
pH	6.77	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO			
Temperatura (Celsius)	20.9	Floculador	Material	Espessura	Densidade
Alcalinidade (mg/L):	7.4	Num.	tipo	cm	g/cm3
S.T.D (mg/L):		1	m1	139	1.07
Condutividade(uS/cm):		2	m2	150	1.02
Coleta para algas(S/N)		3	m3	170	1.043
produção de flocos »	m1	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.			
produção de flocos »	m2	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção não constante de flocos (intervalos com maior produção e intervalos com menor produção)			
produção de flocos »	m3	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.			

Floculação em meio granular

Ensaio: **Nfloc 12**

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

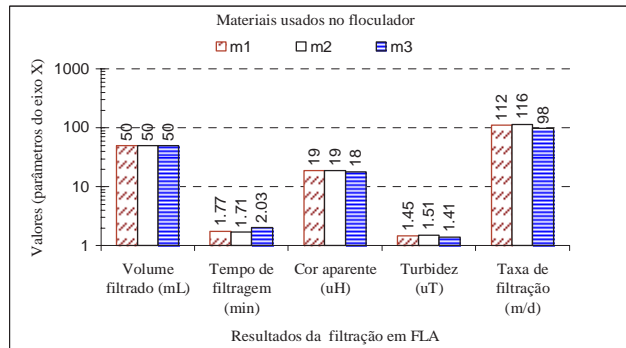
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta				coagulação pH	Expansão do leito				
	sem materia	m1	m2	m3	oculada / n	oculada / n	Bruta	pH	uH		Celsius	m1	m2	m3	
0	1.2	47	21	44.5	6.82	7.29	7.46	6.03	6.77	80	20.9	5.26	10.5	70.26	27.2
1	1.2	57.5	22.5	43.5	7.84	8.14	8.29	6.45	6.87	92	21	5.37	10.5	70.4	26.8
2	1.2	57.5	23	44	7.66	8.47	7.53	6.35	6.65	87	20.9	5.25	10.43	69.67	26.8
3	1.2	57	23	44	8.36	7.35	7.92	7.69	6.74	83	20.8	5.36	10.43	69.8	26.76
4	1.2	57	22.5	44	8.42	8.85	7.98	6.6	6.74	85	21	5.35	10.43	69.8	26.76
5	1.2	57.5	22.5	44	8.48	7.62	7.89	7.52	6.71	88	21	5.33	10.43	69.8	27.18
6	1.2	57	22	43.5	8.01	8.64	7.79	6.8	6.79	84	20.9	5.36	10.43	69.8	27.47
7	1.2	57	22	43.5	8.69	8.06	7.15	7.39	6.7	80	20.6	5.37	10.43	69.8	27.18
médias »	1.2	55.9	22.3	43.9	8	8.1	7.8	6.9	6.7	84.9	20.9	5.3	10.4	69.9	27

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado mL	Tempo de filtragem min	Cor aparente uH	Turbidez uT	Taxa de filtração m/d
m1(1)	50	1.77	19	1.45	112
m1(2)					
m1(3)					
m2(1)	50	1.71	19	1.51	116
m2(2)					
m2(3)					
m3(1)	50	2.03	18	1.41	98
m3(2)					
m3(3)					

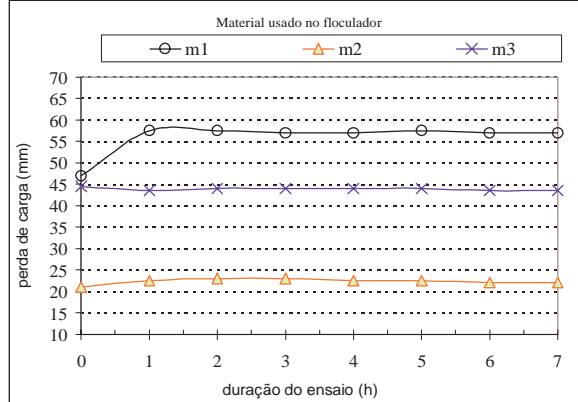
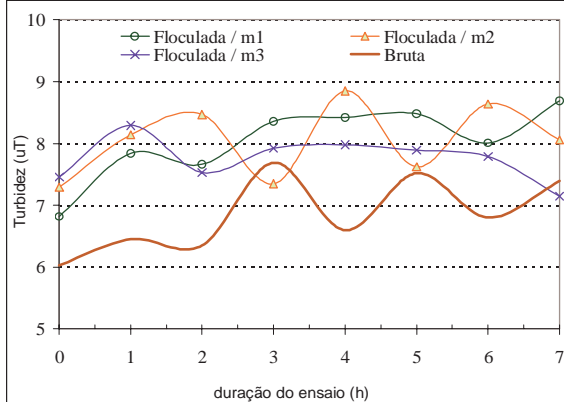
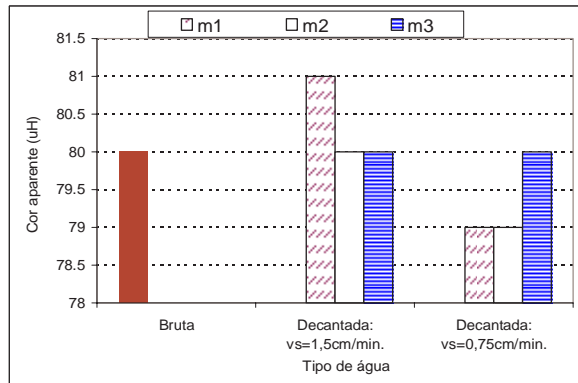
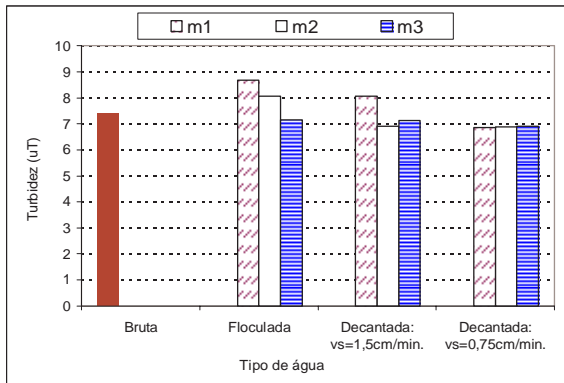
Volume filtrado de filtragem aparente (turbidez (uH) e filtração (m/d))

	m1	50	1.77	19	1.45	112	MÉDIAS
m2	50	1.71	19	1.51	116	MÉDIAS	
m3	50	2.03	18	1.41	98	MÉDIAS	



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Bruta	Cor aparente	
	uT	uH	uH		Bruta	uH
Bruta	7.39			80		
m1		8.69	8.06	6.85	81	79
m2		8.06	6.92	6.88	80	79
m3		7.15	7.13	6.9	80	80



Planilha Nfloc13 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação	
Hora de coleta:	07:20	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A
Turbidez (uT):	6.17	Gradiente (1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.2
Cor aparente (uH):	90	Voluma da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):	
Cor verdadeira (uH):	8	Vazão (L/h):	1443.6	Dose de cal(mg/L):	
pH	6.52	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO			
Temperatura (Celsius)	19.5	Floculador	Material	Espessura	Densidade
Alcalinidade (mg/L):		Num.	tipo	cm	g/cm ³
S.T.D (mg/L):		1	m1	139	1.07
Conductividade(uS/cm):		2	m2	150	1.02
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	170	1.043
produção de flocos »	m1 IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.				
produção de flocos »	m2 IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.				
produção de flocos »	m3 IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.				

Floculação em meio granular

Ensaio: **Nfloc 13**

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

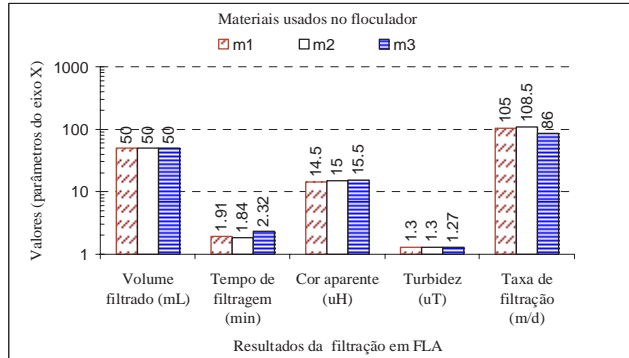
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta				Expansão do leito					
	sem materia	m1	m3	oculada / rioculada / noculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur	pH	m1	m2	m3			
0	1.2	58	21	42	6.92	6.53	6.47	6.32	6.66	87	19.9	5.5	14.24	83.7	33.7
1	1.2	57	21	42.5	7.53	7.6	7.07	6.24	6.68	90	20.4	6.68	14.03	84.4	33.88
2	1.2	57	20	43	7.89	8.08	7.94	7.11	6.75	88	20.2	5.35	14.24	83.7	33
3	1.2	57	20.5	42.5	7.24	7.12	8.21	6.18	6.18	89	20.3	5.31	13.09	83.73	33.94
4	1.2	57	20	42	7.76	7.32	7.72	6.37	6.73	77	21	5.31	13.67	82.8	33.35
médias »	1.2	57.2	20.5	42.4	7.5	7.3	7.5	6.4	6.6	86.2	20.4	5.6	13.9	83.7	33.6

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtragem (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	2.11	17	1.12	94
m1(2)	50	1.71	12	1.47	116
m1(3)					
m2(1)	50	1.85	16	1.29	108
m2(2)	50	1.83	14	1.31	109
m2(3)					
m3(1)	50	2.45	19	1.32	81
m3(2)	50	2.18	12	1.21	91
m3(3)					

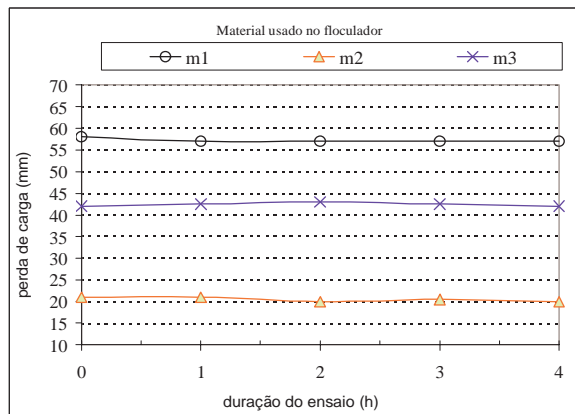
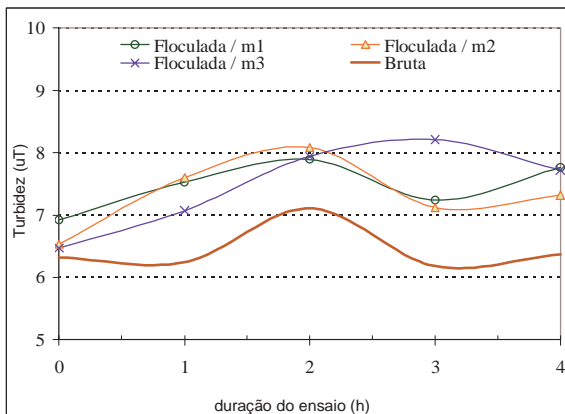
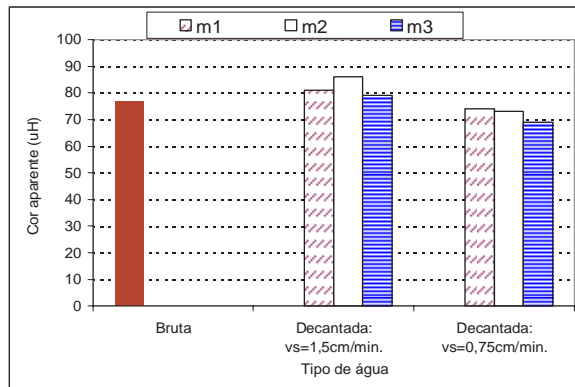
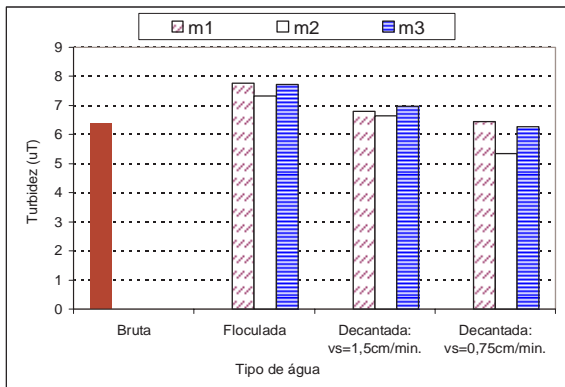
Volume filtrado de filtragem aparente (turbidez (uT) de filtração (m/d))

	m1	50	1.91	14.5	1.3	105	MÉDIAS
m2	50	1.84	15	1.3	108.5	MÉDIAS	
m3	50	2.32	15.5	1.27	86	MÉDIAS	



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Cor aparente		
	Bruta	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	Bruta	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta
m1	6.37	7.76	6.78	6.43	81	74
m2		7.32	6.64	5.35	86	73
m3		7.72	6.97	6.26	79	69



Planilha Nfloc14 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora de coleta:	16:30	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 14						
Turbidez (uT):	7.4	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16							
Cor aparente (uH):	85	Voluma da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	1797.6	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.8	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	21	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	6.5	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):	36	1	m1	139	1.07	E	599.2	1383	28	57	110	6270
Condutividade(uS/cm)	72	2	m2	120	1.02	E	599.2	1383	119.6	118	40	4720
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	170	1.043	E	599.2	1383	58.8	103	68	7004
produção de flocos »	m1	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.										
produção de flocos »	m2	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.										
produção de flocos »	m3	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

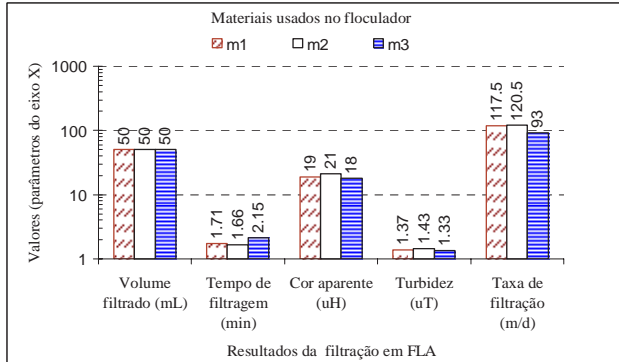
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta				coagulação		Expansão do leito			
	sem materia	m1	m2	m3	oculada / noculada / noculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur	pH	m1	m2	m3		
0	1.2	57	22	42	7.74	8.51	8.29	7.52	6.8	85	21.1	5.64	28.06	117.67	58.35
1	1.2	57	22	43	7.7	7.33	8.14	7.4	6.8	85	21	5.81	28.06	119.33	58.65
2	1.2	57	20	43	8	8.01	7.15	6.83	6.88	97	21	5.45	27.7	119.58	58.47
3	1.2	57	20	43	8.95	8.42	8.54	7.27	6.82	90	20.6	5.46	28.06	119.58	58.82
4	1.2	57	19	43	8.28	8.82	8.25	6.3	6.86	93	20	5.45	27.7	119.58	58.82
médias »	1.2	57	20.6	42.8	8.1	8.2	8.1	7.1	6.8	90	20.7	5.6	27.9	119.1	58.6

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtragem (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	1.83	19	1.39	109
m1(2)	50	1.58	19	1.35	126
m1(3)					
m2(1)	50	1.56	23	1.52	128
m2(2)	50	1.76	19	1.33	113
m2(3)					
m3(1)	50	2.12	18	1.33	94
m3(2)	50	2.17	18	1.32	92
m3(3)					

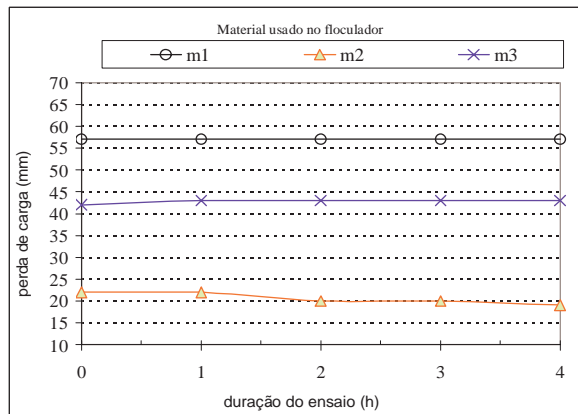
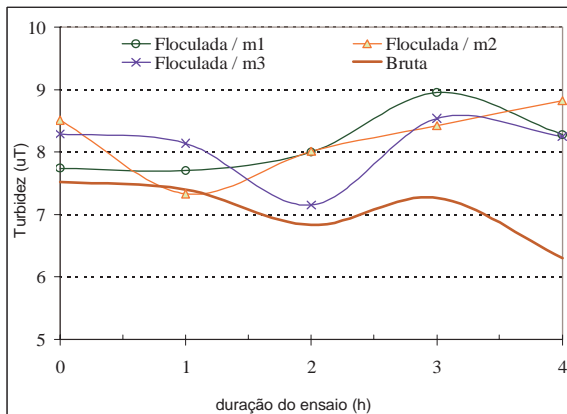
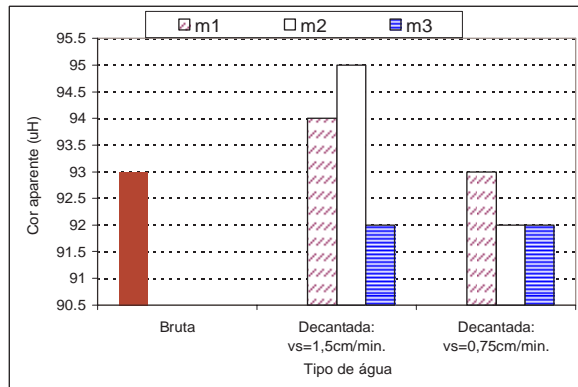
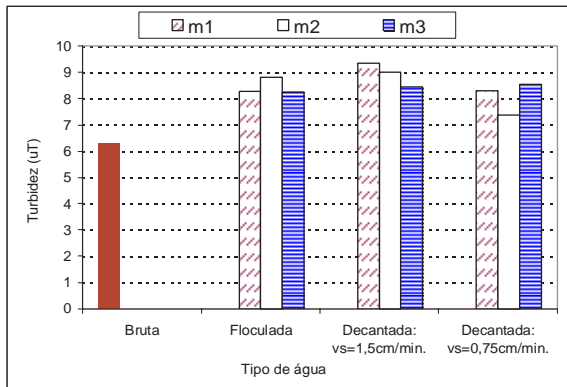
Volume filtrado de filtragem aparente (turbidez uT de filtração (m/d))

	m1	50	1.71	19	1.37	117.5	MÉDIAS
m2	50	1.66	21	1.43	120.5	MÉDIAS	
m3	50	2.15	18	1.33	93	MÉDIAS	



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	uT	Turbidez da decantada			uH	Cor aparente
	Bruta	Floculada	da: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	da: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	da: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.
m1	6.3	8.28	9.34	8.3	93	94 / 93
m2		8.82	9	7.39		95 / 92
m3		8.25	8.44	8.55		92 / 92



Planilha Nfloc15 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação	
Hora de coleta:	14:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A
Turbidez (uT):	6.7	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.8
Cor aparente (uH):	83	Voluma da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):	
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	1797.6	Dose de cal(mg/L):	
pH	7.1	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO			
Temperatura (Celsius)	19	Floculador	Material	Espessura	Densidade
Alcalinidade (mg/L):	7.1	Num.	tipo	cm	g/cm3
S.T.D (mg/L):		1	m1	139	1.07
Conductividade(uS/cm):		2	m4	94.5	1.39
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	170	1.043
produção de flocos »	m1	IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção não constante de flocos.			
produção de flocos »	m4	IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos. Liberação de flocos retidos. Colmatação na base do leito causou expansão.			
produção de flocos »	m3	IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção não constante de flocos.			

Floculação em meio granular

Ensaio: **Nfloc 15**

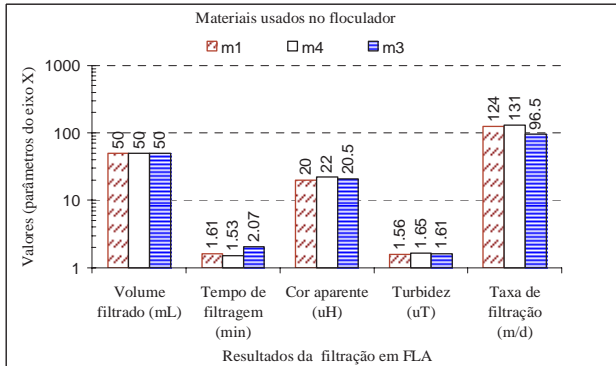
ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Dados da água bruta				coagulação	Expansão do leito						
	sem materia	m1	m4	Turbidez da água floculada (uT)	Turbidez Bruta	pH	uH		Celsius	m1	m4	m3			
0	1.2	55.5	78.5	42	7.35	6.94	7.38	6.63	7.03	82	18.4	5.68	29.86	6.88	54.59
1	1.2	56	77	41.5	6.54	7.35	7.48	6.21	7.16	80	18.6	5.77	29.86	9.52	54.29
2	1.2	56	77	40.5	6.62	8.23	6.25	7.55	7.17	85	19	5.76	29.86	9.74	54.12
3	1.2	56	83	41	8.69	7.59	8.27	6.98	7.17	83	19.2	5.74	29.49	9.52	59.24
4	1.2	56	83	41.5	7.97	7.92	7.22	7.09	7.51	91	19.2	5.7	29.86	9.74	59
médias »	1.2	55.9	79.7	41.3	7.4	7.6	7.3	6.9	7.2	84.2	18.9	5.7	29.8	9.1	56.2

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

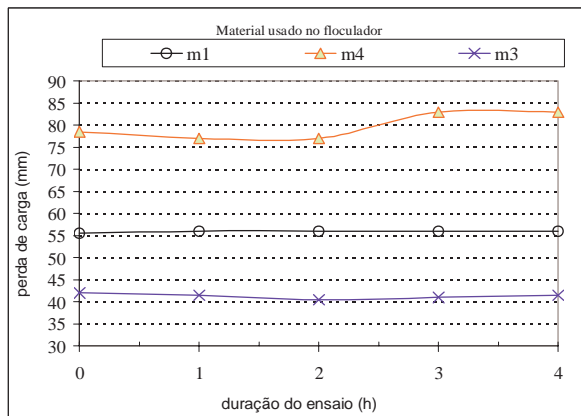
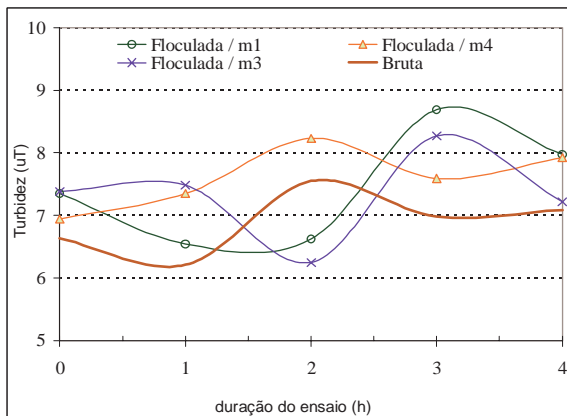
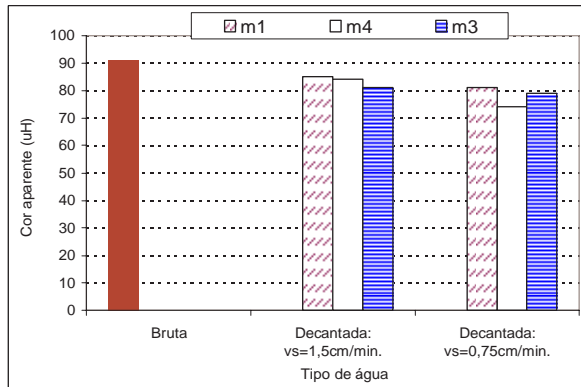
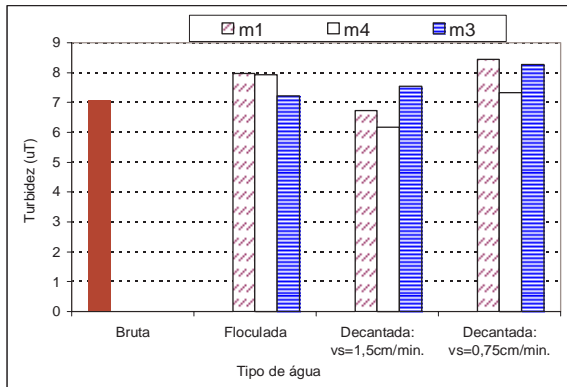
material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtragem (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	1.63	19	1.47	122
m1(2)	50	1.58	21	1.64	126
m1(3)					
m2(1)	50	1.47	22	1.54	136
m2(2)	50	1.58	22	1.76	126
m2(3)					
m3(1)	50	2.1	20	1.6	95
m3(2)	50	2.03	21	1.62	98
m3(3)					

	Volume filtrado	Tempo de filtragem	Cor aparente	Turbidez	Taxa de filtração	MÉDIAS
m1	50	1.61	20	1.56	124	MÉDIAS
m4	50	1.53	22	1.65	131	MÉDIAS
m3	50	2.07	20.5	1.61	96.5	MÉDIAS



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	uT	Turbidez da decantada			uH	Bruta
	Bruta	Floculada: vs=1,5da	vs=0,75cm/min.	Bruta	Bruta	
m1	7.09	7.97	6.72	8.45	91	85
m4		7.92	6.18	7.33		84
m3		7.22	7.54	8.26		81



Planilha Nfloc16 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação	
Hora de coleta:	15:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A
Turbidez (uT):	8.83	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.8
Cor aparente (uH):	91	Voluma da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):	
Cor verdadeira (uH):	8	Vazão (L/h):	1443.6	Dose de cal(mg/L):	
pH	6.85	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO			
Temperatura (Celsius)	19.8	Floculador	Material	Espessura	Densidade
Alcalinidade (mg/L):	7.5	Num.	tipo	cm	g/cm3
S.T.D (mg/L):		1	m1	139	1.07
Conductividade(uS/cm):		2	m4	94.5	1.39
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	170	1.043
produção de flocos »	m1	IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos.			
produção de flocos »	m4	IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos. Liberação de flocos retidos. Colmatação na base do leito causou expansão.			
produção de flocos »	m3	IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos.			

Floculação em meio granular

Ensaio: **Nfloc 16**

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

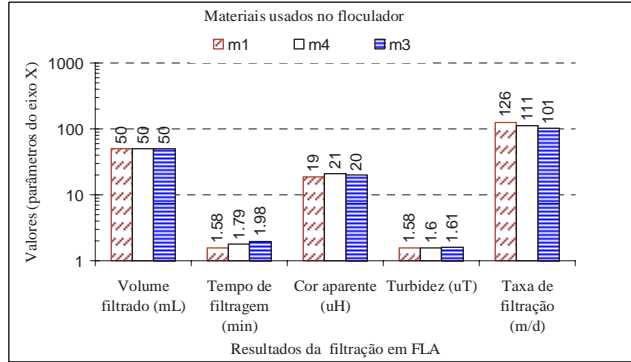
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Dados da água bruta				coagulação		Expansão do leito				
	sem materia	m1	m3	Turbidez da água floculada (uT)	Turbidez Bruta	pH	uH	Celsius	pH	m1	m4	m3		
0	1.2	56	85	7.21	6.83	7.72	8.83	6.84	91	19.8	5.73	16.55	3.17	40.12
1	1.2	56	77	6.73	7.8	7.23	6.12	7.26	89	19.8	5.47	16.9	6.9	40.12
2	1.2	56	76.5	43	8.5	6.92	7.84	6.59	7.21	19.5	5.34	17.27	7.2	40.7
3	1.2	56	77	41	7.19	8.32	7.12	6.29	7.2	80	5.4	16.9	7.3	40.6
4	1.2	56	77	41	7.56	8.1	7.22	6.32	7.21	82	5.43	17.62	7.41	40
médias »	1.2	56	78.5	42.1	7.4	7.6	7.4	6.8	7.1	84.2	5.5	17	6.4	40.3

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtragem (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	1.58	19	1.58	126
m1(2)					
m1(3)					
m2(1)	50	1.79	21	1.6	111
m2(2)					
m2(3)					
m3(1)	50	1.98	20	1.61	101
m3(2)					
m3(3)					

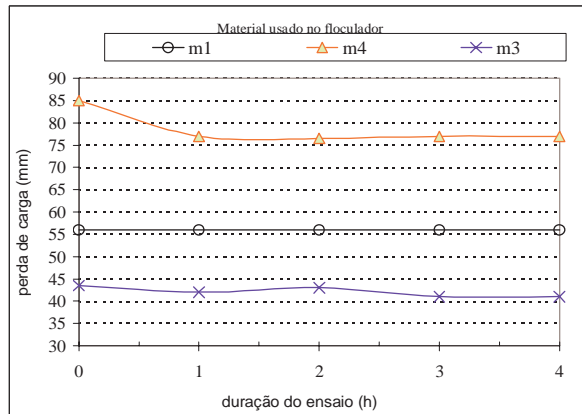
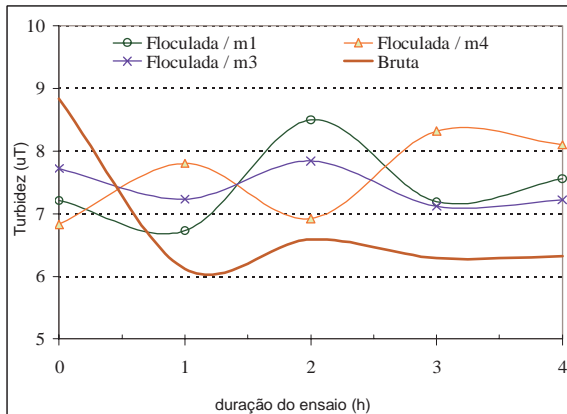
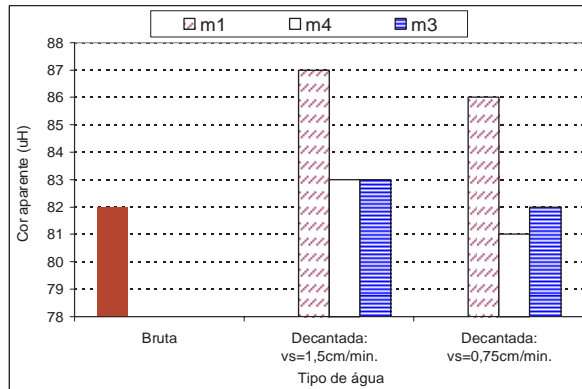
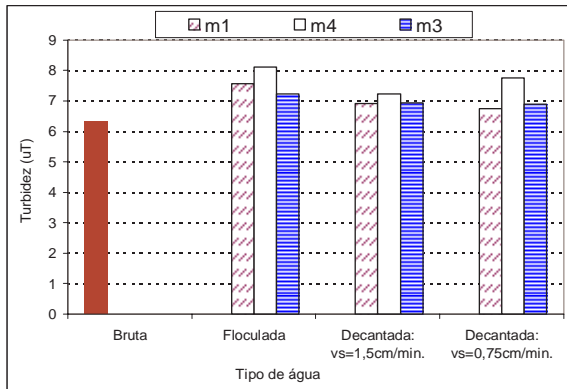
Volume filtrado de filtrager aparente (turbidez uT de filtração (m/d)

	m1	m4	m3
MÉDIAS	126	111	101



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	uT	Turbidez da decantada			Bruta	uH	Cor aparente
	Bruta	Floculada	vs=1,5da	vs=0,75cm/min.		Bruta	
m1	6.32	7.56	6.91	6.74	82	87	86
m4		8.1	7.23	7.76		83	81
m3		7.22	6.94	6.9		83	82



Planilha Nfloc17 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação	
Hora da coleta:	08:15	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A
Turbidez (uT):	6.64	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.3
Cor aparente (uH):	92	Voluma da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):	
Cor verdadeira (uH):	9	Vazão (L/h):	1328.9	Dose de cal(mg/L):	
pH	6.99	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO			
Temperatura (Celsius)	19	Floculador	Material	Espessura	Densidade
Alcalinidade (mg/L):	5.44	Num.	tipo	cm	g/cm3
S.T.D (mg/L):		1	m1	139	1.07
Conductividade(uS/cm):		2	m4	94.5	1.39
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	170	1.043
produção de flocos »	m1 IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos.				
produção de flocos »	m4 IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos. Liberação de flocos retidos. Colmatação na base do leito causou expansão.				
produção de flocos »	m3 IW = 0.3 a 0.5 mm. Produção não constante de flocos.				

Floculação em meio granular

Ensaio: **Nfloc 17**

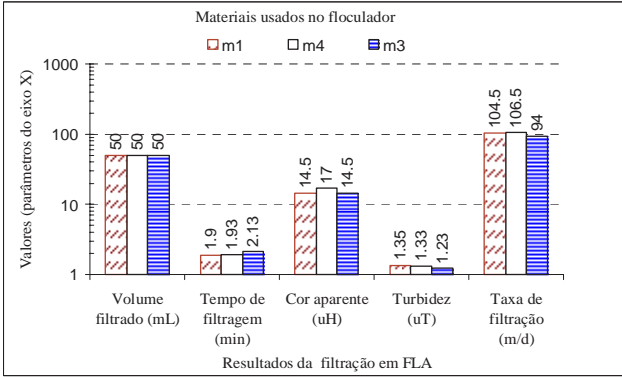
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta				coagulação	Expansão do leito				
	sem materia	m1	m3	oculada / noculada	oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur		m1	m4	m3		
0	1.2	57.5	85	41	7.86	6.89	6.77	6.93	7.02	96	16	5.6	12.3	3.7	29.7
1	1.2	57	82	41	7.04	6.27	6.41	6.43	7	83	17	5.65	12	5.82	29.7
2	1.2	57.5	79	42	7.56	6.79	6.84	6.2	7.11	84	18.1	5.57	11.87	7.4	29.7
3	1.2	57.5	82	42	6.88	5.96	6.38	7.03	7.08	88	19	5.6	11.87	8.46	28.9
4	1.2	57	79	42	8.01	7.7	7.02	7.01	7.15	83	19.5	5.6	11.87	8.5	28.23
médias »	1.2	57.3	81.4	41.6	7.5	6.7	6.7	6.7	7.1	86.8	17.9	5.6	12	6.8	29.2

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtração (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	1.87	14	1.32	106
m1(2)	50	1.93	15	1.37	103
m1(3)					
m2(1)	50	2.25	16	1.27	88
m2(2)	50	1.6	18	1.38	125
m2(3)					
m3(1)	50	2.33	12	1.19	85
m3(2)	50	1.93	17	1.27	103
m3(3)					

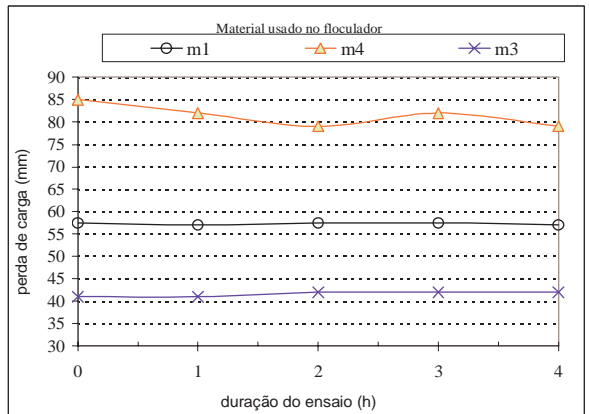
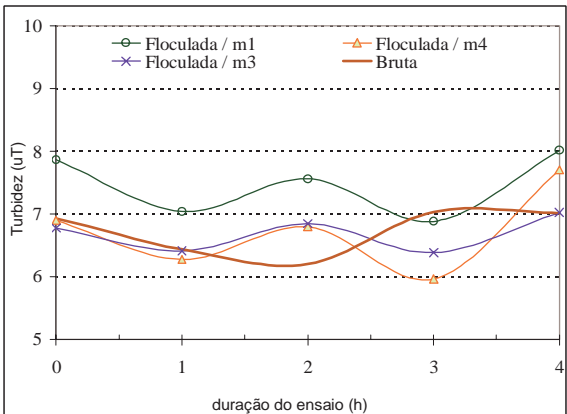
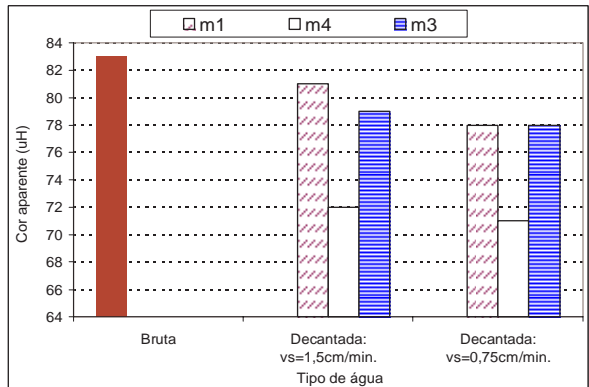
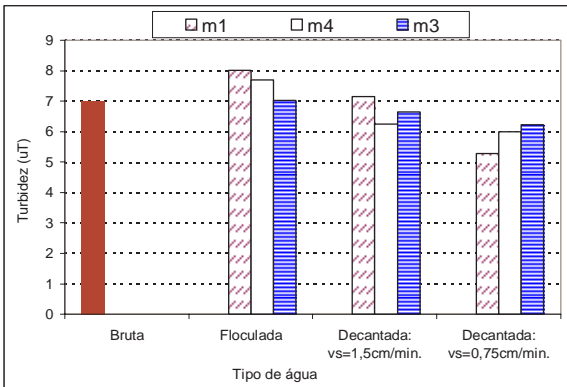
Volume filtrado de filtragem aparente (turbidez (uT) de filtração (m/d))

	m1	50	1.9	14.5	1.35	104.5
m4	50	1.93	17	1.33	106.5	MÉDIAS
m3	50	2.13	14.5	1.23	94	MÉDIAS



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Bruta	Cor aparente		
	uT	uH	uT		uH	uT	uH
m1	7.01	8.01	7.15	5.28	83	81	78
m4		7.7	6.25	5.99		72	71
m3		7.02	6.64	6.22		79	78



Planilha Nfloc18 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora de coleta:	08:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 18						
Turbidez (uT):	6.58	Gradiente (l/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.5							
Cor aparente (uH):	87	Voluma de a câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	1797.6	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.82	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	17.7	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	7	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m1	120	1.07	7.72	599.2	1383	29.4	50	106	5300
Condutividade(uS/cm):		2	m4	94.5	1.39	E	599.2	1383	11	29	163	4727
Coleta para algas(S/N)		3	m3	150	1.043	E	599.2	1383	57	89	69	6141
produção de flocos »	m1	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.										
produção de flocos »	m4	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.										
produção de flocos »	m3	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

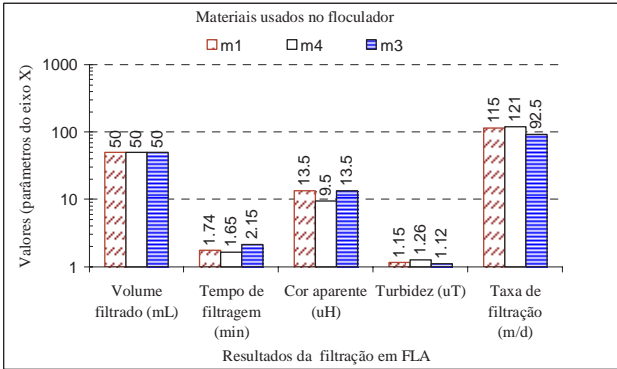
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta				Expansão do leito					
	sem materia	m1	m4	m3	oculada / n oculada / m3	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur:	pH	m1	m4	m3		
0	1.2	50	78.5	38.5	7.71	7.57	6.89	81	17.4	5.27	29.58	8.99	57.53		
1	1.2	50.5	78.5	38.5	7.83	8.03	6.34	6.98	86	5.3	29.58	9.52	57.53		
2	1.2	49.5	77.5	38.5	7.99	7.82	6.69	6.87	79	5.25	29.33	10.37	57.2		
3	1.2	50	77.5	38	8.38	7	6.96	5.5	6.8	5.2	29.17	10.79	56.8		
4	1.2	50.5	76.5	37	7.58	7.34	7.51	6.66	6.88	5.2	29.42	11.11	56.87		
médias »	1.2	50.1	77.7	38.1	7.9	7.6	7.7	6.3	6.9	80	18.9	5.2	29.4	10.2	57.2

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado mL	Tempo de filtração min	Cor aparente uH	Turbidez uT	Taxa de filtração m/d
m1(1)	50	1.87	14	1.06	106
m1(2)	50	1.61	13	1.24	124
m1(3)					
m2(1)	50	1.7	16	1.26	117
m2(2)	50	1.59	3	1.25	125
m2(3)					
m3(1)	50	2.18	14	1.14	91
m3(2)	50	2.12	13	1.09	94
m3(3)					

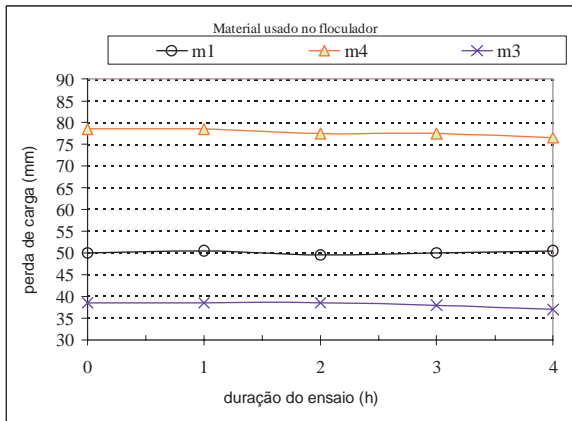
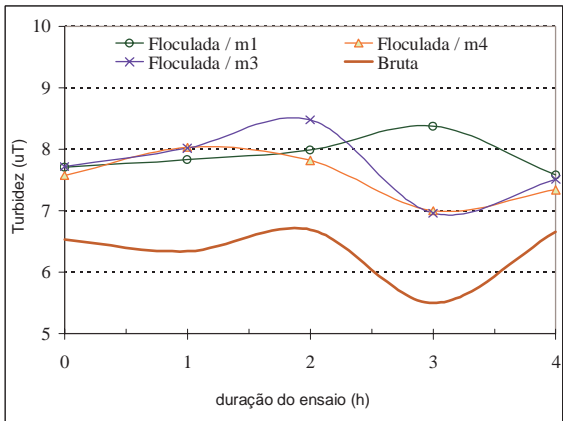
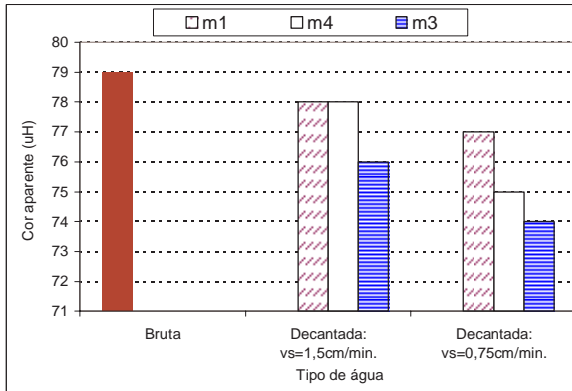
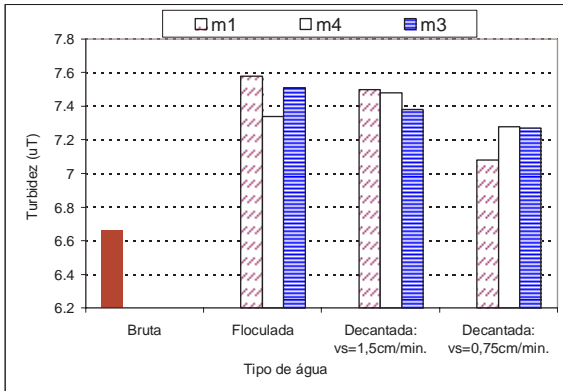
Volume filtrado de filtrager aparente (turbidez uT e filtração m/d)

	m1	m4	m3	MÉDIAS
Volume filtrado (mL)	50	50	50	
Tempo de filtração (min)	1.74	1.65	2.15	
Cor aparente (uH)	13.5	9.5	13.5	
Turbidez (uT)	1.15	1.26	1.12	
Taxa de filtração (m/d)	115	121	92.5	



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	uT			Bruta	uH	
	Bruta	Floculada	Decantada		Bruta	Decantada
6.66	7.58	7.5	7.08	79	78	77
m1	7.34	7.48	7.28	m1	78	75
m4	7.51	7.38	7.27	m4	76	74
m3				m3		



Planilha Nfloc19 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora de coleta:	17:40	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 19						
Turbidez (uT):	6.82	Gradiente (l/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.4							
Cor aparente (uH):	89	Voluma de a câmara (L):		Dose de ácido (mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	1443.6	Dose de cal (mg/L):								
pH	6.67	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	20.6	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	7	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m1	120	1.07	E	481.2	1110	16.7	51	105	5355
Condutividade(uS/cm):		2	m4	94.5	1.39	E	481.2	1110	8.5	34	131	4454
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	150	1.043	E	481.2	1110	38.6	89	67	5963
produção de flocos »	m1	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.										
produção de flocos »	m4	IW = 0,3 a 0,5 mm. Não houve produção constante de flocos.										
produção de flocos »	m3	IW = 0,3 a 0,5 mm. Não houve Produção constante de flocos.										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

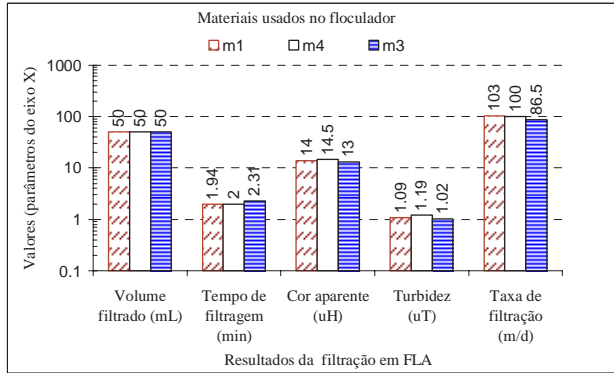
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta					Expansão do leito				
	sem materia	m1	m4	m3	oculada / n oculada / m oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur:	pH	m1	m4	m3		
0	1.2	51	84	38	6.89	7	6.77	89	20.6	5.08	16.66	4.97	37.66		
1	1.2	50	80	39	8.45	7.56	6.61	6.77	7.14	92	20.2	5.11	13.33	7.3	38.4
2	1.2	50	80	38	6.9	6.18	6.13	6.12	6.66	84	19.8	5.01	15.83	7.4	38.46
3	1.2	50	80	38	7.61	6.81	7.81	6.87	7.02	91	19.5	5.16	15.83	8.46	38.4
4	1.2	50	80	38	7.39	7.56	7.31	7.62	7	92	19.5	5.16	16.68	8.99	38.66
médias »	1.2	50.2	80.8	38.2	7.4	7	6.9	6.8	6.9	89.6	19.9	5.1	15.7	7.4	38.3

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtragem (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	1.88	13	1.15	106
m1(2)	50	2	15	1.02	100
m1(3)					
m2(1)	50	2	14	1.15	100
m2(2)	50	1.99	15	1.23	100
m2(3)					
m3(1)	50	2.27	12	1.03	88
m3(2)	50	2.34	14	1	85
m3(3)					

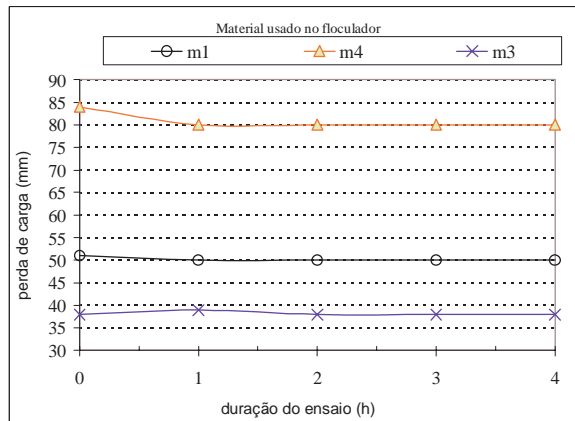
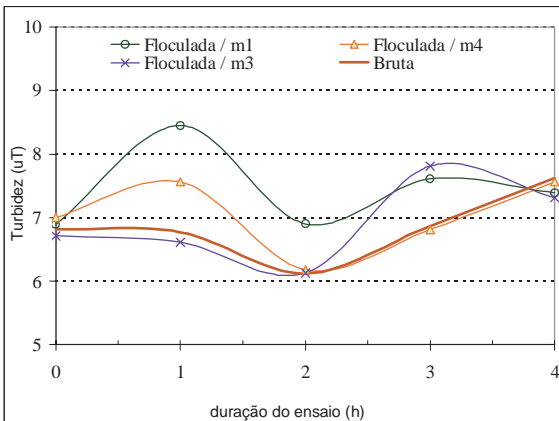
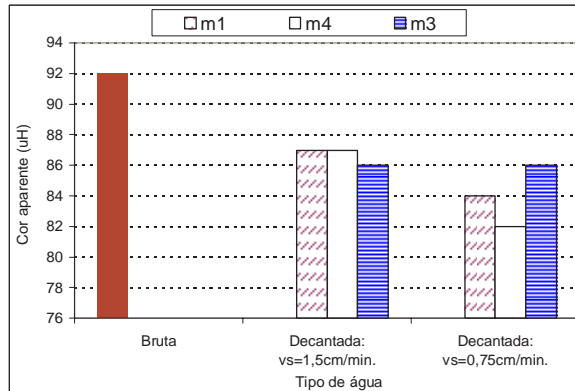
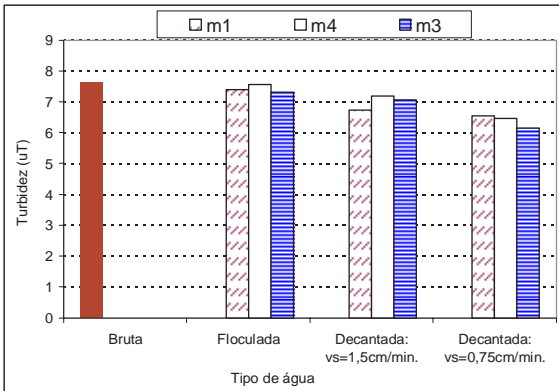
Volume filtrado de filtragem aparente (turbidez (uT) e filtração (m/d))

	m1	m4	m3	MÉDIAS
Volume filtrado (mL)	50	50	50	
Tempo de filtragem (min)	1.94	2	2.31	
Cor aparente (uH)	14	14.5	13	
Turbidez (uT)	1.09	1.19	1.02	
Taxa de filtração (m/d)	103	100	86.5	



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Bruta	Cor aparente
	Bruta	Floculada	Decantada		
7.62				92	
	7.39	6.72	6.54		87
	7.56	7.19	6.47		82
	7.31	7.06	6.14		86



Planilha Nfloc20 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora de coleta:	09:45	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 20						
Turbidez (uT):	6.93	Gradiente (1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16,5							
Cor aparente (uH):	89	Voluma de a câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	1328,9	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.75	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	17.5	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	6.7	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m1	120	1.07	E	442.96	1022	10.6	49	111	5439
Condutividade(uS/cm):		2	m4	94.5	1.39	E	442.96	1022	5.8	35	128	4480
Coleta para algas(S/N)		3	m3	150	1.043	E	442.96	1022	27.3	83	73	6059
produção de flocos »		m1	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos miúdos.									
produção de flocos »		m4	IW = 0,3 a 0,5 mm. Não houve produção constante de flocos. Colmatação do leito com expansão seguida de liberação de flo									
produção de flocos »		m3	IW = 0,3 a 0,5 mm. Produção constante de flocos.									

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

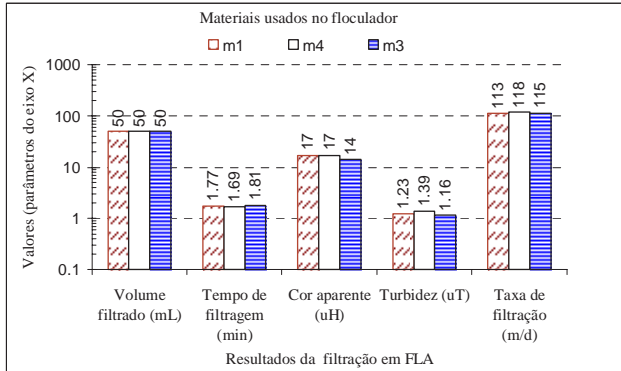
Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta				Expansão do leito			
	sem materia	m1	m4	m3	oculada / n oculada / m3	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur:	pH	m1	m4	m3
0	1.2	51	60	38.5	7	5.96	7.35	6.93	89	17.5	5.17	10.17	0
1	1.2	51.8	75	37.5	7.29	6.85	7.93	6.73	7.01	18.7	5.32	10.58	0
2	1.2	50	84.5	38	8.83	14.3	7.19	6.78	7.03	19.9	5.25	10.5	2.33
3	1.2	51.5	73.5	38.5	7.88	5.66	7.1	6.85	6.96	20.2	5.21	10.5	5.82
4	1.2	50.5	75	38	8.56	10.5	10.2	7.57	7.03	20	5.27	10.58	27.33
médias »	1.2	51	73.6	38.1	7.9	8.7	8	7	7	19.3	5.2	10.5	2.8

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material (ensaio)	Volume filtrado (mL)	Tempo de filtração (min)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Taxa de filtração (m/d)
m1(1)	50	1.69	17	1.18	118
m1(2)	50	1.84	17	1.28	108
m1(3)					
m2(1)	50	1.63	16	1.41	122
m2(2)	50	1.74	18	1.37	114
m2(3)					
m3(1)	50	2.18	13	1.11	91
m3(2)	50	1.43	15	1.2	139
m3(3)					

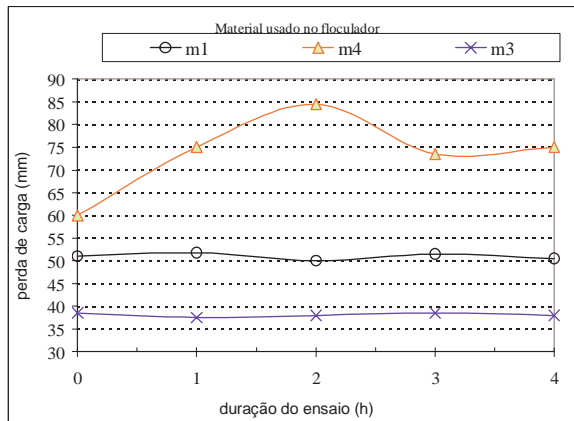
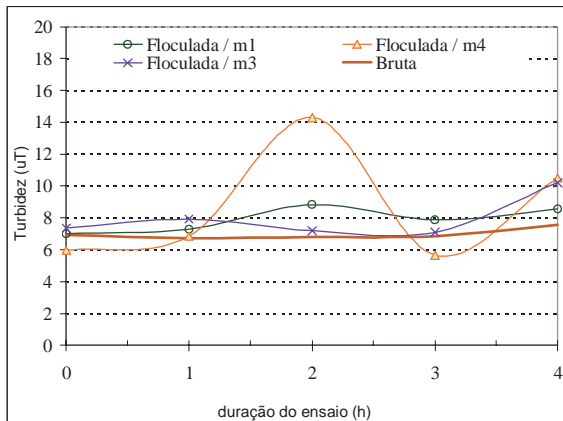
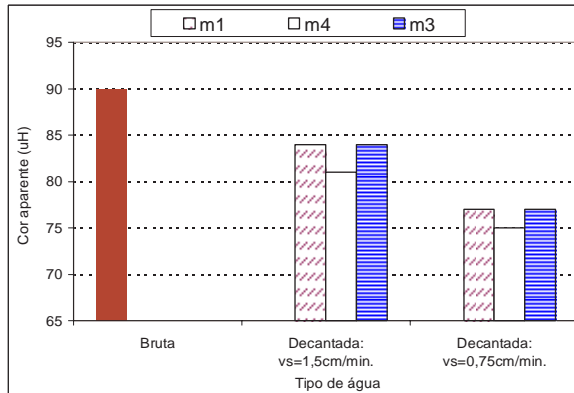
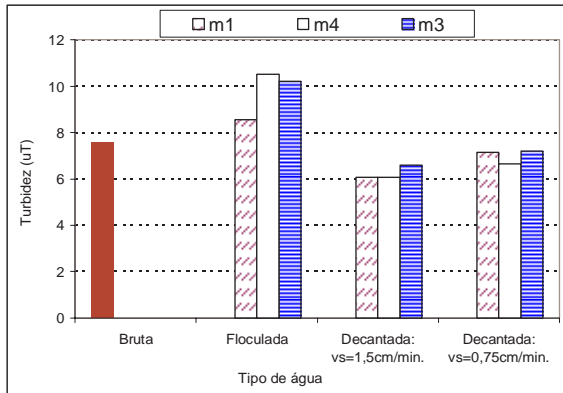
Volume filtrado de filtrager aparente (turbidez (uT)e filtração (m/d)

	m1	m4	m3	MÉDIAS
Volume filtrado (mL)	50	50	50	
Tempo de filtração (min)	1.77	1.69	1.81	
Cor aparente (uH)	17	17	14	
Turbidez (uT)	1.23	1.39	1.16	
Taxa de filtração (m/d)	113	118	115	



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Tipo de água	Turbidez da decantada (uT)			Cor aparente (uH)		
	Bruta	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	Bruta	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta
m1	7.57	8.56	6.08	7.15	84	77
m4		10.5	6.07	6.65	81	75
m3		10.2	6.58	7.19	84	77



Planilha Nfloc21 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

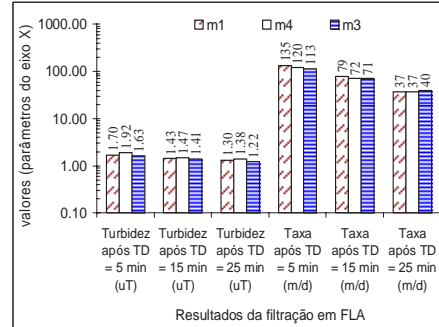
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora de coleta:	16:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 21						
Turbidez (uT):	6.37	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.5							
Cor aparente (uH):	83	VOLUME da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	1796.6	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.94	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	20.5	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	6.7	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	Lh	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m1	120	1.07	E	598.86	1383	29.2	50	106	5300
Condutividade(uS/cm):		2	m4	94.5	1.39	E	598.86	1383	9.5	28	168	4704
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	120	1.043	E	598.86	1383	55	70	70	4900
produção de flocos »	m1	TW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos miúdos.										
produção de flocos »	m4	TW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos miúdos.										
produção de flocos »	m3	TW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos miúdos.										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)	Turbidez da água floculada (uT)						Dados da água bruta			coagulação			Expansão do leito		
		m1	m4	m3	oculada / noculada / noculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	Temperatur	pH	m1	m4	m3			
0	1.2	51	79	31	7.3	7.44	7	6.37	6.94	83	20.5	5.85	27.5	6.89	53.33	
1	1.2	51	80	32.5	7.72	6.86	7.54	6.24	7.04	86	20	5.57	28.33	8.47	54.58	
2	1.2	51	80	32.5	8.35	7.53	8.04	6.24	7.13	85	19.3	5.69	29.17	9.52	55.42	
3	1.2	51	79	33	8.32	8.52	8.25	8.14	7.03	84	19	5.78	29.17	9.52	55.42	
4	1.2	52	79	33	8.53	7.26	7.3	6.78	7.06	86	18.5	5.83	29.17	10.58	55	
médias »	1.2	51.2	79.4	32.4	8	7.5	7.6	6.8	7	84.8	19.5	5.7	28.7	9	54.8	

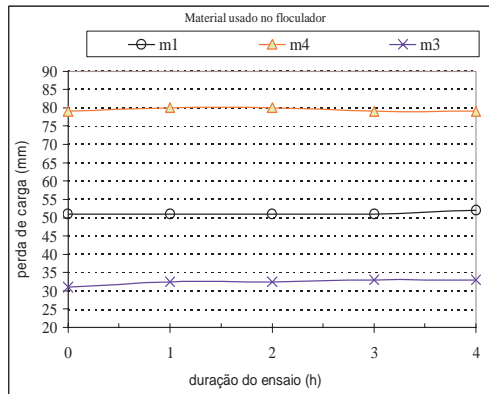
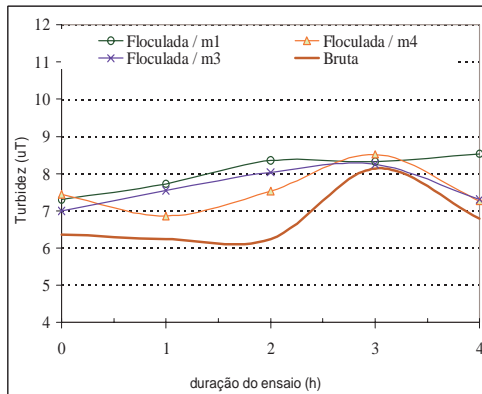
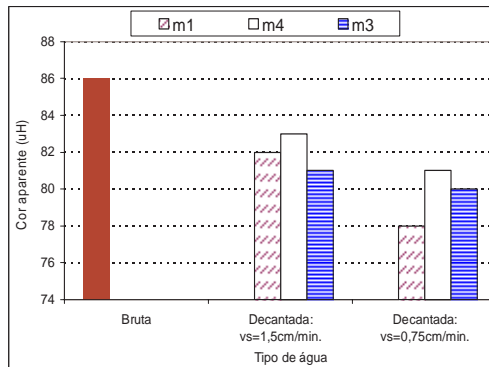
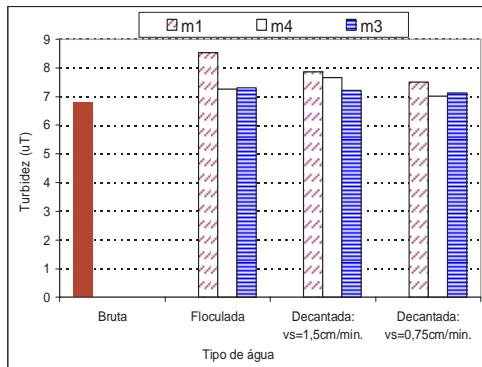
ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

Teste	material	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 5min				
							min	uH	uT	m/d	
TD=5min.	m1	50	1.77	20	1.48	113	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
	m4	50	1.73	21	1.91	115	m1	1.52	22.00	1.70	135
	m3	50	1.85	20	1.56	108	m4	1.66	23.00	1.92	120
TD=15min.	m1	50	2.75	16	1.29	72	m3	1.76	22.00	1.63	113
	m4	50	2.73	18	1.37	73	Médias para TD = 15min				
	m3	50	2.68	17	1.46	74	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
TD=25min.	m1	50	5.67	14	1.21	35	m1	2.53	18.50	1.43	79
	m4	50	4.92	15	1.36	40	m4	2.74	19.50	1.47	72
	m3	50	4.60	16	1.21	43	m3	2.80	18.00	1.41	71
Ensaio após 2h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD											
Teste 2	TD=5min.	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min				
							min	uH	uT	m/d	
							Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
Teste 1	TD=15min.	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min				
							min	uH	uT	m/d	
							Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
Teste 2	TD=15min.	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min				
							min	uH	uT	m/d	
							Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
Teste 2	TD=25min.	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min				
							min	uH	uT	m/d	
							Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
Ensaio após 4h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD											
Teste 1	TD=5min.	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min				
							min	uH	uT	m/d	
							Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
Teste 2	TD=15min.	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min				
							min	uH	uT	m/d	
							Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
Teste 2	TD=25min.	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min				
							min	uH	uT	m/d	
							Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	uT			Bruta	Cor aparente	
	Floculada	ida: vs=1,5da:	vs=0,75cm/min.		ida: vs=1,5da:	vs=0,75cm/min.
6.78				86		
m1	8.53	7.87	7.51	m1	82	78
m4	7.26	7.67	7.01	m4	83	81
m3	7.3	7.22	7.12	m3	81	80



Planilha Nfloc22 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

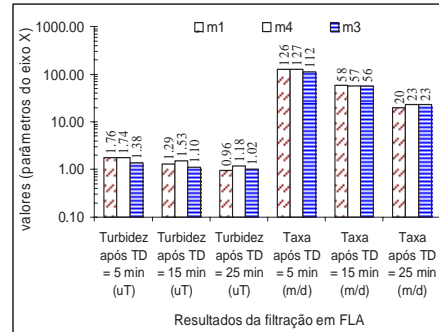
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular												
Hora de coleta:	08:20	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 22												
Turbidez (uT):	7.01	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16													
Cor aparente (uH):	79	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):														
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	1443.6	Dose de cal(mg/L):														
pH	6.84	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO																
Temperatura (Celsius)	18.8	Floculador	Material	Espessura	Densidade							Fixo:F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	7	Num.	tipo	cm	g/cm3							Expand:E	Lh	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):		1	m1	120	1.07							E	481.2	1110	17.5	52	102	5304
Condutividade(uS/cm):		2	m4	94.5	1.39							E	481.2	1110	6.1	32	140	4480
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3	120	1.043							E	481.2	1110	37	70	68	4760
produção de flocos »	m1	TW = 0.3 a 0.5 mm. Produção constante de flocos miúdos.																
produção de flocos »	m4	TW = 0.3 a 0.5 mm. Não houve produção constante de flocos.																
produção de flocos »	m3	TW = 0.3 a 0.5 mm. Não houve produção constante de flocos.																

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta				Expansão do leito				
	sem materia	m1	m4	m3	oculada / noculada / noculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	Temperatur	pH	m1	m4	m3		
0	1.2	51	80	31	7.42	7.36	7.51	7.01	6.84	79	18.8	5.53	17.3	4.23	35.8
1	1.2	51	81	31	7.89	8.11	8.26	8.12	6.94	83	18.8	5.57	17.3	6.14	36.2
2	1.2	51	81	31	8.22	7.67	7.59	8.22	7	88	18.9	5.6	17.5	6.24	36.25
3	1.2	51	81	31	8.82	8.63	7.71	8.1	7	86	18.9	5.59	17.5	6.14	36.25
5.17	1.2	51	82	33	7.63	7.16	7.86	7.02	7	86	18.5	5.63	17.5	7.4	37.5
médias »	1.2	51	81	31.4	8	7.8	7.8	7.7	7	84.4	18.8	5.6	17.4	6	36.4

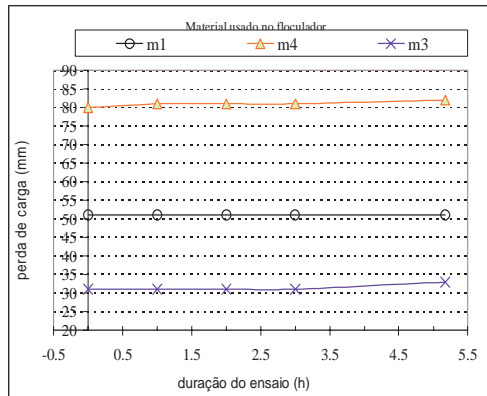
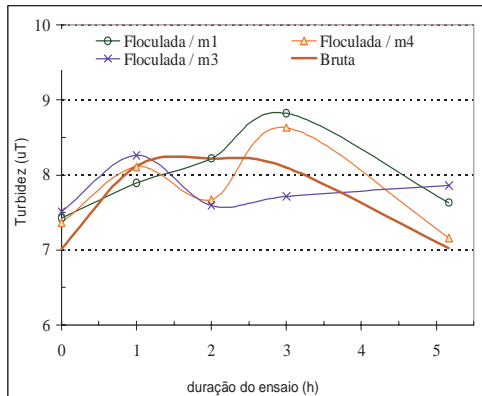
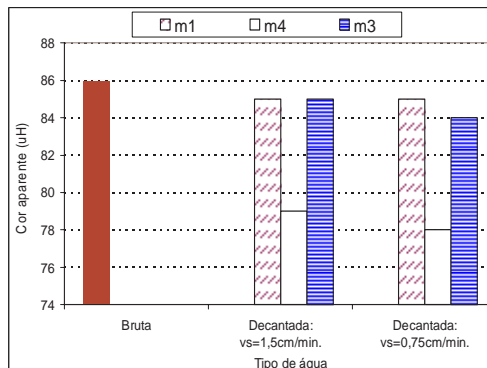
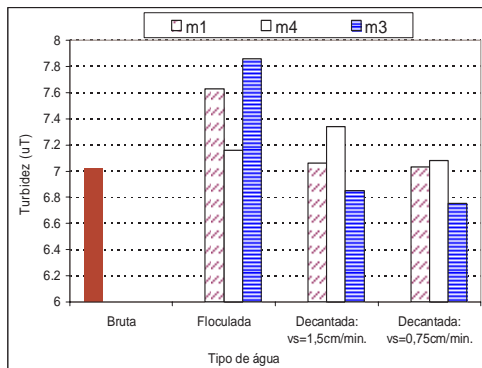
ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 5min					
						min	uH	uT	m/d		
Teste 1	m1	50	1.60	19	1.82	125	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
TD=5min	m4	50	1.66	20	1.72	120	m1	1.59	18.00	1.76	126
	m3	50	1.77	13	1.15	112	m4	1.57	19.50	1.74	127
Teste 1	m1	50	2.90	17	1.32	68	m3	1.78	15.50	1.38	112
TD=15min	m4	50	3.11	17	1.49	64	Médias para TD = 15min				
	m3	50	3.23	9	1.06	61	min	uH	uT	m/d	
Teste 1	m1	50	6.90	12	1.03	28	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
TD=25min	m4	50	7.10	14	1.13	28	m1	3.49	14.50	1.29	58
	m3	50	7.25	6	0.99	27	m4	3.55	16.00	1.53	57
Ensaio após 2h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD	m3	50					m3	3.56	11.00	1.10	56
						Médias para TD = 25min					
Teste 2	m1	50	1.57	17	1.7	127	min	uH	uT	m/d	
TD=5min	m4	50	1.48	19	1.76	135	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
	m3	50	1.78	18	1.6	112	m1	10.81	10.50	0.96	20
Teste 2	m1	50	4.07	12	1.26	49	m4	8.88	12.50	1.18	23
TD=15min	m4	50	3.98	15	1.56	50	m3	8.76	8.00	1.02	23
	m3	50	3.88	13	1.14	51					
Teste 2	m1	50	14.71	9	0.89	13	Turbidez após TD = 5pós TD = 1pós TD = 2s TD = 5 nós TD = 15 ms TD = 25 min (m/d)				
TD=25min	m4	50	10.65	11	1.22	18	m1	1.76	1.29	0.96	126
	m3	50	10.27	10	1.04	19	m4	1.74	1.53	1.18	127
Ensaio após 5h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD	m3	50					m3	1.38	1.10	1.02	112
						Médias para TD = 25min					
Teste 2	m1	50	1.57	17	1.7	127	min	uH	uT	m/d	
TD=5min	m4	50	1.48	19	1.76	135	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	
	m3	50	1.78	18	1.6	112	m1	10.81	10.50	0.96	20
Teste 2	m1	50	4.07	12	1.26	49	m4	8.88	12.50	1.18	23
TD=15min	m4	50	3.98	15	1.56	50	m3	8.76	8.00	1.02	23
	m3	50	3.88	13	1.14	51					
Teste 2	m1	50	14.71	9	0.89	13	Turbidez após TD = 5pós TD = 1pós TD = 2s TD = 5 nós TD = 15 ms TD = 25 min (m/d)				
TD=25min	m4	50	10.65	11	1.22	18	m1	1.76	1.29	0.96	126
	m3	50	10.27	10	1.04	19	m4	1.74	1.53	1.18	127
Ensaio após 5h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD	m3	50					m3	1.38	1.10	1.02	112



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	Turbidez da decantada			Bruta	Cor aparente	
	uT	uH	Bruta		Bruta	Bruta
7.02	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.			86	ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	
m1	7.63	7.06	7.03	85	85	
m4	7.16	7.34	7.08	79	78	
m3	7.86	6.85	6.75	85	84	



Planilha Nfloc23 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

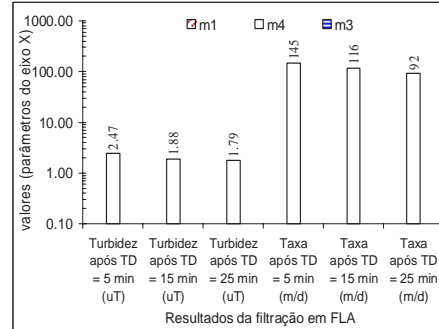
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora de coleta:	09:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 23						
Turbidez (uT):	7.64	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.5							
Cor aparente (uH):	84	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	8	Vazão (L/h):	1796.7	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.79	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	18.8	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	6.8	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	Lh	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):	33	1	m1									
Condutividade(uS/cm)	66	2	m4	200	1.39	F	598,9	1383	0	47	235	11045
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3									
produção de flocos »	m1	Não houve produção de flocos. Colmatação geral do floculador, funcionando como um filtro.										
produção de flocos »	m4											
produção de flocos »	m3											

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)			Dados da água bruta			Expansão do leito			
	sem materia	m1	m4	m3	oculada / noculada / noculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	Temperatur	pH	m1	m4	m3
0	1.2	269			6	6.21	6.94	80	19.3	5.9	0	0	0
1	1.2	362			5.9	6	7.02	78	19.5	5.9	0	0	0
2	1.2	372			6.79	6.69	7.06	83	20	5.8	0	0	0
3	1.2	392			6.69	6.59	7.13	83	20.3	5.78	0	0	0
4	1.2	442			7.31	6.92	7.06	81	20.5	5.7	0	0	0
médias »	1.2	367.4			6.5	6.5	7	81	19.9	5.8	0	0	0

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

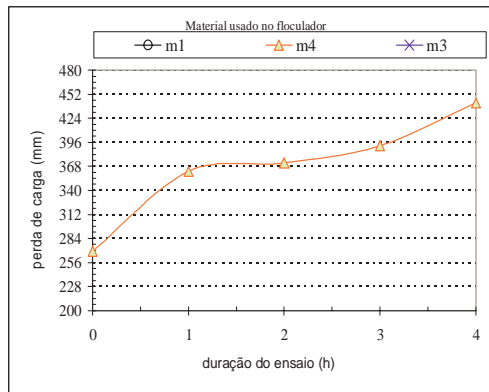
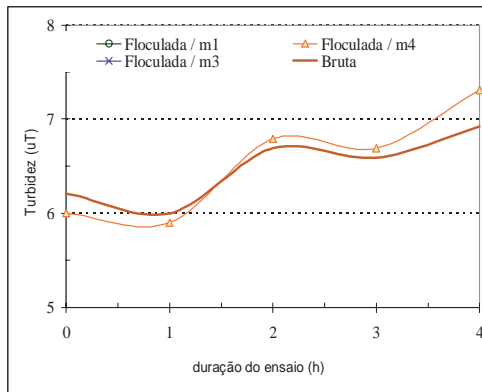
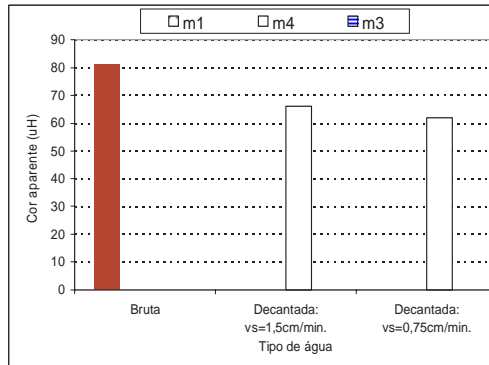
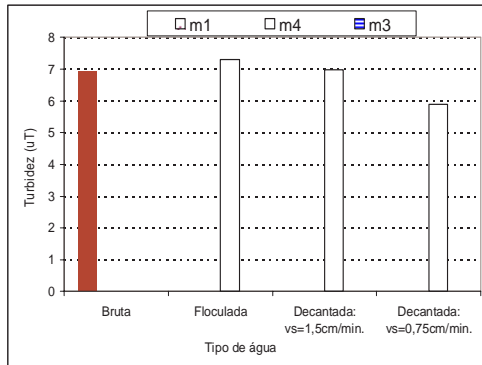
material	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 5min			
						min	uH	uT	m/d
Teste 1	m1								
TD=5min	m4	50	1.43	31	2.61	139	m1		
	m3						m4	1.38	29.50
							m3	2.47	145
Teste 1	m1								
TD=15min	m4	50	1.71	30	2.07	116			
	m3								
Teste 1	m1								
TD=25min	m4	50	2.07	28	1.92	96	m1		
	m3						m4	1.71	26.50
							m3	1.88	116
Ensaio após 2h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD									
Teste 2	m1								
TD=5min	m4	50	1.32	28	2.32	151			
	m3						m1		
Teste 2	m1								
TD=15min	m4	50	1.70	23	1.68	117	m4	2.15	25.00
	m3						m3	1.79	92
Teste 2	m1								
TD=25min	m4	50	2.23	22	1.65	89			
	m3								



Turbidez após TD = 5 min TD = 15 min TD = 25 min TD = 5 min TD = 15 min TD = 25 min (m/d)

Ensaio após 4h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD

Bruta	ENSAIO DE DECANTAÇÃO			Cor aparente		
	uT	uH	Bruta	uT	uH	Bruta
m1	6.92	81				
m4	7.31	6.97	5.9	66	62	
m3						



Planilha Nfloc24 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

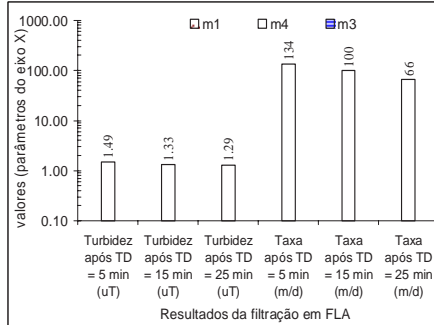
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	16:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 24						
Turbidez (uT):	7.64	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	18							
Cor aparente (uH):	84	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7.5	Vazão (L/h):	1443.6	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.8	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	20	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	6.8	Num.	tipo	cm	g/cm ³	Expand:E	Lh	m ³ /m ² .d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):	33	1	m1									
Condutividade(uS/cm)	66	2	m4	200	1.39	F	481.2	1110	0	59	177	10443
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3									
produção de flocos »	m1	Não houve produção de flocos. Colmatação geral do floculador, funcionando como um filtro.										
produção de flocos »	m4											
produção de flocos »	m3											

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta					Expansão do leito		
	sem materia	m1	m4	m3	oculada / noculada / noculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	Temperatur	pH	m1	m4	m3
0	1.2	242			5.81	6.88	7.05	85	20.6	5.75			
1	1.2	275			5.62	6.77	7.09	83	20.2	5.71			
2	1.2	359			5.31	7.08	7.02	83	19.8	5.56			
3	1.2	467			5.33	6.25	7.03	84	19.8	5.51			
4	1.2	597			5.39	7.3	6.92	85	19.6	5.47			
médias »	1.2	388			5.5	6.9	7	84	20	5.6			

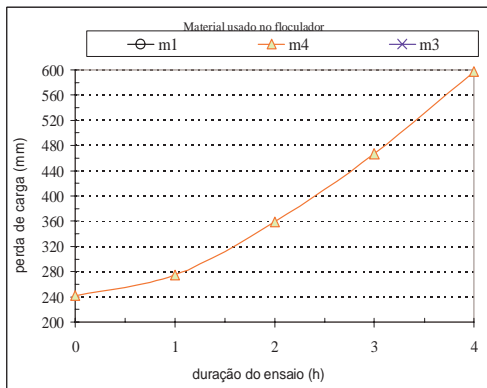
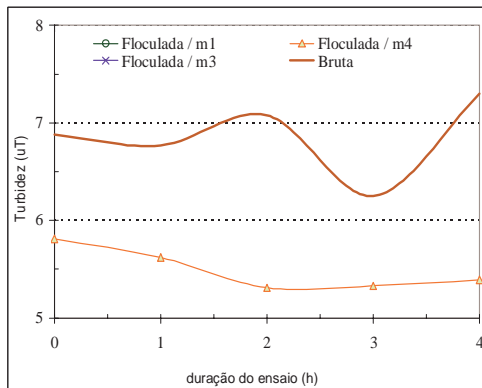
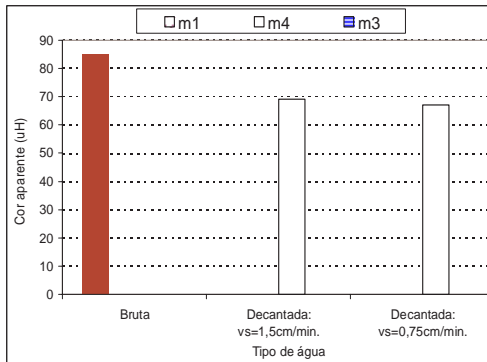
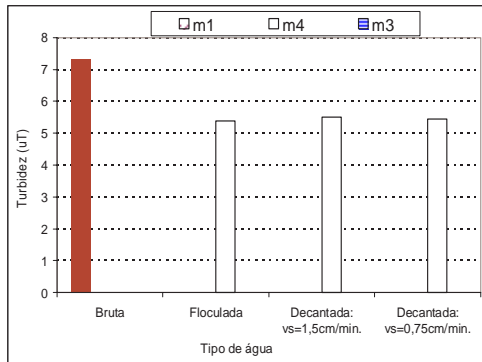
ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material	*Volume	min	uH	uT	m/d	Médias para TD = 5min			
						Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa
Teste 1	m1								
TD=5min.	m4	50	1.50	18	1.47	133	m1		
	m3						m4	1.49	19.50
Teste 1	m1						m3		
TD=15min	m4	50	2.00	15	1.31	100			
	m3								
Teste 1	m1								
TD=25min.	m4	50	2.85	14	1.3	70	m1		
	m3						m4	2.00	15.00
							m3		
Ensaio após 2h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD									
	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min			
Teste 2	m1								
TD=5min.	m4	50	1.48	21	1.51	135			
	m3						m1		
Teste 2	m1						m4	3.03	14.00
TD=15min.	m4	50	2.00	15	1.35	100	m3		
	m3								
Teste 2	m1								
TD=25min.	m4	50	3.21	14	1.28	62			
	m3								
Ensaio após 4h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD									
	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa				
Teste 2	m1								
TD=5min.	m4	50	1.48	21	1.51	135			
	m3						m1		
Teste 2	m1						m4	3.03	14.00
TD=15min.	m4	50	2.00	15	1.35	100	m3		
	m3								
Teste 2	m1								
TD=25min.	m4	50	3.21	14	1.28	62			
	m3								



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

uT	7.3	Turbidez da decantada	85
Bruta		Bruta	
m1	5.39	m1	69
m4	5.5	m4	67
m3	5.45	m3	

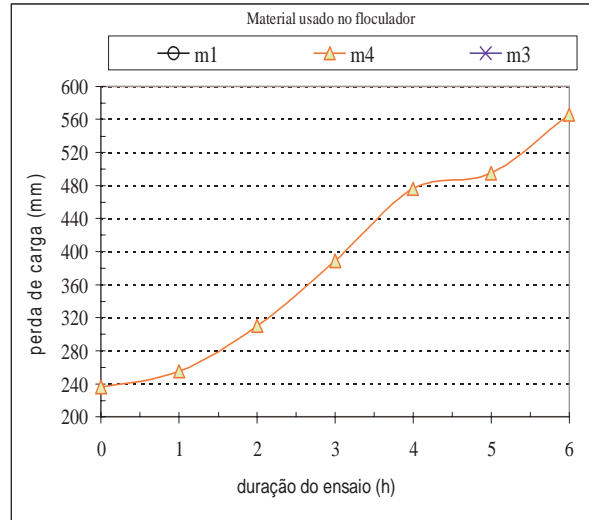
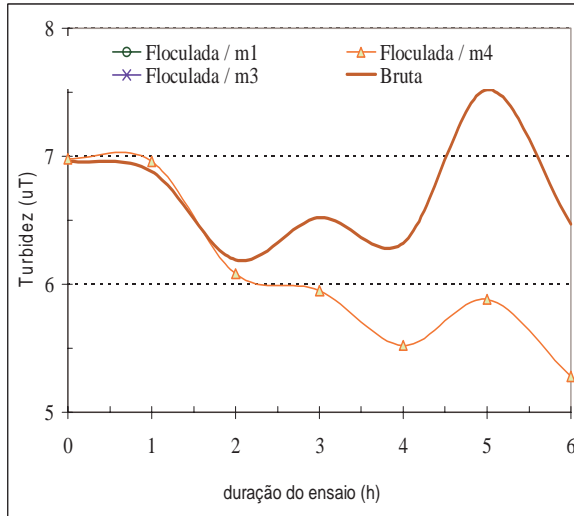


Planilha Nfloc25 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	17:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A							
Turbidez (uT):	6.96	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.5							
Cor aparente (uH):	85	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	9	Vazão (L/h):	1797.6	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.87	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	20	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	7.6	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):	44	1	m1									
Condutividade(uS/cm)	88	2	m4	200	1.39	F	599.2	1383	0	48	233	11184
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3									
produção de flocos »	m1	Não houve produção de flocos. Colmatção geral do floculador, funcionando como um filtro.										
produção de flocos »	m4											
produção de flocos »	m3											

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)				Dados da água bruta				Expansão do leito			
	sem materia	m1	m4	m3	oculada / n	oculada / n	oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	temperatur	pH	m1	m4	m3
0	1.2		236					6.98	6.96	6.87	85	20.1	5.06		0
1	1.2		255					6.96	6.88	6.95	90	19.5	5.55		0
2	1.2		310					6.08	6.19	6.9	83	19.2	5.63		0
3	1.2		389					5.95	6.52	6.84	92	19.2	5.64		0
4	1.2		476					5.52	6.32	6.9	83	19.1	5.77		0
5	1.2		495					5.88	7.52	6.87	92	18.6	5.65		0
6	1.2		566					5.28	6.47	6.77	83	18.6	5.77		0
médias »	1.2		389.6					6.1	6.7	6.9	86.9	19.2	5.6		0

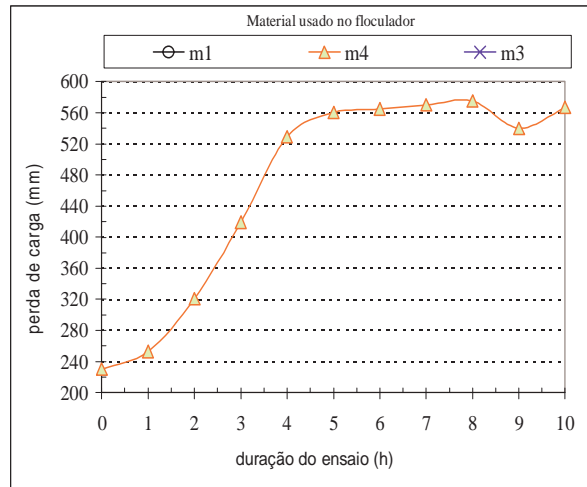
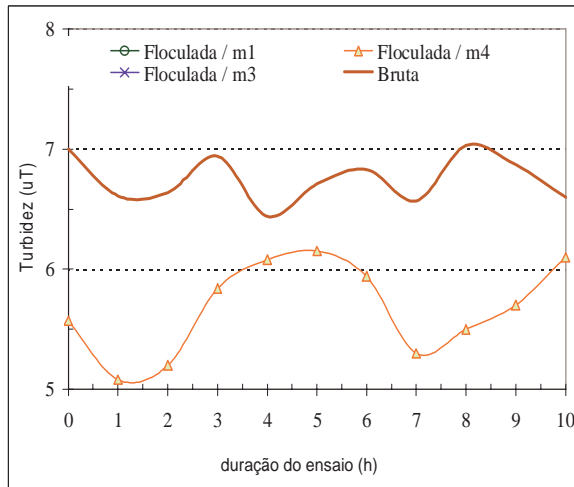


Planilha Nfloc26 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	08:00	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 26						
Turbidez (uT):	7.95	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16.5							
Cor aparente (uH):	86	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	9	Vazão (L/h):	1797.6	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.7	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	18.5	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	7.6	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):	44	1	m1									
Condutividade(uS/cm)	88	2	m4	200	1.39	F	599.2	1383	0	40	233	9320
Coleta para algas(S/N)	N	3	m3									
produção de flocos »	m1											
produção de flocos »	m4	Não houve produção constante de flocos. Colmatação geral do floculador, com ciclos de liberação de flocos retidos.										
produção de flocos »	m3											

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)			Turbidez da água floculada (uT)	Dados da água bruta				coagulação	Expansão do leito			
	sem matéria	m1	m4		m3	oculada / noculada / noculada / n	Bruta	pH		Cor aparente	temperatura	pH	m1
0	1.2		230			7	6.93	90	19	5.66			
1	1.2		253			6.61	7.03	90	19	5.64		0	
2	1.2		321			6.64	7.02	89	19.1	5.48		0	
3	1.2		419			6.94	7.09	90	19.2	5.55		0	
4	1.2		529			6.44	6.79	82	19	5.61		0	
5	1.2		560			6.71	7.03	87	19.1	5.6		0	
6	1.2		565			6.83	7.02	89	19.2	5.56		0	
7	1.2		570			6.57	6.94	91	19.3	5.63		0	
8	1.2		575			7.03	6.9	90	19.2	5.58		0	
9	1.2		540			6.87	7.01	90	19	5.61		0	
10	1.2		567			6.6	7.02	91	19	5.56		0	
médias »	1.2		466.3			6.7	7	89	19.1	5.6		0	



Planilha Nfloc27 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta	Mistura Rápida	Coagulação
Hora da coleta: 14:30	Tempo (s): 30	Coagulante: S.A
Turbidez (uT): 5.94	Gradiente(1/s): 1200	Dosagem (mg/L): 16
Cor aparente (uH): 75	Volume da câmara (L):	Dose de ácido(mL/L):
Cor verdadeira (uH): 7	Vazão (L/h): 405.3	Dose de cal(mg/L):
pH: 7		

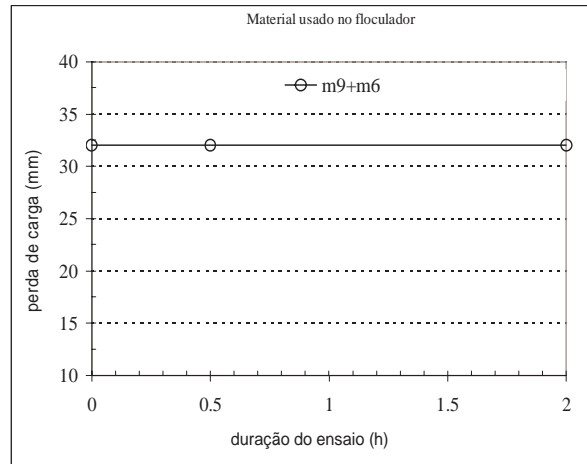
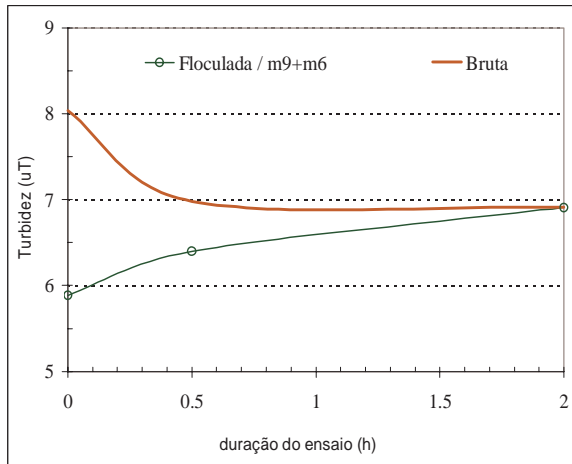
Floculação em meio granular

Ensaio: **Nfloc 27**

CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO											
Temperatura (Celsius)	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
21.5	4	m9+m6	120+100	2.13+1.055	F + E	405.43	936.00	m9 = 0	96	18	1728
6.5	2							m6 = 87	116	49	5684
S.T.D (mg/L):											
Conductividade(uS/cm):	3									Soma GT =	7412
Coleta para algas(S/N):											
produção de flocos »	m9+m6	não houve formação de flocos. O gradiente no meio fixo (descendente) superou o do meio expandido (ascendente)									
produção de flocos »	0	Configuração do floculador: escoamento descendente (meio fixo) seguido de escoamento ascendente (meio expandido)									
produção de flocos »	0										

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)		Turbidez da água floculada (uT)	Dados da água bruta				coagulação	Expansão do leito	
	sem materia	m9+m6		Turbidez	pH	uH	Celsius		m9+m6	0
0	1.2	32	5.89	8.04	7.05	85	5.22	71		
0.5	1.2	32	6.4	6.98	7	87	5.25	72.5		
2	1.2	32	6.91	6.91	7	87	5.3	72		
médias»	1.2	32	6.4	7.3	7	86.3	5.3	71.8		



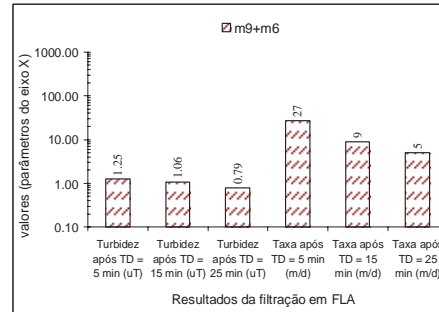
Planilha Nfloc28 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta	Mistura Rápida	Coagulação	Floculação em meio granular									
Hora da coleta:	09:25	Tempo (s): 30	Coagulante	S.A								
Turbidez (uT):	4.83	Gradiente (1/s): 1200	Dosagem (mg/L):	16								
Cor aparente (uH):	79	Volume da câmara (L):	Dose de ácido(mL/L):									
Cor verdadeira (uH):	8	Vazão (L/h):	Dose de cal(mg/L):									
pH	6.87	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	21	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	7.1	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	Lh	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):	33	4	m9+m6	160+95	2.13+1.055	F + E	405.43	936.00	m9 = 0	127	23	2921
Condutividade(uS/cm)	66	2							m6 = 72	102	57	5814
Coleta para algas(S/N)	N	3										Soma GT = 8735
produção de flocos »	m9+m6 IW = 0,3 a 0,5mm. Produção não constante de flocos											
produção de flocos »	0 Configuração do floculador: escoamento descendente (meio fixo) seguido de escoamento ascendente (meio expandido)											
produção de flocos »	0											

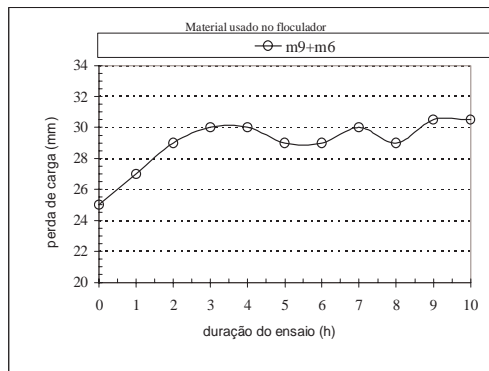
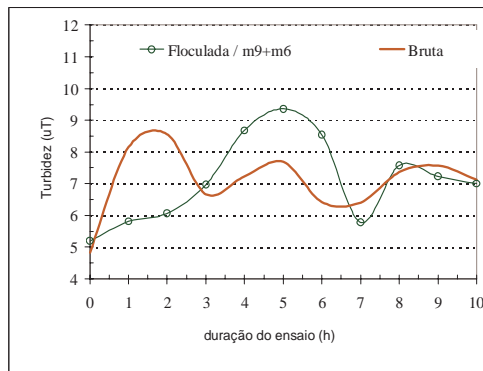
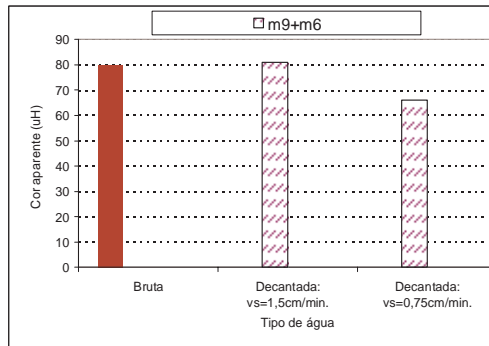
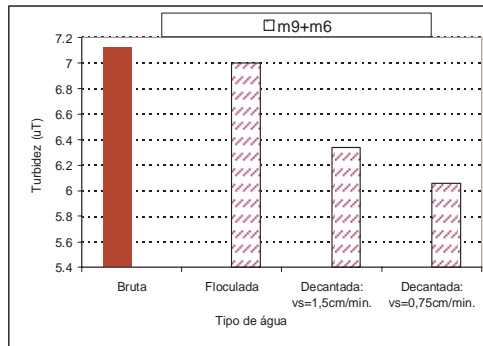
ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)	Turbidez da água floculada (uT)	Dados da água bruta				coagulação	Expansão do leito	
			Turbidez	pH	uH	Celsius			
sem materia	m9+m6	0	0	0	0	0	m9+m6	0	0
0	1.2	25	5.2	4.83	6.87	79	21	5.36	72
1	1.2	27	5.81	8.15	6.92	76	20.7	5.27	74
2	1.2	29	6.07	8.56	6.73	79	20.9	5.29	80
3	1.2	30	6.97	6.67	7.22	78	20.9	5.3	70
4	1.2	30	8.68	7.23	7.28	86	21.2	5.32	72
5	1.2	29	9.36	7.69	7.11	80	21.5	5.26	61
6	1.2	29	8.54	6.42	7.14	77	21.5	5.31	72
7	1.2	30	5.78	6.41	7.59	89	21.5	5.3	72
8	1.2	29	7.58	7.36	7.13	80	21.5	5.3	72
9	1.2	30.5	7.23	7.57	7.22	81	21.5	5.39	72
10	1.2	30.5	7	7.12	7.17	80	21.2	5.32	72
médias»	1.2	29	7.1	7.1	7.1	80.5	21.2	5.3	71.7

material	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 5min			
						min	uH	uT	m/d
Teste 1	m9+m6								
TD=5min.	0	50	7.30	8	1.25	27	m9+m6		
	0						0	7.30	8.00
Teste 1	m9+m6								
TD=15min.	0	50	20.12	3	1.06	9	m9+m6		
	0						0	20.12	3.00
Teste 1	m9+m6								
TD=25min.	0	50	34.50	6	0.79	5	m9+m6		
	0						0	34.50	6.00
Ensaio após 10h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD									
Teste 2	m9+m6								
TD=5min.	0	50					m9+m6		
	0						0	34.50	6.00
Teste 2	m9+m6								
TD=15min.	0	50					0	0.79	5
	0						0		
Teste 2	m9+m6								
TD=25min.	0	50					m9+m6		
	0						0	1.25	1.06



Bruta	uT	Turbidez da decantada			Bruta	uH	Cor aparente
		Floculada	da: vs=1,5da:	vs=0,75cm/min.			
m9+m6	7.12	7	6.34	6.06	m9+m6	81	66
0							
0							



Planilha Nfloc29 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

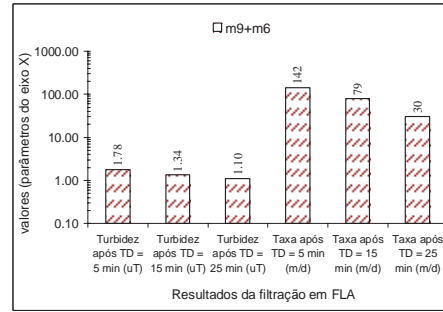
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	08:00	Tempo (s):	30	Coagulante:	S.A	Ensaio: Nfloc 29						
Turbidez (uT):	7,21	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16							
Cor aparente (uH):	84	VOLUME da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	5	Vazão (L/h):	329,5	Dose de cal(mg/L):								
pH:	6,77	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius):	20,2	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	9,2	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand:E	L/h	m3/m2.d	%	s	1/s	G.T
S.T.D (mg/L):	35	4	m9+m6	160+95	2.13+1.055	F + E	329,5	760,00	m9 = 0	157	39	6123
Condutividade(uS/cm):	70	2							m6 = 60	107	50	5350
Coleta para algas(S/N):	N	3										Soma GT = 11473
produção de flocos »	IW=0.3 a 0.5mm. Não verificado produção constante de flocos. Desprendimentos esporádicos de flocos retidos no meio gran											
produção de flocos »	0 Configuração do floculador: escoamento descendente (meio fixo) seguido de escoamento ascendente (meio expandido)											
produção de flocos »	0											

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)		Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta					Expansão do leito	
	sem materia	m9+m6	ulada / m9-oculada / n	uT	Bruta	pH	Cor aparente	temperatura	pH	m9+m6	
0	1,2	19	0	4,87	6,18	6,6	81	21	5,12	58	0
1	1,2	19		5,37	7,64	6,81	76	21,5	5,2	59	
2	1,2	20		4,7	6,53	6,94	81	21,6	5,19	58	
3	1,2	20		5,52	6,94	6,76	78	21,5	5,2	58	
4	1,2	22		5,51	6,23	6,9	77	23	5,25	57	
5	1,2	27		5,38	6,98	6,87	76	24,1	5,29	59	
6	1,2	30		5,78	6,73	6,91	79	24,9	5,26	58	
7	1,2	33		5,66	6,98	6,82	75	23,2	5,22	58	
8	1,2	35		5,96	6,23	6,75	79	22,5	5,19	60	
9	1,2	39		6,31	6,6	6,8	79	22,3	5,33	60	
10	1,2	41		6,02	7,26	6,85	80	22	5,36	60	
médias »	1,2	27,7		5,6	6,8	6,8	78,3	22,5	5,2	58,6	

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

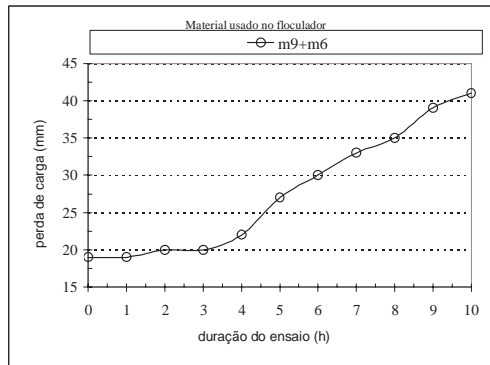
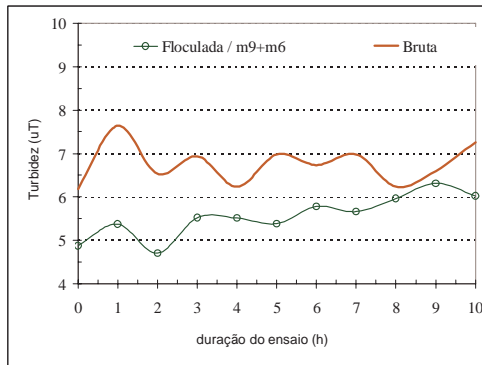
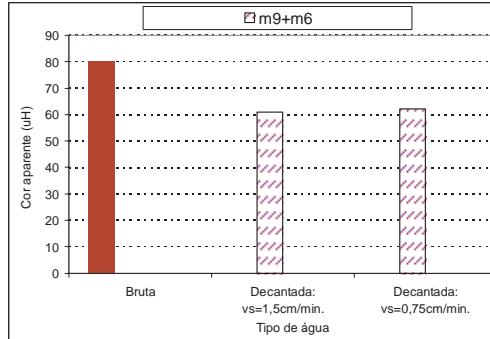
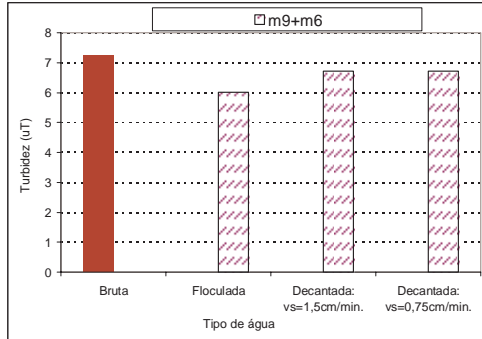
Teste	mL	min	uH	uT	m/d	Médias para TD = 5min					
						Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa		
Teste 1 TD=5min:	m9+m6	50	1,54	19	1,67	129					
	0						m9+m6	1,42	22,00	1,78	142
Teste 1 TD=15min:	m9+m6	50	2,89	16	1,24	69					
	0						m9+m6	2,56	17,00	1,34	79
Teste 1 TD=25min:	m9+m6	50	6,77	14	1,11	29					
	0						m9+m6	0			
Ensaio após 4h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD											
	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min					
Teste 2 TD=5min:	m9+m6	50	1,29	25	1,88	155					
	0						m9+m6	6,57	13,50	1,10	30
Teste 2 TD=15min:	m9+m6	50	2,22	18	1,44	90					
	0						m9+m6	0			
Teste 2 TD=25min:	m9+m6	50	6,36	13	1,08	31					
	0						Turbidez após TD = 5	1,78	1,34	1,10	142
	0						1pós TD = 1pós TD = 2s	1,78	1,34	1,10	142
	0						5 nós TD = 5	1,78	1,34	1,10	142
	0						15 ms TD = 15	1,78	1,34	1,10	142
	0						25 min (m/d)	1,78	1,34	1,10	142
Ensaio após 10h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD											
	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 25min					
Teste 2 TD=5min:	m9+m6	50	1,29	25	1,88	155					
	0						m9+m6	6,57	13,50	1,10	30
Teste 2 TD=15min:	m9+m6	50	2,22	18	1,44	90					
	0						m9+m6	0			
Teste 2 TD=25min:	m9+m6	50	6,36	13	1,08	31					
	0						m9+m6	0			



Resultados da filtração em FLA

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

uT		Turbidez da decantada		uH		Cor aparente	
Bruta	7,26	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	80	ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	61
m9+m6	6,02	6,71	6,71	m9+m6	61	62	
0				0			
0				0			



Planilha Nfloc30 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

Água Bruta	Mistura Rápida	Coagulação	Floculação em meio granular			
Hora de coleta:	08:55	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	
Turbidez (uT):	5,96	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	16	
Cor aparente (uH):	84	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):		
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	329,5	Dose de cal(mg/L):		
pH	6,54	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO				
Temperatura (Celsius)	24,2	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F
Alcalinidade (mg/L):	7,5	Num.	tipo	cm	g/cm3	Expand: E
S.T.D (mg/L):	36	4	m6+m10	110+110	1,055+1,54	E + F
Condutividade(uS/cm)	72	2				
Coleta para algas(S/N)	S	3				
produção de flocos »	m6+m10 IW=0,3 a 0,75mm. Produção constante de flocos com variação de tamanho.					
produção de flocos »	0 Configuração do floculador: escoamento ascendente (meio expandido) seguido de escoamento descendente (meio fixo)					
produção de flocos »	0					

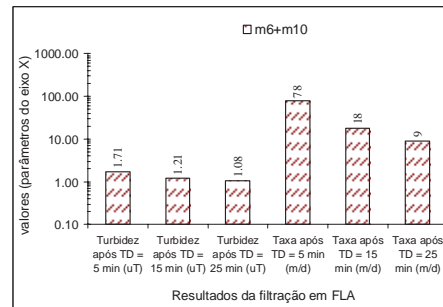
Ensaio: **Nfloc 30**

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)	Turbidez da água floculada (uT)	Dados da água bruta				coagulação	Expansão do leito	
			Turbidez Bruta	pH	uH	Celsius		m6+m10	0
0	sem materia	m6+m10	0	0	0	0	0	0	0
1	1,2	34	8,83	5,98	6,76	86	24	5,03	51,4
2	1,2	34	6,08	6,94	6,62	83	24,5	5,01	53,6
3	1,2	34	6,82	6,06	6,63	84	24,5	5,06	53,6
4	1,2	34	6,99	6,08	6,7	84	25,2	5,03	53,2
5	1,2	35	7,02	5,58	6,84	79	56,5	5,11	53
6	1,2	35	6,88	6,28	6,76	82	27	5,05	52
7	1,2	35	6,49	7,04	6,84	85	28	5,04	51
8	1,2	35	7,19	6,58	6,89	83	27,5	5,12	56
9	1,2	34	6,7	7	6,79	85	26,4	5,14	56
10	1,2	33,5	6,88	6,84	6,83	83	26,2	5,08	55
11	1,2	33,5	6,53	7,38	6,67	89	25,7	5,06	54
12	1,2	34,5	6,98	6,49	6,75	86	25,5	4,99	54
13	1,2	32,5	6,63	7,07	6,73	87	25,3	4,99	54
médias »	1,2	34,1	6,9	6,6	6,7	84,4	28	5,1	53,8

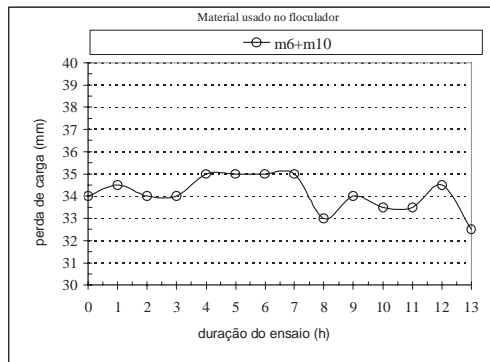
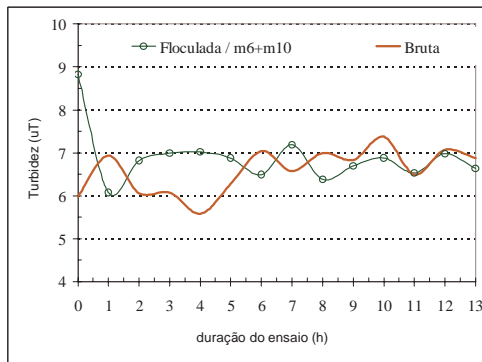
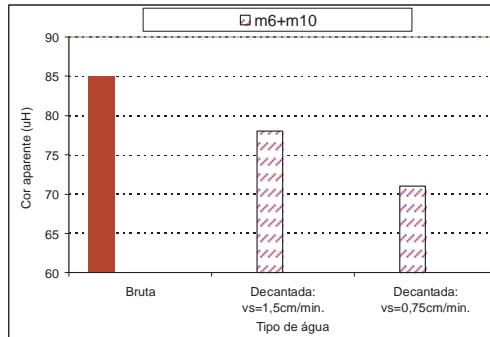
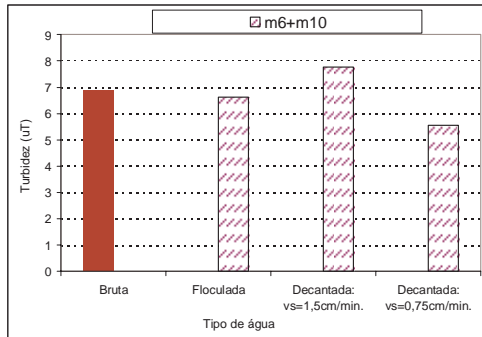
ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 5min					
						min	uH	uT	m/d		
Teste 1	m6+m10	50	2,30	19	1,83	86					
TD=5min.	0						m6+m10	2,55	19,00	1,71	78
Teste 1	m6+m10	50	9,21	13	1,32	21					
TD=15min.	0										
Teste 1	m6+m10	50	18,93	11	1,23	10					
TD=25min.	0						m6+m10	11,18	12,00	1,21	18
Ensaio após 4h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD	0										
Teste 2	m6+m10	50	2,80	19	1,59	71					
TD=5min.	0										
Teste 2	m6+m10	50	13,14	11	1,09	15					
TD=15min.	0										
Teste 2	m6+m10	50	24,70	12	0,92	8					
TD=25min.	0										
Ensaio após 13h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD	0										



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

uT	Turbidez da decantada	uH	Cor aparente
Bruta	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.
6,88		85	
m6+m10	6,63	7,77	5,55
0			
0			



Planilha Nfloc31 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

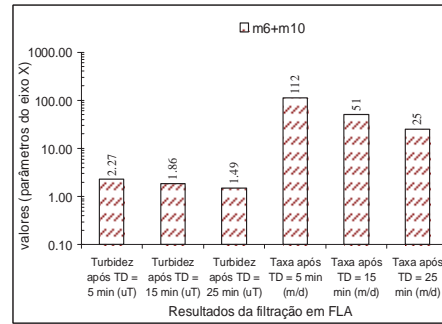
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	08:30	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A	Ensaio: Nfloc 31						
Turbidez (uT):	7.95	Gradiente(1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	15							
Cor aparente (uH):	97	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	329.5	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.84	CONDIÇÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	22.9	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	7	Num.	tipo	cm	g/cm ³	Expand:E	L/h	m ³ m ² .d	%	s	1/s	GT
S.T.D (mg/L):	34	4	m6+m10	110+110	1,055+1,54	E + F	329.5	760.00	m6 = 58	121	52	6292
Condutividade(uS/cm)	68	2							m10 = 0	108	16	1728
Coleta para algas(S/N)	N	3										Soma GT = 8020
produção de flocos »	m6+m10	fW=0.3 a 0.75mm. Produção constante de flocos com variação de tamanho. Liberação de flocos antigos do ensaio anterior (N)										
produção de flocos »	0	Configuração do floculador: escoamento ascendente (meio expandido) seguido de escoamento descendente (meio fixo)										
produção de flocos »	0											

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)		Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta				coagulação		Expansão do leito		
	sem materia	m6+m10	0	0	lidade / m6+oculada / noculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	Temperatur	pH	m6+m10	0	0
0	1.2	35			9.07	7.47	6.91	88	23.5	5.99	56.8		
1	1.2	35			7.28	7.02	6.9	87	23	5.63	57.3		
2	1.2	34.5			8.14	6.3	6.97	92	23	5.77	58.2		
3	1.2	34.5			7.13	6.53	7.03	94	23	5.78	58.2		
4	1.2	34.5			8.35	6.83	7.05	96	23	6.17	58		
5	1.2	32.5			8.68	6.37	7.08	95	23	5.74	58.64		
6	1.2	33			9.9	8.01	7.04	94	23	5.96	58		
7	1.2	33			10.2	6.9	7.11	97	23	5.89	58.8		
8	1.2	33			8.95	6.99	7.15	95	23.3	6.03	58.2		
9	1.2	33			8.31	6.97	7.5	93	23.1	6.25	58.6		
médias »	1.2	33.8			8.6	6.9	7.1	93.1	23.1	5.9	58.1		

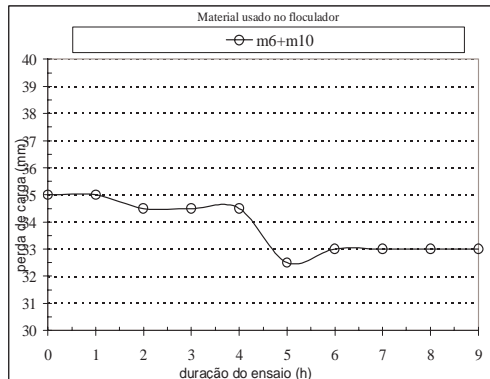
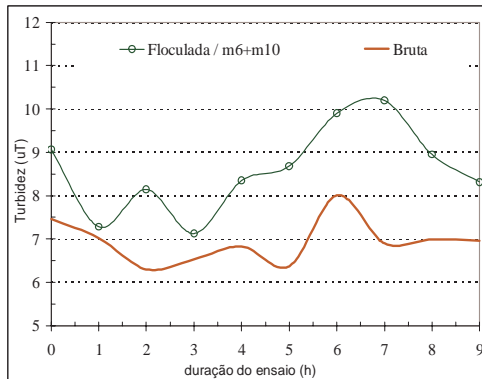
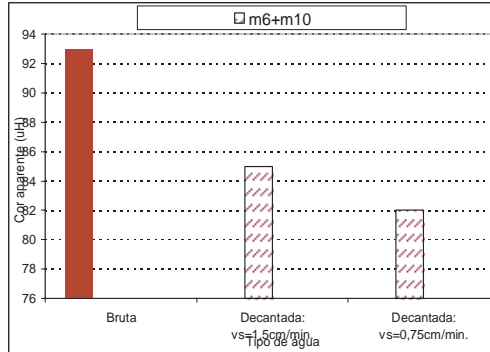
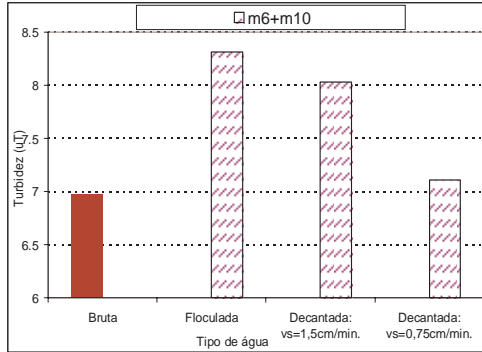
ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

Teste	material	*Volume	Tempo	Cor apar.	uH	uT	m/d	Médias para TD = 5min					
								Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa		
TD=5min.	m6+m10	50	1.87	25	2.12	106							
	0												
	0												
TD=15min.	m6+m10	50	4.92	21	1.86	40							
	0												
	0												
TD=25min.	m6+m10	50	9.57	20	1.48	20							
	0												
	0												
Ensaio após 6h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD													
TD=5min.	m6+m10	50	1.67	29	2.42	119							
	0												
	0												
TD=15min.	m6+m10	50	3.20	21	1.85	62							
	0												
	0												
TD=25min.	m6+m10	50	6.40	20	1.49	31							
	0												
	0												
Ensaio após 9h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD													
TD=5min.	m6+m10	50	1.67	29	2.42	119							
	0												
	0												
TD=15min.	m6+m10	50	3.20	21	1.85	62							
	0												
	0												
TD=25min.	m6+m10	50	6.40	20	1.49	31							
	0												
	0												



ENSAIO DE DECANTAÇÃO

uT		Turbidez da decantada		uH		Cor aparente	
Bruta	6.97	Floculada ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	93	ida: vs=1,5da: vs=0,75cm/min.	Bruta	85
m6+m10	8.31		m6+m10	82			82
0			0				
0			0				



Planilha Nfloc32 - Resultados de ensaios de floculação em sistema piloto

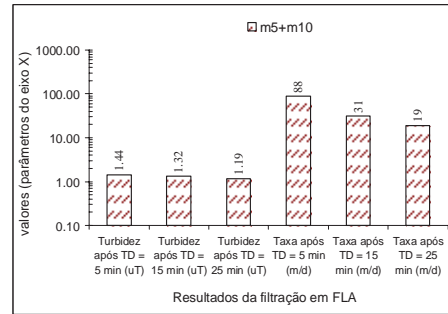
Água Bruta		Mistura Rápida		Coagulação		Floculação em meio granular						
Hora da coleta:	08:10	Tempo (s):	30	Coagulante	S.A							
Turbidez (uT):	6.1	Gradiente (1/s):	1200	Dosagem (mg/L):	15							
Cor aparente (uH):	86	Volume da câmara (L):		Dose de ácido(mL/L):								
Cor verdadeira (uH):	7	Vazão (L/h):	329.5	Dose de cal(mg/L):								
pH	6.99	CONDICÕES DE FLOCULAÇÃO										
Temperatura (Celsius)	22.5	Floculador	Material	Espessura	Densidade	Fixo: F	Vazão	Taxa	Exp. Leito	Tempo	Gradiente	Num. Camp
Alcalinidade (mg/L):	6.3	Num.	tipo	cm	g/cm ³	Expand:E	L/h	m ³ /m ² .d	%	s	1/s	GT
S.T.D (mg/L):	37	4	m5+m10	140+110	1,08+1,54	E + F	329.5	760.00	m5 = 28.5	112	82	9184
Condutividade(µS/cm)	74	2							m10 = 0	108	16	1728
Coleta para algas(S/N)	N	3									Soma GT =	10912
produção de flocos »	m5+m10	fW=0,3 a 0,75mm. Boa produção de flocos com variação de tamanho. Liberação de flocos retidos no meio fixo.										
produção de flocos »	0	Configuração do floculador: escoamento ascendente (meio expandido) seguido de escoamento descendente (meio fixo)										
produção de flocos »	0											

ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO

Duração(h)	Perda de carga (mm)		Turbidez da água floculada (uT)		Dados da água bruta				Expansão do leito	
	m5+m10	0	Bruta	Alada / m5+oculada / n	Bruta	pH	Cor aparente	Temperatura	pH	m5+m10
0	1.2	52	6.23		5.91	6.87	82	23.5	6.11	29.6
1	1.2	55	7.42		6.57	6.92	88	24	6.01	29.6
2	1.2	55	6.25		6.86	7.26	91	24	6.12	28.9
3	1.2	58	7.21		7.7	7.24	97	23.5	6.28	29.3
4	1.2	58	7.54		8.26	7.52	98	23.7	6.37	29.3
5	1.2	56.5	9.02		7.58	7.07	90	24	5.94	28.6
6	1.2	56.5	8.08		6.93	7.05	97	23.7	5.99	28
7	1.2	56.5	8.26		6.41	7.23	94	23.5	6.11	28
8	1.2	56	8.17		7.52	7.06	96	23.4	6.11	28.4
9	1.2	56.5	8.27		6.96	7.1	95	23	6.04	28.9
médias »	1.2	56	7.6		7.1	7.1	92.8	23.6	6.1	28.9

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM FLA

material	*Volume	Tempo	Cor apar.	Turbidez	Taxa	Médias para TD = 5min				
						min	uH	uT	m/d	
Teste 1	m5+m10	50	2.27	24	1.44	88				
TD=5min.	0					m5+m10	2.27	24.00	1.44	88
Teste 1	m5+m10	50	6.33	18	1.32	31	0			
TD=15min.	0									
Teste 1	m5+m10	50	10.50	16	1.19	19				
TD=25min.	0					m5+m10	6.33	18.00	1.32	31
Ensaio após 8h de operação / * Volume filtrado após o tempo de descarte TD	0									
Teste 2	m5+m10	50								
TD=5min.	0					m5+m10	10.50	16.00	1.19	19
Teste 2	m5+m10	50								
TD=15min.	0									
Teste 2	m5+m10	50								
TD=25min.	0									



* Volume filtrado após o tempo de descarte TD

ENSAIO DE DECANTAÇÃO

Bruta	uT	Turbidez da decantada			Bruta	uH	Cor aparente
		Floculada	vs=1,5cm/min.	vs=0,75cm/min.			
6.96					95		
m5+m10		8.27	7.54	7.49		83	
0						80	
0							

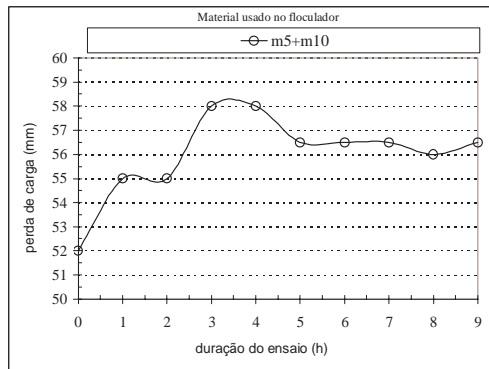
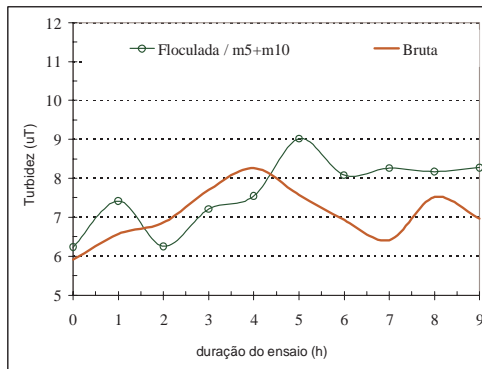
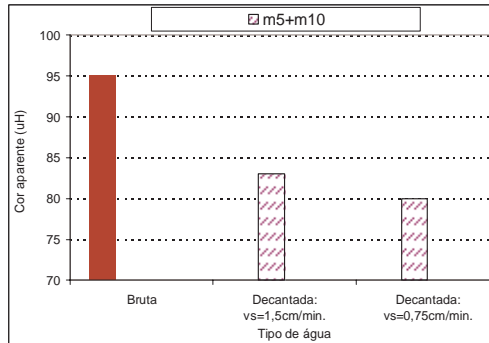
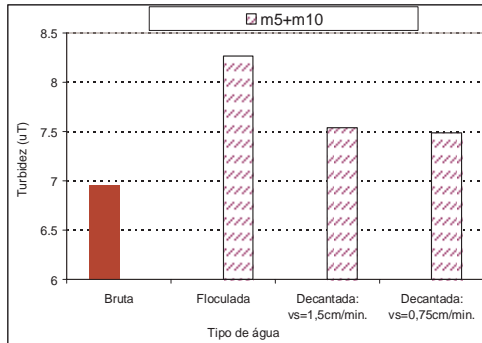


Tabela A12.1 – Resultados dos ensaios de floculação em sistema piloto

Ensaio	Material	Expes. do leito cm	Exp. do leito %	Taxa m ³ /m ² .d	Grad. s ⁻¹	Tempo s	Nº de Camp G.T	(1) Vs = 0,75cm/min		(2) Tempo estável h	(3)Taxa de filtração em FLA m ³ /m ² .d			Caract. do filtrado após descarte 5 min		Turbidez Floculada / Turbidez Bruta	Observação
								Cor apar. uH	Turbidez uT		Após descarte 5 min	Após descarte 25 min	Variação da taxa m/d	Cor apar. uH	Turbidez uT		
Nfloc20	M01	120	10,6	1022	111	49	5439	77	7,15	1	113	-	-	17	1,23	1,13	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc19	M01	120	16,7	1110	105	51	5355	84	6,54	2	103	-	-	14	1,09	1,09	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc22	M01	120	17,5	1110	102	52	5304	85	7,03	1	126	20	106	18	1,76	1,04	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc21	M01	120	29,2	1383	106	50	5300	78	7,51	2	135	37	98	22	1,70	1,18	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc18	M01	120	29,4	1383	106	50	5300	77	7,08	1	115	-	-	13,5	1,15	1,25	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc09	M01	139	0	598	82	76	6232	67	5,3	>3	-	-	-	-	-	0,81	IW = 0,3 a 0,5 mm. Floculação não cte. Colmatção do leito
Nfloc10	M01	139	2,7	689	88	71	6248	60	4,56	3	134	-	-	18	1,49	0,93	IW = 0,3 a 0,5 mm. Floculação não cte. Colmatção do leito
Nfloc11	M01	139	8,3	936	107	59	6313	79	7,13	2	101	-	-	17	1,22	1,17	IW = 0,3 a 0,5 mm. Floculação constante. Pouca retenção.
Nfloc12	M01	139	10,4	1022	113	57	6441	79	6,85	2	112	-	-	19	1,77	1,16	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc17	M01	139	12	1022	106	59	6254	78	5,28	2	104	-	-	14,5	1,35	1,12	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc13	M01	139	14	1110	112	56	6272	74	6,43	2	105	-	-	14,5	1,91	1,17	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc16	M01	139	17,6	1110	103	60	6180	86	6,74	1	126	-	-	19	1,58	1,09	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc14	M01	139	28	1383	110	57	6270	93	8,3	1	117	-	-	19	1,37	1,14	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc15	M01	139	29,9	1383	104	59	6136	81	8,45	1	124	-	-	20	1,56	1,07	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc14	M02	120	119,6	1383	40	118	4720	92	7,39	1	120	-	-	21	1,43	1,15	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc11	M02	150	64,5	936	37	142	5254	84	6,37	3	101	-	-	16	1,18	1,14	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm. + discreto
Nfloc12	M02	150	69,8	1022	40	137	5480	79	6,88	2	116	-	-	19	1,51	1,17	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc13	M02	150	83	1110	39	141	5499	73	5,35	1	108	-	-	15	1,3	1,14	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc09	M02	191	27	598	37	179	6623	74	7,5	2	-	-	-	-	-	1,04	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm. + discreto
Nfloc10	M02	191	38	689	36	182	6552	84	7,22	1	124	-	-	20	1,51	1,10	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc22	M03	120	37	1110	68	70	4760	84	6,75	1	112	23	89	15,5	1,38	1,01	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc21	M03	120	55	1383	70	70	4900	80	7,12	1	113	40	73	22	1,63	1,12	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc20	M03	150	27,3	1022	73	83	6059	77	7,19	1	115	-	-	14	1,16	1,14	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc19	M03	150	38,6	1110	67	89	5963	86	6,14	1	86	-	-	13	1,02	1,01	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc18	M03	150	57	1383	69	89	6141	74	7,27	1	92	-	-	13,5	1,12	1,22	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc09	M03	170	10,6	598	56	119	6664	58	4,39	2	-	-	-	-	-	0,90	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc10	M03	170	13	689	63	108	6804	72	5,8	1	117	-	-	20	1,37	0,97	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc11	M03	170	22,2	936	74	94	6956	84	6,33	1	80	-	-	15	1,14	1,15	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc12	M03	170	27,2	1022	74	94	6956	80	6,9	1	98	-	-	18	1,41	1,13	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc17	M03	170	29	1022	70	96	6720	78	6,22	1	94	-	-	14,5	1,23	1,00	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc13	M03	170	34	1110	72	95	6840	69	6,26	1	86	-	-	15,5	1,27	1,17	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc16	M03	170	40	1110	65	103	6695	82	6,9	1	101	-	-	20	1,61	1,09	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc15	M03	170	59	1383	67	103	6901	79	8,26	3	96	-	-	20,5	1,61	1,06	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc14	M03	170	58,8	1383	68	103	7004	92	8,55	1	93	-	-	18	1,33	1,14	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc24	M04	200	0	1110	177	59	10443	67	5,45	>4	134	66	68	19,5	1,49	0,86	Sem formação de flocos. Leito colmatado. Efeito filtro
Nfloc25	M04	200	0	1383	233	48	11184	-	-	>6	-	-	-	-	-	0,91	Sem formação de flocos. Leito colmatado. Efeito filtro
Nfloc26	M04	200	0	1383	233	40	6320	-	-	7	-	-	-	-	-	0,85	Desprendimento de flocos velhos. Leito colmatado
Nfloc23	M04	200	0	1383	235	47	11045	62	5,9	>4	145	92	53	29,5	2,47	1,00	Sem formação de flocos. Leito colmatado. Efeito filtro
Nfloc17	M04	94,5	8,5	1022	117	37	4329	71	5,99	3	106	-	-	17	1,33	1,00	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc20	M04	94,5	5,8	1022	128	35	4480	75	6,07	3	118	-	-	17	1,39	1,24	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc16	M04	94,5	7,4	1110	135	33	4455	81	7,76	1	111	-	-	21	1,6	1,12	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc19	M04	94,5	8,5	1110	131	34	4454	82	6,47	1	100	-	-	14,5	1,19	1,03	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm

Tabela A12.1 – Resultados dos ensaios de floculação em sistema piloto - continuação

Ensaio	Material	Expes. do leito cm	Exp. do leito %	Taxa m ³ /m ² .d	Grad. s ⁻¹	Tempo s	Nº de Camp G.T	(1) Vs = 0,75cm/min		(2) Tempo estável h	(3)Taxa de filtração em FLA m ³ /m ² .d			Caract. do filtrado após descarte 5 min		Turbidez Floculada / Turbidez Bruta	Observação
								Cor apar. uH	Turbidez uT		Após descarte 5 min	Após descarte 25 min	Variação da taxa m/d	Cor apar. uH	Turbidez uT		
Nfloc22	M04	94,5	6,1	1110	140	32	4480	78	7,08	1	127	23	104	19,5	1,74	1,01	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc21	M04	94,5	9,5	1383	168	28	4704	81	7,01	2	120	37	83	23	1,92	1,10	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc18	M04	94,5	11	1383	163	29	4727	75	7,28	2	121	-	-	9,5	1,26	1,21	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc15	M04	94,5	9,7	1383	167	28	4676	74	7,33	2	131	-	-	22	1,65	1,10	Produção cte. de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm. Reteve na base
Nfloc04	M05	100	17,5	523	69	98	6762	65	5,35	2	-	-	-	-	-	1,00	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc03	M05	100	32	760	85	78	6630	76	6,4	2	-	-	-	-	-	1,06	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc08	M05	150	16	389	52	192	9984	59	5,45	2	-	-	-	-	-	0,93	Produção não cte. de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm. Retenção
Nfloc05	M05	150	16,6	523	70	145	10150	70	5,11	2	-	-	-	-	-	1,01	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc06	M05	180	16	389	50	231	11550	59	4,46	2	-	-	-	-	-	0,85	Produção cte. de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm. Retenção
Nfloc07	M05	200	16	389	48	270	12960	49	4,21	2	-	-	-	-	-	0,78	Produção cte. de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm. Retenção
Nfloc32	M05 + M10	140 + 110	28,5 + 0	760	82 + 16	112 + 108	9184 + 1728	80	7,49	3	88	19	69	24	1,44	1,07	Muitos flocos pequenos, cte. Liberação de flocos velhos
Nfloc04	M06	100	41,5	523	46	128	5888	73	6,03	1	-	-	-	-	-	1,16	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc03	M06	160	67,7	760	45	194	8730	61	5,23	1	-	-	-	-	-	1,44	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,75 mm
Nfloc08	M06	150	26,7	389	44	210	9240	64	6,02	1	-	-	-	-	-	1,12	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc05	M06	150	42	523	41	200	8200	72	5,37	1	-	-	-	-	-	1,01	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc06	M06	180	27	389	44	219	9636	71	6,63	1	-	-	-	-	-	1,15	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc07	M06	200	28	389	44	279	12276	67	5,45	1	-	-	-	-	-	1,05	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc30	M06 + M10	110 + 110	54 + 0	760	56 + 18	116 + 109	6496 + 1962	71	5,55	2	78	9	69	19	1,71	1,05	Retenção de flocos no leito fixo, mas não mudou muito a perda de carga. IW = 0,3 a 0,75mm.
Nfloc31	M06 + M10	110 + 110	58 + 0	760	52 + 16	121 + 108	6292 + 1728	82	7,11	3	112	25	87	27	2,27	1,25	Produção cte. de flocos c/ tamanhos variáveis. IW = 0,3 a 0,75mm. Liberação de flocos retidos no meio fixo.
Nfloc04	M07	100	41	523	52	132	6864	67	5,49	1	-	-	-	-	-	1,09	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc03	M07	100	72,5	760	44	130	5720	75	6,49	1	-	-	-	-	-	1,18	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc08	M07	150	35	389	40	250	10000	70	6,46	1	-	-	-	-	-	1,11	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc05	M07	150	41	523	50	201	10050	67	5,31	1	-	-	-	-	-	1,06	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc06	M07	180	35,5	389	40	298	11920	77	5,88	1	-	-	-	-	-	1,25	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc07	M07	200	35,5	389	41	326	13366	65	5,37	1	-	-	-	-	-	1,09	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc02	M08	200	0	936	107	159	17013	60	5,23	57	-	-	-	-	-	0,91	Liberação flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm
Nfloc01	M08	200	0	1383	131	108	14148	72	6,84	36	-	-	-	-	-	0,97	Liberação flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm
Nfloc02	M09	200	0	936	92	159	14628	61	5,71	57	-	-	-	-	-	0,93	Liberação flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm
Nfloc01	M09	200	0	1383	108	108	11664	70	6,72	36	-	-	-	-	-	1,00	Liberação flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm
Nfloc27	M09 + M06	120 + 100	0 + 87	936	18 + 49	96 + 116	1728 + 5684	-	-	1	-	-	-	-	-	0,88	Não houve produção de flocos no período de ensaio
Nfloc29	M09 + M06	160 + 95	0 + 60	760	39 + 50	157 + 107	6123 + 5350	62	6,71	>10	142	30	112	22	1,78	0,82	Flocos apareceram após 7 hs. Desprendimento de flocos velhos do leito fixo (que colmatou). IW = 0,3 a 0,5mm.
Nfloc28	M09 + M06	160 + 95	0 + 72	936	23 + 57	127 + 102	2921 + 5814	66	6,06	3	27	5	22	8	1,25	1	Produção não constante de flocos (IW = 0,3 a 0,5mm) Oscilações rápidas de perda de carga no leito expandido.
Nfloc02	M10	200	0	936	66	161	10626	64	5,36	57	-	-	-	-	-	0,94	Liberação flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm
Nfloc01	M10	200	0	1383	88	109	9592	73	6,72	36	-	-	-	-	-	1,03	Liberação flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm

(1) velocidade no ensaio de sedimentação considerado; (2) tempo para estabilização da expansão (ou não) e da perda de carga no floculador; (3) taxa de filtração em FLA após tempos de descarte de 5 e 25 minutos, para filtrar alíquotas de 50 mL.

Tabela A12.2 - Comparação entre grupos de ensaios de cada material – melhores resultados nos ensaios de floculação em sistema piloto

CRITÉRIO	PESO	m1		m2		m3		m4		m5		m6		m7		m8		m9		m10		m5+m10		m6+m10		m9+m6	
		1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
1-Autolimpeza - perda de carga constante no tempo	2	ou tros	9	to dos		to dos		ou tros	23 24 25 26	to dos		to dos		to dos		to dos		to dos		to dos		32		30 31		28	29
2-Turbidez da água filtrada em FLA – a menor	1	19	18	11	13	19	18	19	18													32		30	31	28	29
3-Relação entre turbidez das águas floculada e bruta	2	18	21	12	11	18	13	20	16	3	5	3	4	6	3	1	2	1	2	1	2	32		31	30	28	29
4-Turbidez da água decantada: vs = 0,75 cm/min	1	17	13	13	11	10	19	17	20	7	6	3	5	5	7	2	1	2	1	2	1	32		30	31	28	29
5-Cor aparente água decantada: vs = 0,75 cm/min	1	13	18	13	9	13	10	17	15	7	6	3	7	6	7	2	1	2	1	2	1	32		30	31	29	28
6-Varição da taxa de filtração em FLA	2	22	21			21	22	21	22													32		30	31	28	29
Ensaio com melhores resultados (somatório dos pesos) »»		18 (5)		11(4,5)		18(4,5)		20(4,5)		3(4)		3 (6)		6 (5)		1 (4)		1 (4)		1 (4)		32 (9)		30(8)		28(8,5)	

m1 a m10: materiais utilizados individualmente nos floculadores ou de forma combinada; 1° : número do ensaio, relativo ao material, que apresentou o melhor desempenho para o critério, sendo-lhe atribuído o valor integral do peso; 2° : número do ensaio com o 2ª melhor resultado para o critério, sendo-lhe atribuído metade do peso. Para o critério AUTOLIMPEZA 1° colocado significa: houve autolimpeza, e 2° colocado significa: não houve autolimpeza, podendo haver mais de um 1° ou 2° colocado; Variação da taxa de filtração em FLA é a diferença entre as taxas de filtração observadas após tempos de descarte do filtrado de 5 min e 25 min.

Tabela A12.3 - Melhores resultados obtidos para cada material nos ensaios de floculação em sistema piloto

Ensaio	Material	Expes. do leito cm	Exp. do leito %	Taxa m ³ / m ² .d	Grad. s ⁻¹	Tempo s	N° de Camp G.T	(1) Vs = 0,75cm/min		(2) Tempo estável h	(3)Taxa de filtração em FLA m ³ /m ² .d			Caract. do filtrado após descarte 5 min		Turbidez Floculada / Turbidez Bruta	Observação
								Cor apar. uH	Turbidez uT		Após descarte 5 min	Após descarte 25 min	Varição da taxa m/d	Cor apar. uH	Turbidez uT		
Nfloc18	M01	120	29,4	1383	106	50	5300	77	7,08	1	115	-	-	13,5	1,15	1,25	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc11	M02	150	64,5	936	37	142	5254	84	6,37	3	101	-	-	16	1,18	1,14	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm. + discreto
Nfloc18	M03	150	57	1383	69	89	6141	74	7,27	1	92	-	-	13,5	1,12	1,22	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc20	M04	94,5	5,8	1022	128	35	4480	75	6,07	3	118	-	-	17	1,39	1,24	Produção não constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc03	M05	100	32	760	85	78	6630	76	6,4	2	-	-	-	-	-	1,06	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc03	M06	160	67,7	760	45	194	8730	61	5,23	1	-	-	-	-	-	1,44	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,75 mm
Nfloc06	M07	180	35,5	389	40	298	11920	77	5,88	1	-	-	-	-	-	1,25	Produção constante de flocos. IW = 0,3 a 0,5 mm
Nfloc01	M08	200	0	1383	131	108	14148	72	6,84	36	-	-	-	-	-	0,97	Liberção flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm
Nfloc01	M09	200	0	1383	108	108	11664	70	6,72	36	-	-	-	-	-	1,00	Liberção flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm
Nfloc01	M10	200	0	1383	88	109	9592	73	6,72	36	-	-	-	-	-	1,03	Liberção flocos velhos. Floculação ã cte. IW=0,3 a 0,5 mm
Nfloc32	M05 + M10	140 + 110	28,5 + 0	760	82 + 16	112 + 108	9184 + 1728	80	7,49	3	88	19	69	24	1,44	1,07	Muitos flocos pequenos, cte. Liberação de flocos velhos
Nfloc30	M06 + M10	110 + 110	54 + 0	760	56 + 18	116 + 109	6496 + 1962	71	5,55	2	78	9	69	19	1,71	1,05	Retenção de flocos no leito fixo, mas não mudou muito a perda de carga. IW = 0,3 a 0,75mm.
Nfloc28	M09 + M06	160 + 95	0 + 72	936	23 + 57	127 + 102	2921 + 5814	66	6,06	3	27	5	22	8	1,25	1	Produção não constante de flocos (IW = 0,3 a 0,5mm) Oscilações rápidas de perda de carga no leito expandido.

Tabela A12.4 - Comparação entre materiais – melhores resultados selecionados da Tabela A12.3.

CRITÉRIO	PESO	(ensaio) Material	
		1°	2°
1-Autolimpeza - perda de carga constante no tempo	2	Todos	
2-Turbidez da água filtrada em FLA – a menor	1	(18) m3	(18) m1
3-Relação entre turbidez das águas floculada e bruta	2	(3) m6	(18) m1 e (6) m7
4-Turbidez da água decantada: vs = 0,75 cm/min	1	(3) m6	(30) m6+m10
5-Cor aparente da água decantada: vs = 0,75 cm/min	1	(3) m6	(28) m9+m6
6-Varição da taxa de filtração em FLA	2	(28) m9+m6	(32) m5+m10 e (30) m6+m10
Material com melhores resultados (somatório dos pesos) »»		m6 (6)	

O melhor resultado obtido foi com o material m6 no ensaio Nfloc03, cujas características foram: altura inicial do leito = 160cm; velocidade de aproximação ou taxa = 760 m/d; tempo de floculação = 3,2 min; gradiente de velocidade = 45 s^{-1} ; expansão do leito = 67,7%; GT = 8730.

FOTOGRAFIAS



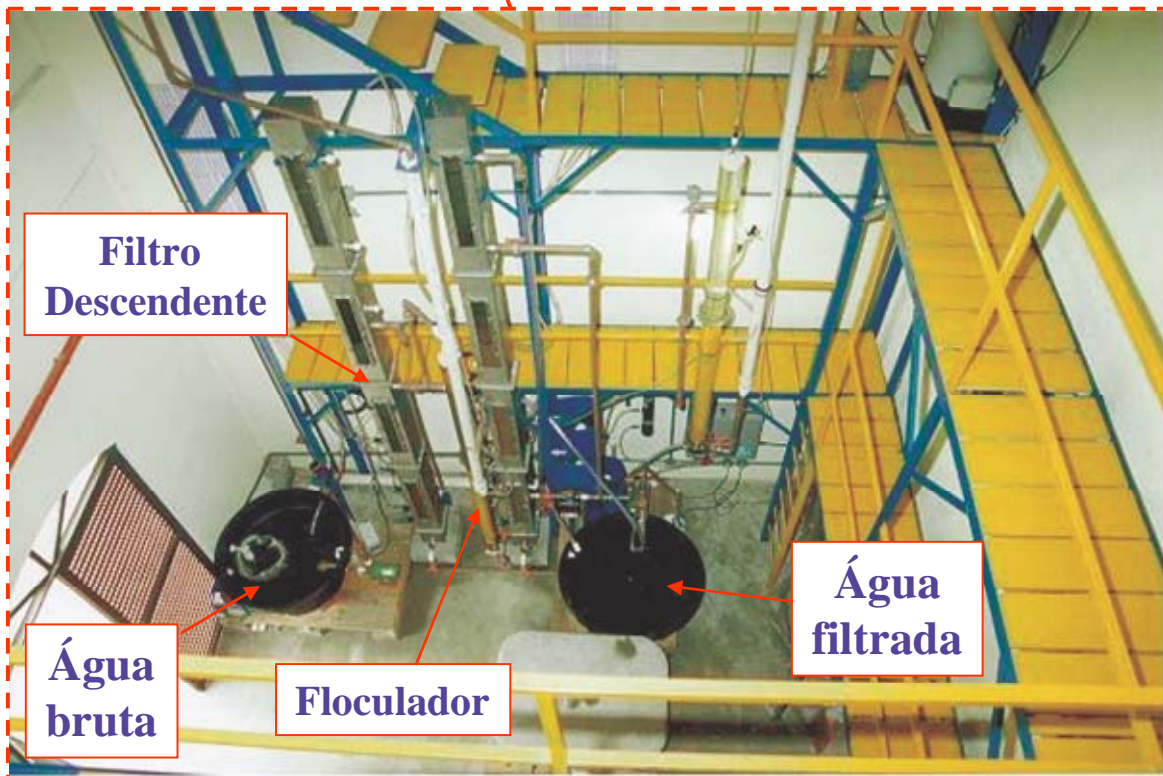
Acesso para sala de pilotos

FOTO 01 – Vista da ETA da lagoa do Peri



Sala de pilotos

FOTO 02- Vista parcial do laboratório LALP



Filtro Descendente

Água bruta

Floculador

Água filtrada

FOTO 03 – Vista parcial da sala de pilotos

FOTOGRAFIAS



FOTO 04 - Material m1
Esferas

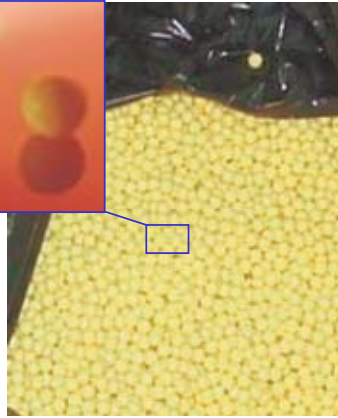


FOTO 05 - Material m2
Esferas

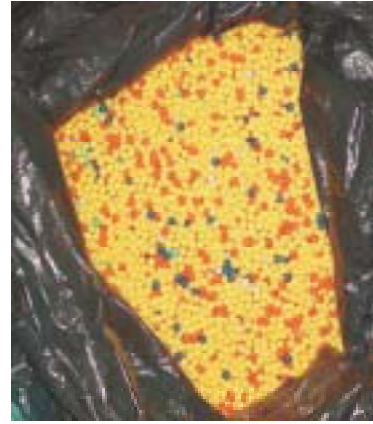


FOTO 06 - Material m3
Esferas

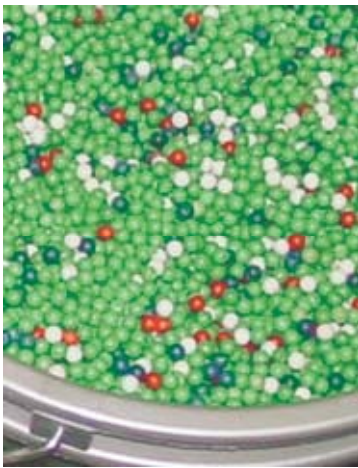


FOTO 07 - Material m4
Esferas



FOTO 08 - Material m5
Sangel

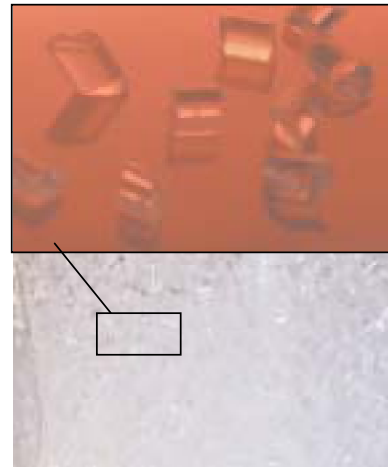


FOTO 09 - Material m6
Polystrol



FOTO 10 - Material m7
Cycogel

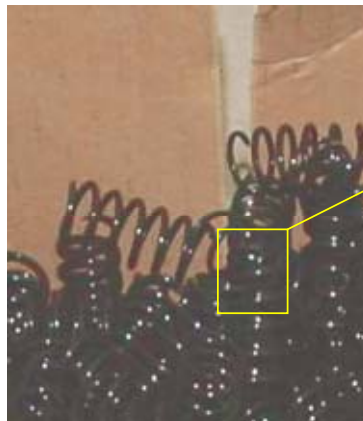
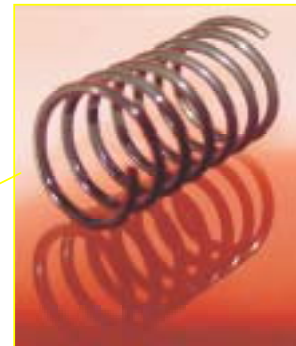


FOTO 11 - Material m8
Espiras



OBS: Os materiais m9 e m10
também são espiras,
porém com diâmetros
maiores.

FOTOGRAFIAS



FOTO 12 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com os materiais m1, m2 e m3

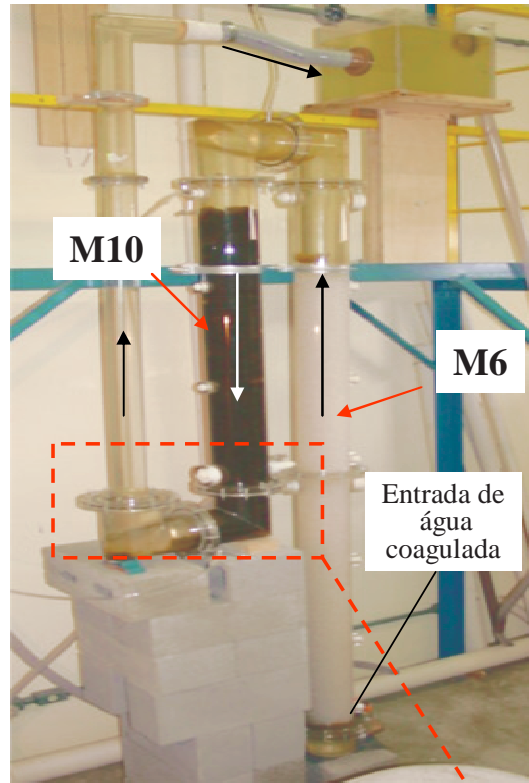


FOTO 13 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com os materiais m6 e m10

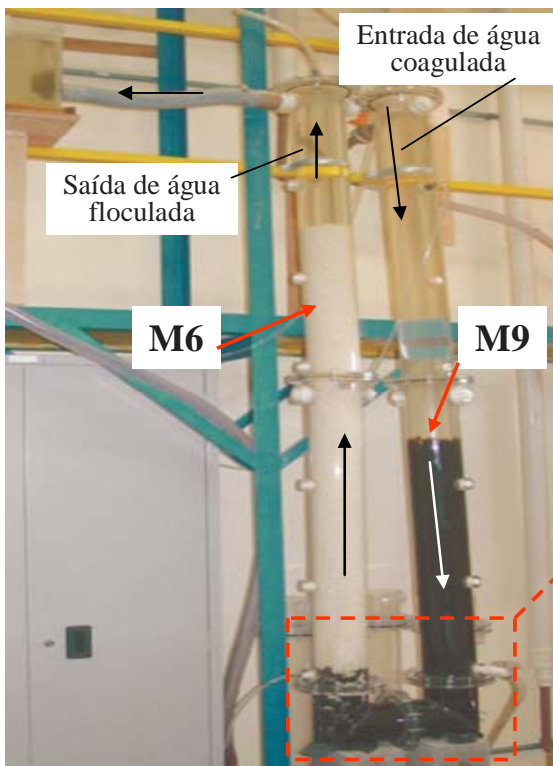


FOTO 14 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com os materiais m6 e m9



FOTO 13A – Detalhe



FOTO 14A – Detalhe

FOTOGRAFIAS

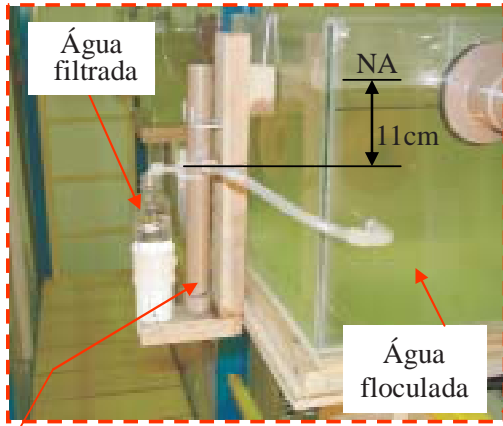


FOTO 15A - Detalhe da localização do FLA para ensaios de filtração

Filtro - FLA
Areia: 0,42 a 0,84mm
Espessura : 15 cm
Carga hidráulica: 11 cm

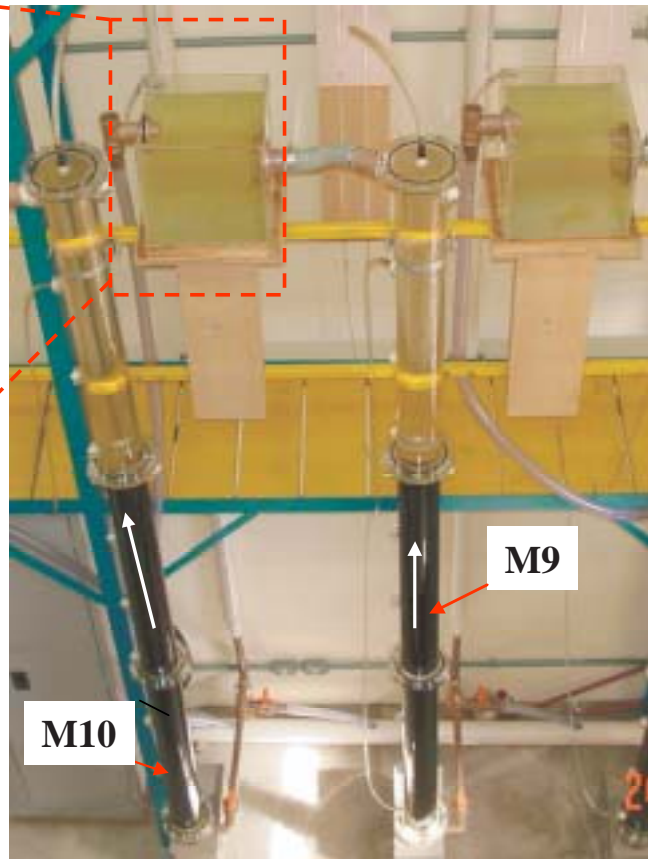


FOTO 15 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com os materiais m9 e m10



FOTO 16 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com o material m8 – separação do leito por colmatção

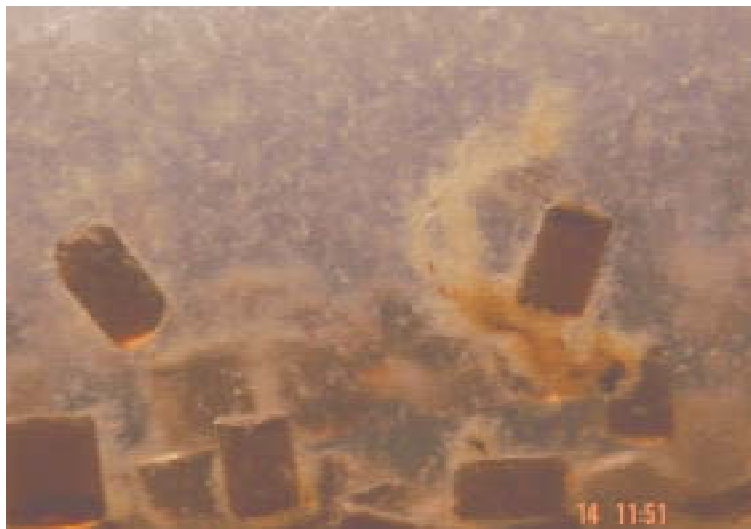


FOTO 18 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com o material m10 – aspecto dos flocos emergentes



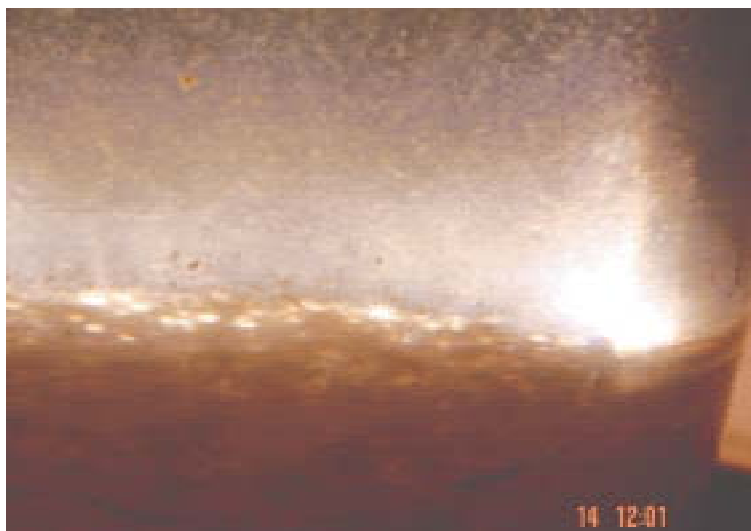
FOTO 17 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com o material m9 – aspecto dos flocos retidos

FOTOGRAFIAS



Características do ensaio Nfloc6:
Material: M7 (Cycogel)
Espessura do leito: 1,8 m
Taxa: 389 m³/m².d
G = 40 s⁻¹
T = 5 min.
GT = 11920
Coagulante: 16,6 mg/L de
Sulfato de Alumínio

FOTO 19 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com o material m7 – aspecto
dos flocos emergentes



Características do ensaio Nfloc6:
Material: M6 (Polystrol)
Espessura do leito: 1,8 m
Taxa: 389 m³/m².d
G = 44 s⁻¹
T = 3,65 min.
GT = 9636
Coagulante: 16,6 mg/L de
Sulfato de Alumínio

FOTO 20 - sistema piloto de floculação.
Ensaio com o material m6 – aspecto
dos flocos emergentes

APÊNDICE III

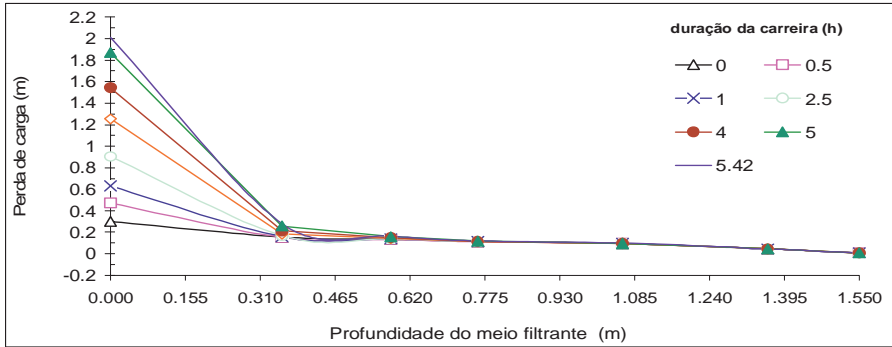
Planilha A13-1 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta com pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº: c11cpf1	Taxa de filtração (m3/m2.d): 200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT): 6.34	Cor aparente (uH): 85	Gmr(1/s): 1200
Temp. °C: 21.5	Alcalinidade total (mg/LCaCo3): 6.2	Fitoplâncton (ind/mL):	Tmr (s): 30
Cor verdadeira(uH): 8	Condutividade (uS/cm): 70	pH: 6.6	STD(ppm): 35
Características da floculação granular »»			
Material usado no floculador: M06	Altura inicial (cm): 161	Temperatura média da água (°C): 22.2	
Expansão média do leito (%): 53.6	Gradiente de velocidade médio (1/s): 53	GT médio: 9275	
Tempo médio de floculação (s): 175			

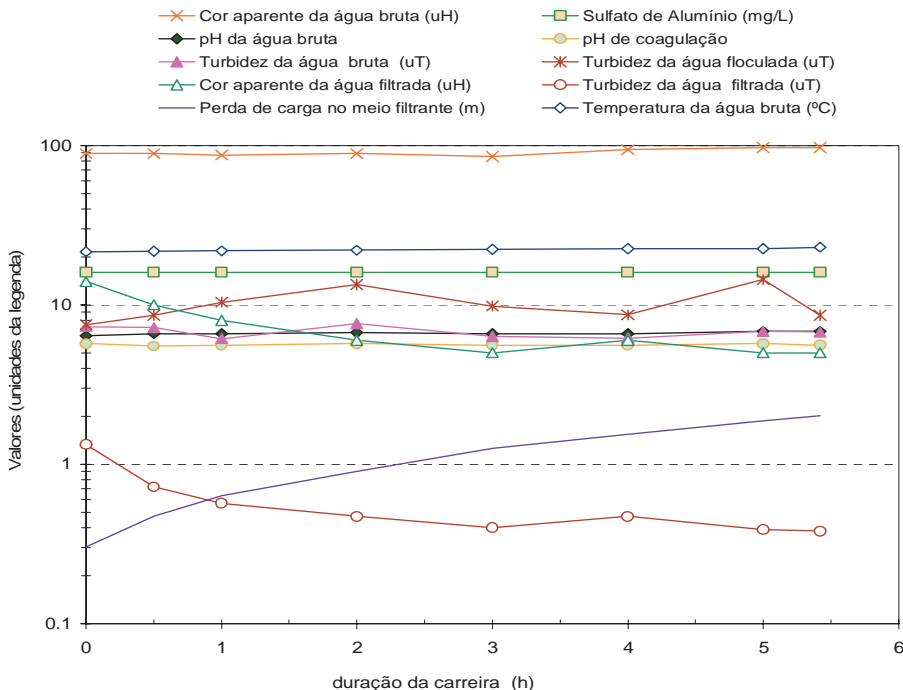
características do meio filtrante
 Meio = L2 - camada dupla
 Carvão antracitoso: tef = 1,1mm
 Areia: tef = 0,5mm

profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)							
	0	0.5	1	2.5	3	4	5	5.42
0.000	0.302	0.473	0.633	0.905	1.255	1.545	1.87	2.01
0.355	0.156	0.154	0.161	0.168	0.185	0.214	0.259	0.282
0.580	0.138	0.134	0.14	0.141	0.144	0.15	0.16	0.168
0.760	0.115	0.113	0.116	0.116	0.116	0.116	0.118	0.12
1.060	0.098	0.097	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.1
1.360	0.047	0.046	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
1.550	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)								Médias
	0	0.5	1	2	3	4	5	5.42	
Cor aparente da água bruta (uH)	89	89	87	89	85	94	97	97	90.9
Sulfato de Alumínio (mg/L)	16	16	16	16	16	16	16	16	16
pH da água bruta	6.4	6.6	6.6	6.7	6.6	6.6	6.8	6.8	6.6
pH de coagulação	5.7	5.5	5.6	5.7	5.6	5.6	5.7	5.6	5.6
Turbidez da água bruta (uT)	7.3	7.18	6.13	7.61	6.34	6.19	6.79	6.75	6.8
Turbidez da água floculada (uT)	7.5	8.6	10.4	13.4	9.84	8.64	14.4	8.62	10.2
Cor aparente da água filtrada (uH)	14	10	8	6	5	6	5	5	7.4
Turbidez da água filtrada (uT)	1.33	0.72	0.57	0.47	0.4	0.47	0.39	0.38	0.6
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.302	0.473	0.633	0.905	1.255	1.545	1.87	2.01	
Temperatura da água bruta (°C)	21.5	21.7	21.8	22	22.3	22.5	22.5	23	22.2
pH da água filtrada	5.7	5.8	5.6	5.6	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6
Expansão do material no floculador %	54	53	53.5	54	53.4	54	53.5	53.5	53.6
Perda de carga no floculador (cm)	4.4	4.6	4.5	4.7	4.3	4.3	4.5	4.6	4.5
Tamanho dos flocos (IW = mm)	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,5 a 0,75	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,5 a 0,75	0,3 a 0,5	



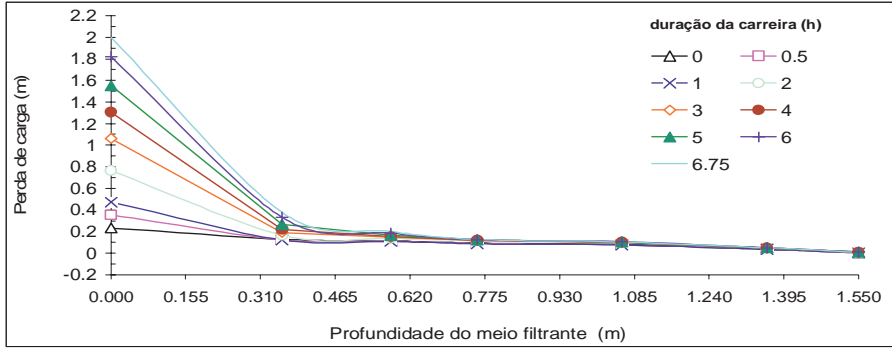
Planilha A13-2 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta com pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº: c11cpf2	Taxa de filtração (m3/m2.d): 200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT): 7.86	Cor aparente (uH): 92	Gmr(1/s) 1200
Temp. °C: 22.8	Alcalinidade total (mg/LCaCo3): 6.9	Fitoplâncton (ind/mL)	Tmr (s) 30
Cor verdadeira(uH): 10	Condutividade (uS/cm): 74	pH: 6.7	STD(ppm): 37
Características da floculação granular » »			
Material usado no floculador: M06	Altura inicial (cm) 161	Temperatura média da água (°C) 22.9	Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d): 733
Expansão média do leito (%): 53.3	Gradiente de velocidade médio (1/s): 53	GT médio 9275	
Tempo médio de floculação (s): 175			

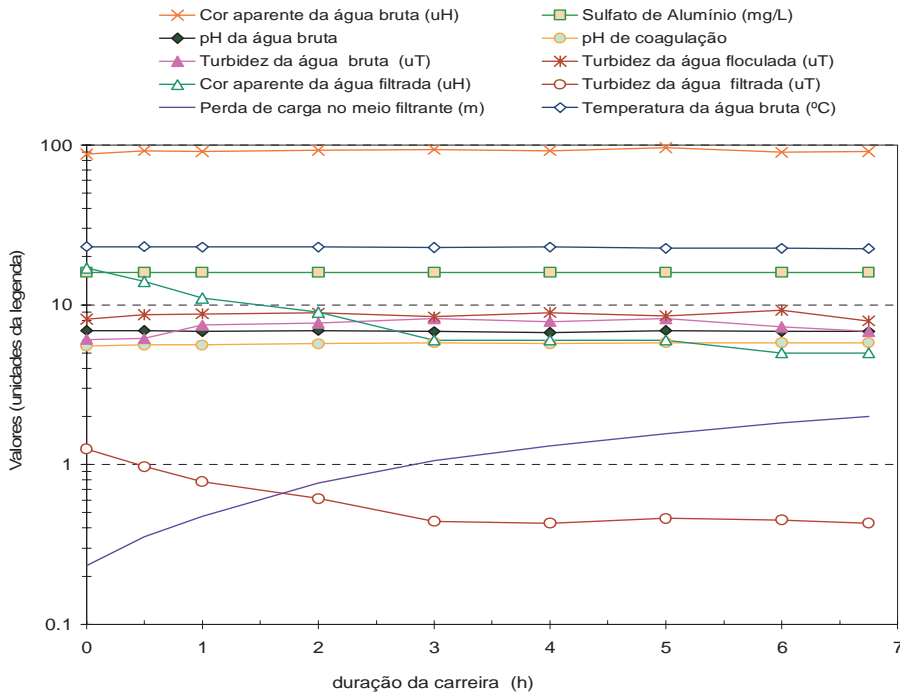
características do meio filtrante
 Meio = L2 - camada dupla
 Carvão antracitoso: tef = 1,1mm
 Areia: tef = 0,5mm

profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)								
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	6.75
0.000	0.234	0.354	0.472	0.766	1.063	1.308	1.552	1.822	2
0.355	0.127	0.123	0.123	0.165	0.191	0.221	0.267	0.331	0.377
0.580	0.113	0.109	0.107	0.139	0.146	0.152	0.164	0.186	0.202
0.760	0.093	0.09	0.088	0.115	0.117	0.118	0.122	0.125	0.127
1.060	0.079	0.077	0.075	0.098	0.1	0.1	0.1015	0.104	0.1035
1.360	0.037	0.035	0.034	0.047	0.048	0.048	0.0485	0.049	0.0485
1.550	0.004	0.003	0.003	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)									Médias
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	6.75	
Cor aparente da água bruta (uH)	88	92	91	93	94	92	96	90	91	91.9
Sulfato de Alumínio (mg/L)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
pH da água bruta	6.9	6.9	6.8	6.9	6.8	6.7	6.9	6.8	6.8	6.8
pH de coagulação	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.7	5.8	5.8	5.8	5.7
Turbidez da água bruta (uT)	6.08	6.14	7.44	7.69	8.2	7.86	8.19	7.28	6.8	7.3
Turbidez da água floculada (uT)	8.11	8.67	8.77	8.88	8.4	8.96	8.54	9.24	7.93	8.6
Cor aparente da água filtrada (uH)	17	14	11	9	6	6	6	5	5	8.8
Turbidez da água filtrada (uT)	1.25	0.97	0.78	0.61	0.44	0.43	0.46	0.45	0.43	0.6
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.234	0.354	0.472	0.766	1.063	1.308	1.552	1.822	2	
Temperatura da água bruta (°C)	23.1	23.1	23	23	22.8	23	22.6	22.6	22.5	22.9
pH da água filtrada	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.6
Expansão do material no floculador %	53.4	53.4	53.4	53.4	53.4	53.4	53.4	53.4	52.2	53.3
Perda de carga no floculador (cm)	4.9	4.7	4.6	4.6	4.5	4.5	4.6	4.9	4.6	4.7
Tamanho dos flocos (IW = mm)	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,5 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	



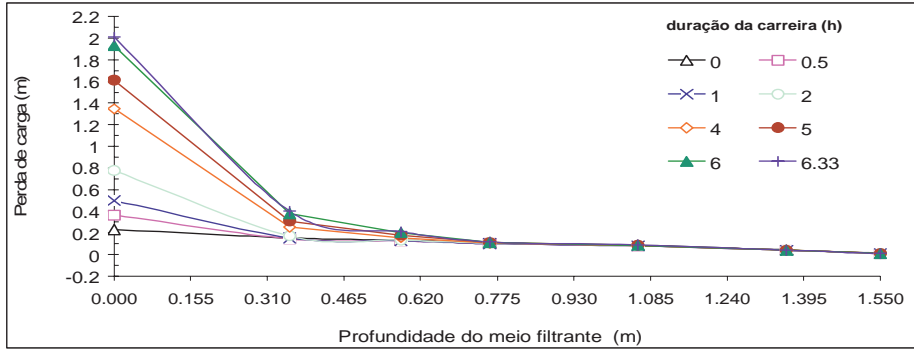
Planilha A13-3 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		com pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº:	c11cpf3	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	5.19	Cor aparente (uH):	82	Gmr(1/s): 1200
Temp. °C: 22.5	Alcalinidade total (mg/LCaCo ₃):	6.4	Fitoplâncton (ind/mL):		Tmr (s): 30
Cor verdadeira(uH):	Conductividade (uS/cm):	68	pH: 6.5	STD(ppm):	34
Características da floculação granular »			Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d): 733		
Material usado no floculador:	M06	Altura inicial (cm):	161	Temperatura média da água (°C):	22.9
Expansão média do leito (%):	53.2	Gradiente de velocidade médio (1/s):	53	GT médio:	9222
Tempo médio de floculação (s):	174				

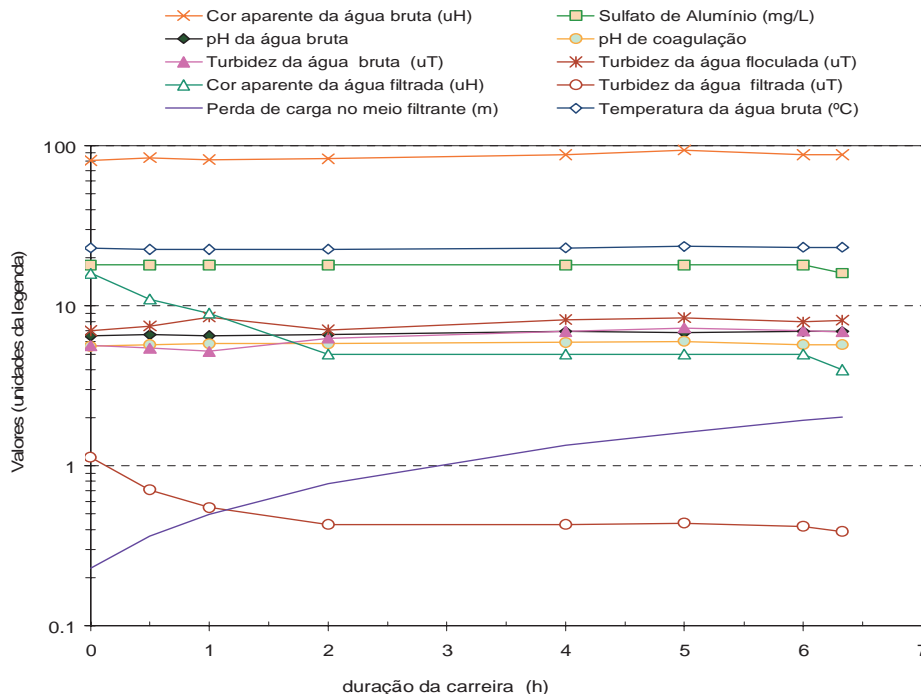
características do meio filtrante
 Meio = L2 - camada dupla
 Carvão antracitoso: tef = 1,1mm
 Areia: tef = 0,5mm

profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)							
	0	0.5	1	2	4	5	6	6.33
0.000	0.23	0.365	0.498	0.776	1.348	1.612	1.932	2.01
0.355	0.152	0.146	0.152	0.17	0.252	0.308	0.378	0.4
0.580	0.133	0.126	0.128	0.133	0.155	0.175	0.203	0.212
0.760	0.105	0.099	0.099	0.104	0.106	0.109	0.112	0.114
1.060	0.086	0.08	0.08	0.082	0.085	0.085	0.086	0.087
1.360	0.042	0.039	0.039	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
1.550	0.009	0.007	0.007	0.008	0.009	0.008	0.008	0.008



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)								Médias
	0	0.5	1	2	4	5	6	6.33	
Cor aparente da água bruta (uH)	81	84	82	83	88	94	88	88	86
Sulfato de Alumínio (mg/L)	18	18	18	18	18	18	18	18	17.8
pH da água bruta	6.5	6.6	6.5	6.6	6.9	6.8	6.9	6.9	6.7
pH de coagulação	5.6	5.7	5.8	5.8	5.9	6	5.7	5.7	5.8
Turbidez da água bruta (uT)	5.64	5.44	5.19	6.3	6.93	7.26	6.99	6.88	6.3
Turbidez da água floculada (uT)	7	7.46	8.5	7.08	8.22	8.43	7.92	8.1	7.8
Cor aparente da água filtrada (uH)	16	11	9	5	5	5	5	4	7.5
Turbidez da água filtrada (uT)	1.13	0.71	0.55	0.43	0.43	0.44	0.42	0.39	0.6
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.23	0.365	0.498	0.776	1.348	1.612	1.932	2.01	
Temperatura da água bruta (°C)	23	22.5	22.5	22.6	23	23.5	23.2	23.2	22.9
pH da água filtrada	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.6	5.7	5.7
Expansão do material no floculador %	54	53	53	53	52.8	53	54	53	53.2
Perda de carga no floculador (cm)	5	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Tamanhos dos flocos (IW = mm)	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,5 a 0,5	0,3 a 0,5	



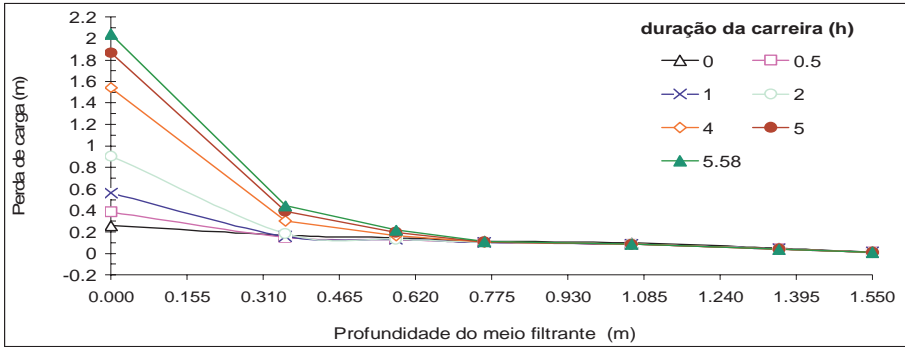
Planilha A13-4 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		com pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste N°:	c11cpf4	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri		Turbidez(uT):	6.12	Cor aparente (uH):	83
Temp. °C:	22	Alcalinidade total (mg/LCaCo3):	10.6	Fitoplâncton (ind/mL):	30
Cor verdadeira(uH):	9	Condutividade (uS/cm):	70	pH:	6.6
Características da floculação granular »		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		STD(ppm):	
Material usado no floculador:	M06	Altura inicial (cm):	161	Temperatura média da água (°C):	23.3
Expansão média do leito (%):	53.5	Gradiente de velocidade médio (1/s):	53	GT médio	9275
Tempo médio de floculação (s):	175				

características do meio filtrante
 Meio = L2 - camada dupla
 Carvão antracitoso: tef = 1,1mm
 Areia: tef = 0,5mm

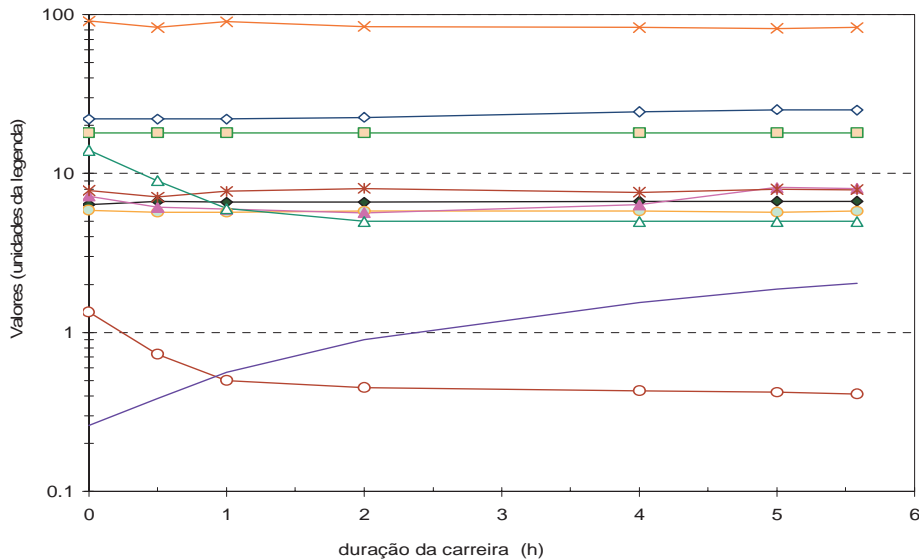
profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)						
	0	0.5	1	2	4	5	5.58
0.000	0.259	0.386	0.562	0.904	1.541	1.866	2.04
0.355	0.167	0.151	0.158	0.185	0.302	0.393	0.442
0.580	0.145	0.127	0.13	0.134	0.164	0.197	0.216
0.760	0.115	0.102	0.102	0.104	0.104	0.108	0.11
1.060	0.097	0.086	0.086	0.087	0.085	0.085	0.085
1.360	0.047	0.04	0.04	0.04	0.039	0.039	0.038
1.550	0.012	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)							Médias
	0	0.5	1	2	4	5	5.58	
Cor aparente da água bruta (uH)	91	83	90	84	83	82	83	85.1
Sulfato de Alumínio (mg/L)	18	18	18	18	18	18	18	18
pH da água bruta	6.4	6.7	6.6	6.6	6.7	6.7	6.7	6.6
pH de coagulação	5.9	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8	5.8
Turbidez da água bruta (uT)	7.23	6.12	5.97	5.67	6.35	8.16	8.05	6.8
Turbidez da água floculada (uT)	7.82	7.12	7.72	8.07	7.64	7.98	7.9	7.8
Cor aparente da água filtrada (uH)	14	9	6	5	5	5	5	7
Turbidez da água filtrada (uT)	1.34	0.73	0.5	0.45	0.43	0.42	0.41	0.6
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.259	0.386	0.562	0.904	1.541	1.866	2.04	
Temperatura da água bruta (°C)	22	22	22	22.5	24.5	25.2	25	23.3
pH da água filtrada	5.7	5.8	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6	5.7
Expansão do material no floculador %	53	54	54	54.7	52.5	53	53.5	53.5
Perda de carga no floculador (cm)	4.9	4.8	5	5	4.6	4.6	4.6	4.8
Tamanho dos flocos (IW = mm)	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,5 a 0,5	

- x— Cor aparente da água bruta (uH)
- ◆— pH da água bruta
- ▲— Turbidez da água bruta (uT)
- △— Cor aparente da água filtrada (uH)
- Sulfato de Alumínio (mg/L)
- pH de coagulação
- *— Turbidez da água floculada (uT)
- ◇— Turbidez da água filtrada (uT)
- ▲— Perda de carga no meio filtrante (m)
- ◇— Temperatura da água bruta (°C)



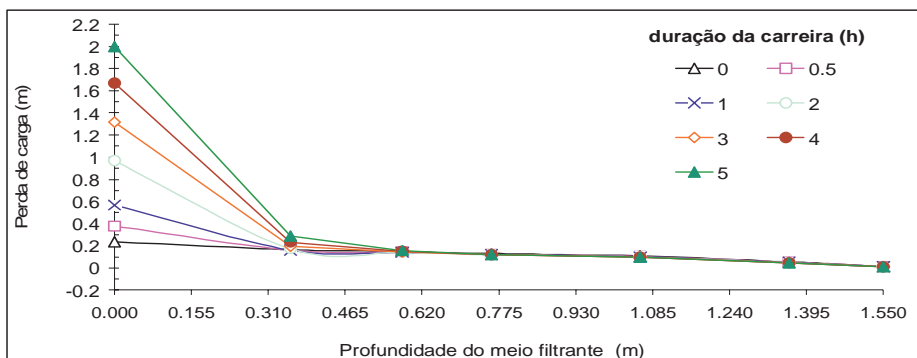
Planilha A13-5 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº: c11spfl	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d): 200		Mistura rápida:		
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT): 7.83	Cor aparente (uH): 97		Gmr(1/s): 1200	
Temp. °C: 23.5	Alcalinidade total (mg/LCaCo ₃): 6.2	Fitoplâncton (ind/mL):		Tmr (s): 30	
Cor verdadeira(uH): 9	Condutividade (uS/cm): 70		pH: 6.7	STD(ppm): 35	
Características da floculação granular »»			Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		
Material usado no floculador:		Altura inicial (cm)		Temperatura média da água (°C)	
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		GT médio	
Tempo médio de floculação (s):					

características do meio filtrante
 Meio = L2 - camada dupla
 Carvão antracitoso: tef = 1,1mm
 Areia: tef = 0,5mm

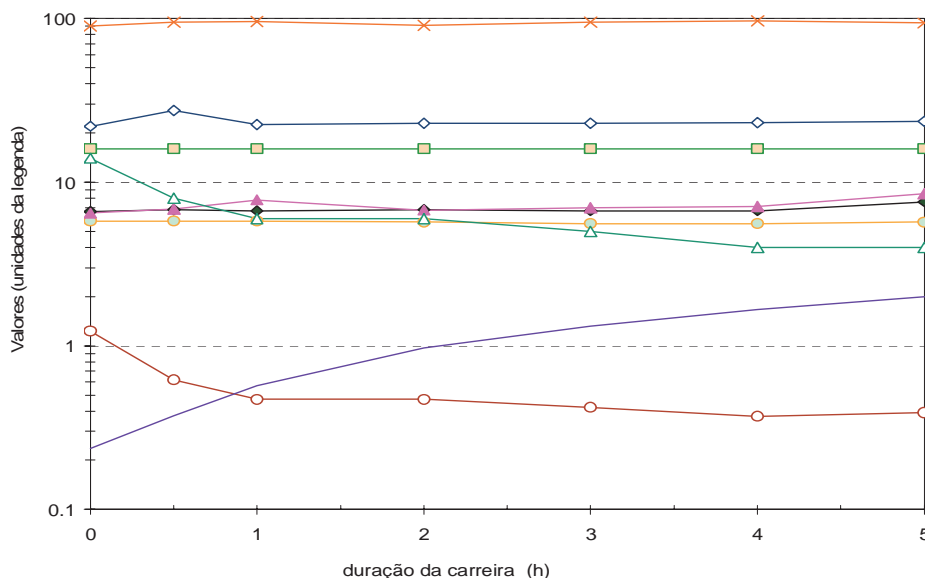
profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)						
	0	0.5	1	2	3	4	5
0.000	0.236	0.375	0.568	0.968	1.318	1.666	2
0.355	0.165	0.16	0.16	0.172	0.194	0.232	0.289
0.580	0.148	0.141	0.14	0.14	0.143	0.149	0.157
0.760	0.129	0.122	0.121	0.12	0.12	0.12	0.12
1.060	0.107	0.102	0.1	0.097	0.097	0.097	0.096
1.360	0.055	0.051	0.049	0.047	0.046	0.046	0.045
1.550	0.014	0.012	0.011	0.011	0.01	0.01	0.009



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)							Médias
	0	0.5	1	2	3	4	5	
Cor aparente da água bruta (uH)	90	95	96	91	95	97	94	94
Sulfato de Alumínio (mg/L)	16	16	16	16	16	16	16	16
pH da água bruta	6.6	6.8	6.7	6.8	6.7	6.7	7.6	6.8
pH de coagulação	5.8	5.8	5.8	5.7	5.6	5.6	5.7	5.7
Turbidez da água bruta (uT)	6.46	6.84	7.81	6.76	6.98	7.11	8.52	7.2
Cor aparente da água filtrada (uH)	14	8	6	6	5	4	4	6.7
Turbidez da água filtrada (uT)	1.23	0.62	0.47	0.47	0.42	0.37	0.39	0.6
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.236	0.375	0.568	0.968	1.318	1.666	2	
Temperatura da água bruta (°C)	22	27.5	22.5	23	23	23.1	23.5	23.5
pH da água filtrada	5.7	5.7	5.7	5.6	5.6	5.5	5.7	5.6

- ✕ Cor aparente da água bruta (uH)
- ◆ pH da água bruta
- ▲ Turbidez da água bruta (uT)
- Turbidez da água filtrada (uT)
- ◇ Temperatura da água bruta (°C)
- Sulfato de Alumínio (mg/L)
- pH de coagulação
- △ Cor aparente da água filtrada (uH)
- Perda de carga no meio filtrante (m)



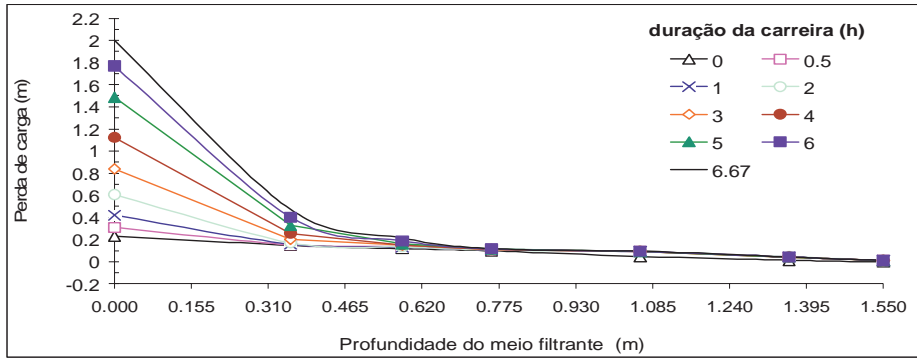
Planilha A13-6 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº:	c11spf2	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	5.53	Cor aparente (uH):	79	Gmr(1/s): 1200
Temp. °C: 23.5	Alcalinidade total (mg/LCaCo3):	7.5	Fitoplâncton (ind/mL):		Tmr (s): 30
Cor verdadeira(uH): 9	Condutividade (uS/cm):	66	pH: 6.7	STD(ppm):	33
Características da floculação granular »»					
Material usado no floculador:		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		Temperatura média da água (°C):	
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		GT médio	
Tempo médio de floculação (s):					

características do meio filtrante
 Meio = L2 - camada dupla
 Carvão antracitoso: tef = 1,1mm
 Areia: tef = 0,5mm

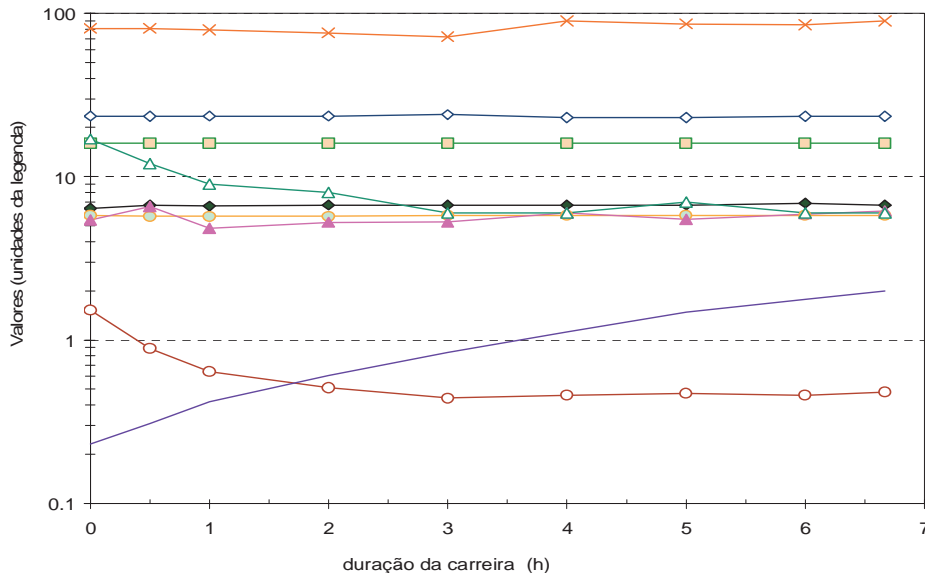
profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)									
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	6.67	
0.000	0.231	0.307	0.419	0.605	0.838	1.121	1.485	1.767	2	
0.355	0.147	0.151	0.156	0.17	0.2	0.256	0.327	0.401	0.471	
0.580	0.116	0.134	0.13	0.133	0.149	0.149	0.163	0.187	0.213	
0.760	0.098	0.107	0.106	0.105	0.108	0.109	0.111	0.114	0.118	
1.060	0.047	0.091	0.09	0.092	0.091	0.091	0.093	0.093	0.095	
1.360	0.011	0.042	0.042	0.043	0.042	0.042	0.041	0.042	0.042	
1.550	0	0.008	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)										Médias
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	6.67		
Cor aparente da água bruta (uH)	81	81	79	76	72	90	86	85	90	81.3	
Sulfato de Alumínio (mg/L)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
pH da água bruta	6.4	6.7	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.9	6.7	6.7	
pH de coagulação	5.8	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	
Turbidez da água bruta (uT)	5.44	6.54	4.83	5.25	5.27	6	5.46	5.91	6.15	5.6	
Cor aparente da água filtrada (uH)	17	12	9	8	6	6	7	6	6	8.9	
Turbidez da água filtrada (uT)	1.52	0.89	0.64	0.51	0.44	0.46	0.47	0.46	0.48	0.7	
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.231	0.307	0.419	0.605	0.838	1.121	1.485	1.767	2	23.4	
Temperatura da água bruta (°C)	23.5	23.4	23.5	23.5	24	23	23	23.4	23.4	23.4	
pH da água filtrada	5.4	5.5	5.8	5.8	5.6	5.7	5.8	5.6	5.6	5.7	

- x— Cor aparente da água bruta (uH)
- ◆— pH da água bruta
- ▲— Turbidez da água bruta (uT)
- Turbidez da água filtrada (uT)
- ◇— Temperatura da água bruta (°C)
- Sulfato de Alumínio (mg/L)
- pH de coagulação
- △— Cor aparente da água filtrada (uH)
- ▲— Perda de carga no meio filtrante (m)



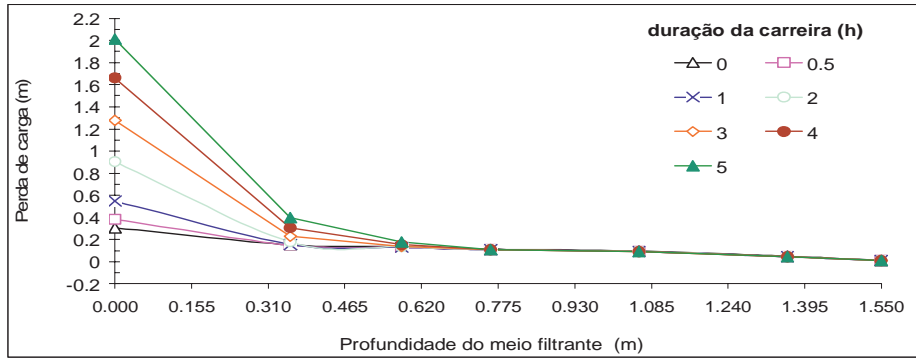
Planilha A13-7 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste N°: c11spf3	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d): 200		Mistura rápida:		
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT): 4.96	Cor aparente (uH): 75		Gmr(1/s): 1200	
Temp. °C: 22.1	Alcalinidade total (mg/LCaCo ₃): 11.7	Fitoplâncton (ind/mL):		Tmr (s): 30	
Cor verdadeira(uH): 8	Condutividade (uS/cm): 58	pH: 6.7		STD(ppm): 29	
Características da floculação granular »»			Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		
Material usado no floculador:		Altura inicial (cm)		Temperatura média da água (°C):	
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		GT médio	
Tempo médio de floculação (s):					

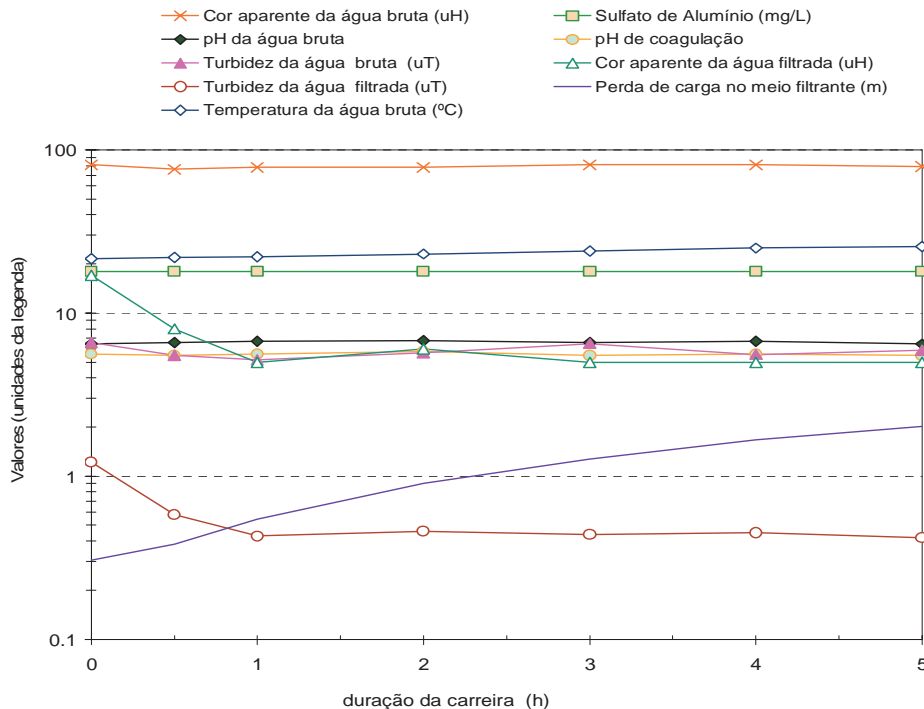
características do meio filtrante
 Meio = L2 - camada dupla
 Carvão antracitoso: tef = 1,1mm
 Areia: tef = 0,5mm

profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)						
	0	0.5	1	2	3	4	5
0.000	0.306	0.382	0.546	0.904	1.277	1.662	2.015
0.355	0.152	0.15	0.154	0.178	0.227	0.305	0.4
0.580	0.135	0.129	0.13	0.134	0.137	0.151	0.177
0.760	0.112	0.107	0.108	0.108	0.107	0.106	0.106
1.060	0.096	0.093	0.092	0.092	0.09	0.089	0.089
1.360	0.048	0.045	0.045	0.045	0.043	0.043	0.043
1.550	0.01	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)							Médias
	0	0.5	1	2	3	4	5	
Cor aparente da água bruta (uH)	81	76	78	78	81	81	79	79.1
Sulfato de Alumínio (mg/L)	18	18	18	18	18	18	18	18
pH da água bruta	6.5	6.6	6.7	6.8	6.6	6.7	6.45	6.6
pH de coagulação	5.6	5.5	5.6	5.8	5.5	5.6	5.5	5.6
Turbidez da água bruta (uT)	6.61	5.49	5.17	5.7	6.5	5.58	5.91	5.9
Cor aparente da água filtrada (uH)	17	8	5	6	5	5	5	7.3
Turbidez da água filtrada (uT)	1.22	0.58	0.43	0.46	0.44	0.45	0.42	0.6
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.306	0.382	0.546	0.904	1.277	1.662	2.015	
Temperatura da água bruta (°C)	21.5	22	22.1	23	24	25	25.6	23.3
pH da água filtrada	5.8	5.7	5.5	5.9	5.5	5.4	5.3	5.6



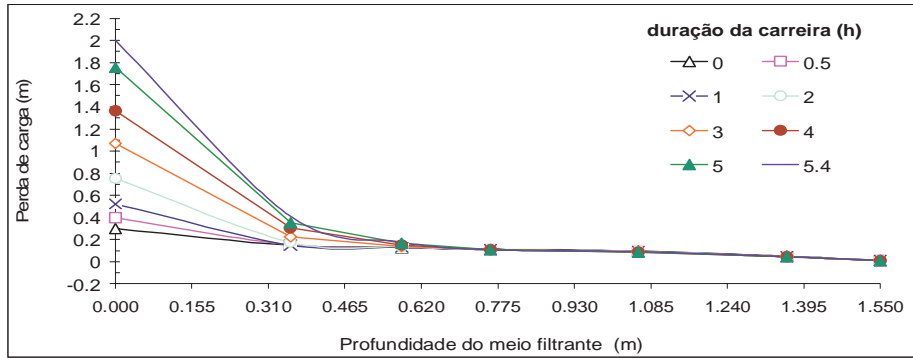
Planilha A13-8 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

características do meio filtrante
 Meio = L2 - camada dupla
 Carvão antracitoso: tef = 1,1mm
 Areia: tef = 0,5mm

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste N°: c11spf4	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d): 200		Mistura rápida:		
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT): 5.3	Cor aparente (uH): 81	Gmr(1/s): 1200	Tmr (s): 30	
Temp. °C: 23	Alcalinidade total (mg/LCaCo ₃): 10.5	Fitoplâncton (ind/mL):	STD(ppm): 32		
Cor verdadeira(uH): 9	Condutividade (uS/cm): 64	pH: 6.87			
Características da floculação granular » »			Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		
Material usado no floculador:	Altura inicial (cm)	Temperatura média da água (°C):			
Expansão média do leito (%):	Gradiente de velocidade médio (1/s):	GT médio			
Tempo médio de floculação (s):					

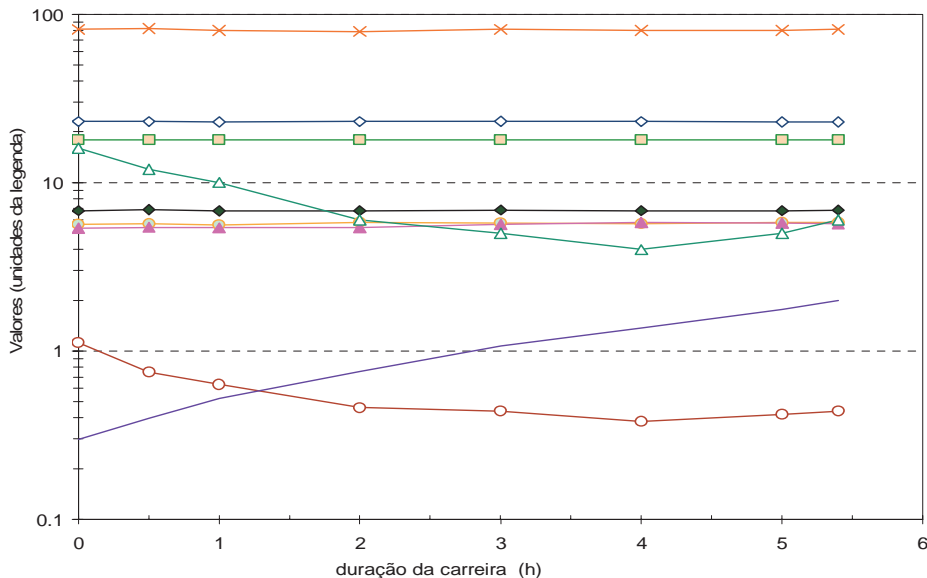
profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)								
	0	0.5	1	2	3	4	5	5.4	
0.000	0.298	0.396	0.521	0.752	1.067	1.362	1.754	2	
0.355	0.148	0.149	0.15	0.174	0.225	0.302	0.351	0.41	
0.580	0.128	0.129	0.13	0.134	0.138	0.149	0.168	0.175	
0.760	0.111	0.107	0.108	0.108	0.106	0.106	0.106	0.107	
1.060	0.096	0.093	0.092	0.092	0.09	0.088	0.088	0.089	
1.360	0.048	0.045	0.045	0.045	0.043	0.043	0.043	0.043	
1.550	0.01	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)									Médias
	0	0.5	1	2	3	4	5	5.4		
Cor aparente da água bruta (uH)	81	82	80	79	81	80	80	81	80.5	
Sulfato de Alumínio (mg/L)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
pH da água bruta	6.8	6.9	6.78	6.81	6.85	6.8	6.82	6.85	6.8	
pH de coagulação	5.65	5.7	5.6	5.81	5.75	5.7	5.77	5.78	5.7	
Turbidez da água bruta (uT)	5.35	5.41	5.38	5.4	5.65	5.8	5.74	5.7	5.6	
Cor aparente da água filtrada (uH)	16	12	10	6	5	4	5	6	8	
Turbidez da água filtrada (uT)	1.12	0.75	0.63	0.46	0.44	0.38	0.42	0.44	0.6	
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.298	0.396	0.521	0.752	1.067	1.362	1.754	2	23	
Temperatura da água bruta (°C)	23	23	22.9	23	23.1	23	22.9	22.8	23	
pH da água filtrada	5.7	5.75	5.7	5.85	5.8	5.72	5.8	5.8	5.8	

- x— Cor aparente da água bruta (uH)
- ◆— pH da água bruta
- ▲— Turbidez da água bruta (uT)
- Turbidez da água filtrada (uT)
- ◇— Temperatura da água bruta (°C)
- Sulfato de Alumínio (mg/L)
- pH de coagulação
- △— Cor aparente da água filtrada (uH)
- Perda de carga no meio filtrante (m)



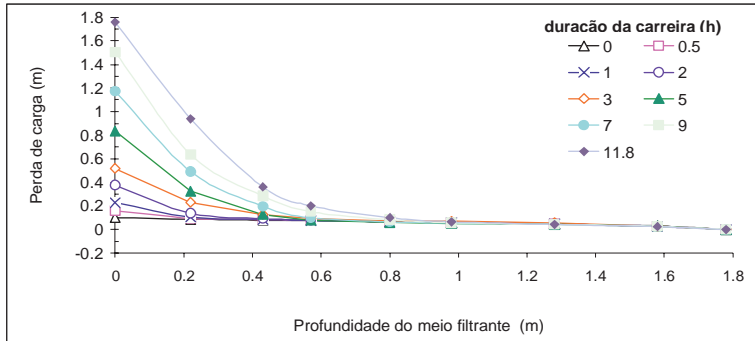
Planilha A13-9 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		com pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio			
Teste Nº:	Ec25cpf1	Taxa de filtração (m3/m2.d):	200	Mistura rápida:			
Água Bruta:	Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	3.26	Cor aparente (uH):	57	Gmr(1/s)	1200
Temp. °C:	27.6	Alcalinidade total (mg/LCaCo3):	8.5	Fitoplâncton (ind/mL)	30		
Cor verdadeira(uH):	6	Condutividade (uS/cm):	71	pH:	6.56	STD(ppm):	35
Características da floculação granular »»							
Material usado no floculador:	M06	Altura inicial (cm)	161	Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):	733		
Expansão média do leito (%):	47	Temperatura média da água (°C)	27.2				
Tempo médio de floculação (s):	163	Gradiente de velocidade médio (1/s):	60	GT médio	9780		

características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

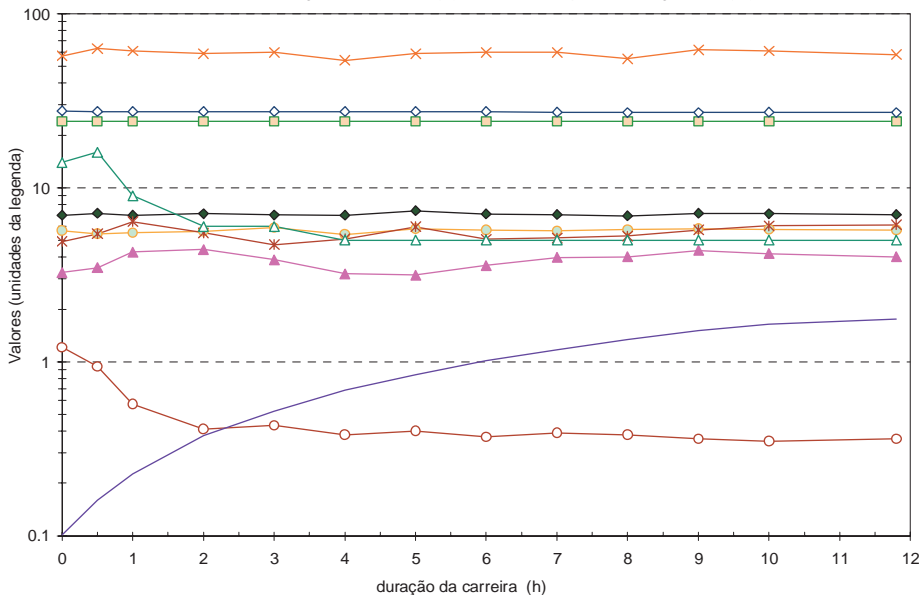
profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)												
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11.8
0	0.101	0.16	0.227	0.377	0.517	0.687	0.837	1.013	1.173	1.343	1.503	1.643	1.76
0.22	0.087	0.094	0.106	0.138	0.23	0.284	0.325	0.411	0.491	0.565	0.634	0.741	0.94
0.43	0.079	0.082	0.084	0.092	0.129	0.151	0.128	0.168	0.197	0.241	0.285	0.351	0.362
0.57	0.078	0.075	0.075	0.078	0.092	0.103	0.078	0.088	0.098	0.128	0.151	0.196	0.201
0.8	0.065	0.066	0.064	0.066	0.07	0.073	0.06	0.061	0.065	0.072	0.082	0.102	0.102
0.98	0.06	0.06	0.057	0.059	0.069	0.07	0.052	0.053	0.053	0.055	0.059	0.065	0.065
1.28	0.047	0.046	0.045	0.046	0.055	0.055	0.041	0.042	0.041	0.042	0.042	0.042	0.042
1.58	0.028	0.027	0.026	0.027	0.026	0.026	0.028	0.026	0.026	0.025	0.026	0.024	0.024
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)												médias	
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11.8
Cor aparente da água bruta (uH)	57	63	61	59	60	54	59	60	60	55	62	61	58	59.2
Sulfato de Alumínio (mg/L)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
pH da água bruta	6.96	7.13	6.95	7.08	6.98	6.96	7.36	7.05	7	6.89	7.12	7.09	7.01	7
pH de coagulação	5.66	5.44	5.52	5.62	5.9	5.4	5.8	5.7	5.65	5.74	5.82	5.77	5.71	5.7
Turbidez da água bruta (uT)	3.26	3.46	4.26	4.42	3.86	3.2	3.15	3.57	3.97	4.01	4.35	4.17	4	3.8
Turbidez da água floculada (uT)	4.91	5.44	6.4	5.49	4.7	5.08	5.95	5.04	5.13	5.28	5.7	6.04	6.13	5.5
Cor aparente da água filtrada (uH)	14	16	9	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	7
Turbidez da água filtrada (uT)	1.21	0.94	0.57	0.41	0.43	0.38	0.4	0.37	0.39	0.38	0.36	0.35	0.36	0.5
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.101	0.16	0.227	0.377	0.517	0.687	0.837	1.013	1.173	1.343	1.503	1.643	1.76	
Temperatura da água bruta (°C)	27.6	27.4	27.4	27.3	27.4	27.3	27.3	27.3	27.1	27	27	27.1	27	27.2
pH da água filtrada	5.31	5.83	5.83	5.56	5.8	6.02	6.04	6	5.95	6.1	5.94	5.96	5.94	5.9
Expansão do material no floculador %	47	47	47	47	47	47	47.5	47	47	47	47	47	47	47
Perda de carga no floculador (cm)	5.7	4.9	3.9	3.8	3.9	3.8	4	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	4.1
Tamanho dos flocos (IW = mm)	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	

- x— Cor aparente da água bruta (uH)
- pH da água bruta
- ▲— Turbidez da água bruta (uT)
- △— Cor aparente da água filtrada (uH)
- Perda de carga no meio filtrante (m)
- Sulfato de Alumínio (mg/L)
- ◇— pH de coagulação
- *— Turbidez da água floculada (uT)
- Turbidez da água filtrada (uT)
- ◇— Temperatura da água bruta (°C)



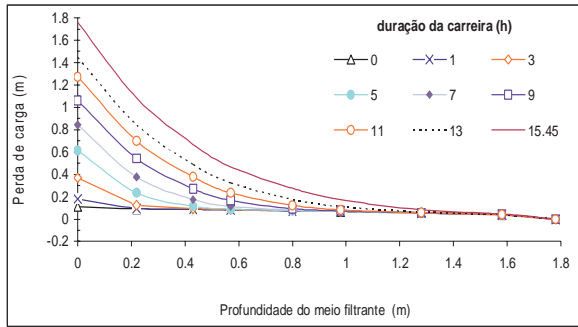
Planilha A13-10 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		com pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº:	Ec25cpf2	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	3.88	Cor aparente (uH):	56	Gmr(1/s):
Temp. °C: 21.5	Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃):	5.1	Fitoplâncton (ind/mL):		Tmr (s):
Cor verdadeira(uH):	5	Condutividade (uS/cm):	68	pH: 7.06	STD(ppm):
Características da floculação granular »»		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):			
Material usado no floculador:	M06	Altura inicial (cm):	161	Temperatura média da água (°C):	21.8
Expansão média do leito (%):	53.1	Gradiente de velocidade médio (1/s):	53	GT médio:	922.2
Tempo médio de floculação (s):	174				

características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

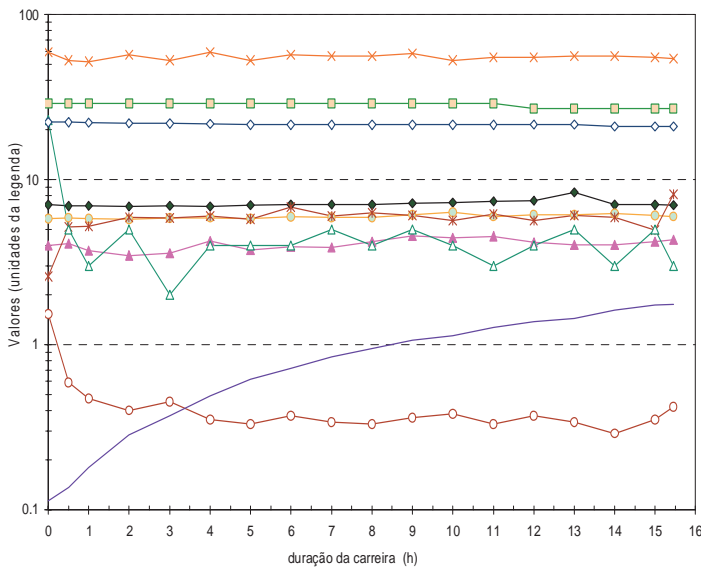
profundidade do meio filtrante

(m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)																	
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15.45
0	0.113	0.137	0.18	0.285	0.37	0.488	0.615	0.715	0.843	0.95	1.06	1.133	1.275	1.376	1.447	1.623	1.744	1.76
0.22	0.092	0.095	0.097	0.106	0.127	0.17	0.235	0.294	0.378	0.454	0.542	0.595	0.7	0.777	0.842	0.96	1.067	1.085
0.43	0.089	0.087	0.088	0.09	0.093	0.1	0.115	0.138	0.175	0.218	0.272	0.311	0.378	0.438	0.488	0.572	0.657	0.669
0.57	0.085	0.082	0.083	0.084	0.085	0.087	0.091	0.098	0.114	0.134	0.166	0.191	0.236	0.282	0.324	0.386	0.457	0.469
0.8	0.076	0.075	0.075	0.076	0.076	0.077	0.077	0.078	0.081	0.084	0.094	0.104	0.124	0.15	0.176	0.215	0.267	0.276
0.98	0.07	0.069	0.069	0.069	0.07	0.07	0.07	0.07	0.071	0.072	0.074	0.078	0.084	0.098	0.111	0.136	0.171	0.177
1.28	0.058	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.057	0.057	0.057	0.058	0.059	0.06	0.063	0.068	0.081	0.083
1.58	0.04	0.039	0.039	0.039	0.039	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.041	0.041	0.042	0.046	0.047
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15.45	médias
Cor aparente da água bruta (uH)	59	53	52	57	53	59	53	57	56	56	58	53	55	55	56	56	55	54	55.5
Sulfato de Alumínio (mg/L)	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	27	27	27	27	27	29
pH da água bruta	7.03	6.92	6.95	6.87	6.93	6.88	7.02	7.08	7.06	7.05	7.18	7.23	7.38	7.45	8.38	7.05	7.05	7.01	7
pH de coagulação	5.82	5.87	5.82	5.75	5.86	5.87	5.81	5.96	5.91	5.9	6.13	6.34	5.98	6.13	6.13	6.22	6.06	5.98	5.9
Turbidez da água bruta (uT)	3.99	4.08	3.72	3.47	3.58	4.27	3.76	3.91	3.88	4.2	4.56	4.43	4.54	4.17	4.03	4.03	4.2	4.32	4
Turbidez da água floculada (uT)	2.59	5.15	5.23	5.89	5.86	6	5.78	6.85	6	6.29	6.1	5.65	6.2	5.63	6.09	5.89	4.94	8.14	5.7
Cor aparente da água filtrada (uH)	23	5	3	5	2	4	4	4	5	4	5	4	3	4	5	3	5	3	5.5
Turbidez da água filtrada (uT)	1.53	0.59	0.47	0.4	0.45	0.35	0.33	0.37	0.34	0.33	0.36	0.38	0.33	0.37	0.34	0.29	0.35	0.42	0.5
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.113	0.137	0.18	0.285	0.37	0.488	0.615	0.715	0.843	0.95	1.06	1.133	1.275	1.376	1.447	1.623	1.744	1.76	
Temperatura da água bruta (°C)	22.3	22.3	22.1	22	21.9	21.7	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.6	21.6	21	21	21	21.8
pH da água filtrada	6.65	6.14	5.97	5.86	6.07	5.89	5.87	6.01	5.98	5.97	6.11	6.3	6.05	6.16	6.17	6.08	6.04	6.11	6.1
Expansão do material no floculador %	54	54	53	52.5	53	53	52.5	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53.1
Perda de carga no floculador (cm)	4.6	4.5	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
Tamanho dos flocos (IW = mm)	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5

- ✕ Cor aparente da água bruta (uH)
- ◆ pH da água bruta
- ▲ Turbidez da água bruta (uT)
- △ Cor aparente da água filtrada (uH)
- Perda de carga no meio filtrante (m)
- Sulfato de Alumínio (mg/L)
- pH de coagulação
- ✖ Turbidez da água floculada (uT)
- Turbidez da água filtrada (uT)
- ◇ Temperatura da água bruta (°C)



Ensaio de sedimentação		
realizado dentro da coluna de floculação após 15,4 hs de operação.		
	cor aparente uH	Turbidez uT
Água floculada		8.14
Água bruta	54	4.32
vs = 1,5 cm/min	35	3.55
vs = 0,75 cm/min	25	2.5

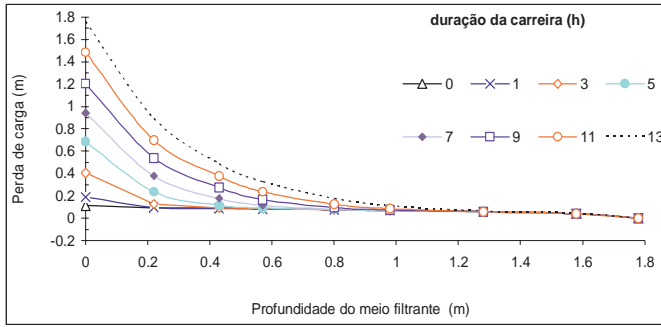
Planilha A13-11 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		com pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio				
Teste Nº:	Ec25cpf3	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:				
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	4.02	Cor aparente (uH):	61	Gmr(1/s)	1200		
Temp. °C:	22	Alcalinidade total (mg/LCaCO ₃):	6.5	Fitoplâncton (ind/mL)		Tmr (s)	30	
Cor verdadeira(uH):	7	Condutividade (uS/cm):	72	pH:	6.95	STD(ppm):	36	
Características da floculação granular »»				Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):				
Material usado no floculador:				M06	Altura inicial (cm):	161	Temperatura média da água (°C):	22.2
Expansão média do leito (%):				53.1	Gradiente de velocidade médio (1/s):	53	GT médio	9222
Tempo médio de floculação (s):				174				

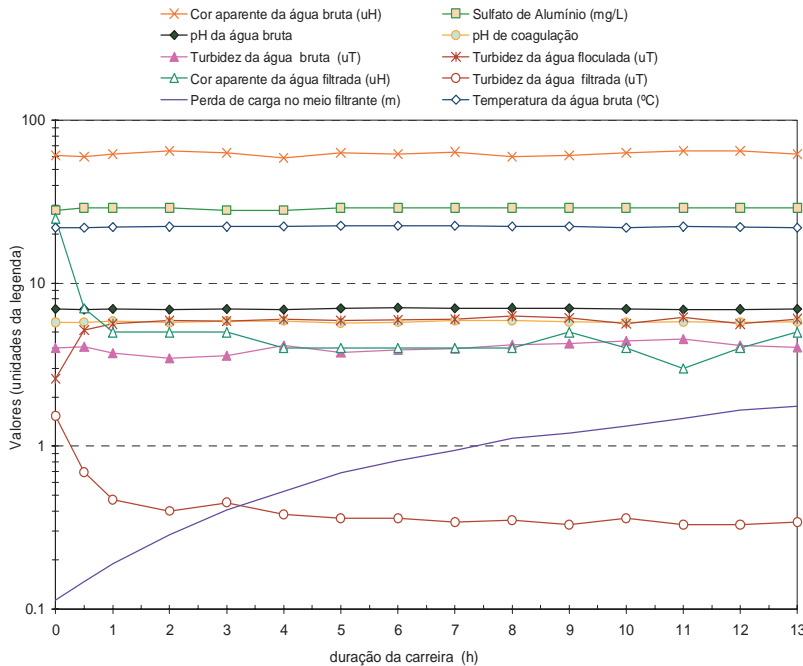
características do meio filtrante
 Meio = L1 - camada única
 Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

profundidade do meio filtrante

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)														
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0.113	0.147	0.19	0.285	0.405	0.528	0.685	0.815	0.943	1.115	1.206	1.333	1.485	1.656	1.76
0.22	0.091	0.095	0.097	0.106	0.128	0.17	0.236	0.294	0.378	0.452	0.54	0.596	0.698	0.775	0.892
0.43	0.089	0.087	0.088	0.09	0.093	0.1	0.115	0.138	0.175	0.218	0.272	0.311	0.378	0.438	0.488
0.57	0.085	0.082	0.083	0.084	0.085	0.087	0.091	0.098	0.114	0.134	0.166	0.191	0.236	0.282	0.324
0.8	0.075	0.075	0.075	0.076	0.076	0.076	0.076	0.077	0.081	0.083	0.093	0.104	0.124	0.15	0.176
0.98	0.07	0.069	0.069	0.069	0.07	0.07	0.07	0.07	0.071	0.072	0.074	0.078	0.084	0.098	0.111
1.28	0.058	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.057	0.057	0.057	0.058	0.059	0.06	0.063
1.58	0.04	0.039	0.039	0.039	0.039	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.041	0.041
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	médias
Cor aparente da água bruta (uH)	61	60	62	65	63	59	63	62	64	60	61	63	65	65	62	62.3
Sulfato de Alumínio (mg/L)	28	29	29	29	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	28.8
pH da água bruta	6.96	6.92	6.95	6.87	6.93	6.88	7.02	7.08	6.98	7.05	7.02	6.95	6.9	6.92	6.96	7
pH de coagulação	5.72	5.77	5.82	5.75	5.86	5.87	5.71	5.76	5.91	5.9	5.78	5.74	5.78	5.73	5.8	5.8
Turbidez da água bruta (uT)	3.99	4.08	3.72	3.47	3.58	4.17	3.76	3.91	3.98	4.2	4.26	4.43	4.54	4.17	4.03	4
Turbidez da água floculada (uT)	2.59	5.15	5.63	5.89	5.86	6	5.88	5.95	6	6.29	6.1	5.65	6.2	5.63	6.04	5.7
Cor aparente da água filtrada (uH)	25	7	5	5	5	4	4	4	4	4	5	4	3	4	5	5.9
Turbidez da água filtrada (uT)	1.53	0.69	0.47	0.4	0.45	0.38	0.36	0.36	0.34	0.35	0.33	0.36	0.33	0.33	0.34	0.5
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.113	0.147	0.19	0.285	0.405	0.528	0.685	0.815	0.943	1.115	1.206	1.333	1.485	1.656	1.76	
Temperatura da água bruta (°C)	22	22	22.1	22.2	22.2	22.3	22.5	22.5	22.5	22.4	22.4	22	22.2	22.1	22	22.2
pH da água filtrada	5.75	5.8	5.97	5.86	5.98	5.89	5.87	5.89	5.98	5.97	6	5.8	6.05	5.91	5.95	5.9
Expansão do material no floculador %	54	53	54	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53.1
Perda de carga no floculador (cm)	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6
Tamanho dos flocos (IW = mm)	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5



Ensaio de sedimentação realizado dentro da coluna de floculação após 13 hs de operação		
	cor aparente uH	Turbidez uT
Água floculada		
Água bruta	62	6.05
vs = 1,5 cm/min	44	4.03
vs = 0,75 cm/min	32	3.15
		2.7

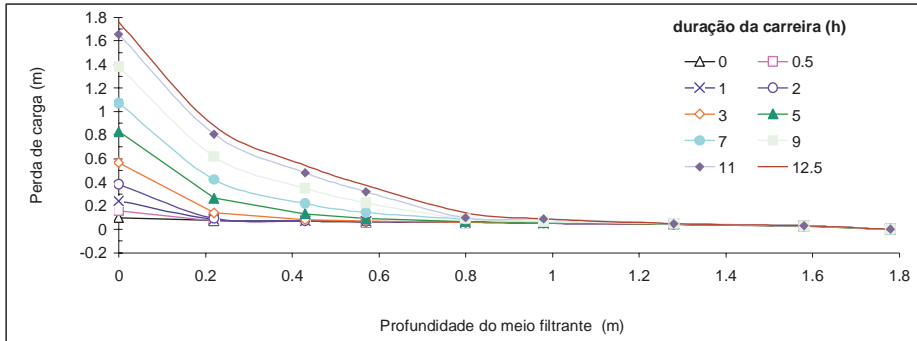
Planilha A13-12 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº:	Ec25spf1	Taxa de filtração (m3/m2.d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	4.83	Cor aparente (uH):	62	Gmr(1/s):
Temp. °C:	27.5	Alcalinidade total (mg/LCaCO3):	8	Fitoplâncton (ind/mL):	30
Cor verdadeira(uH):	6	Condutividade (uS/cm):	70	pH:	6.6
Características da floculação granular »»		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		STD(ppm):	
Material usado no floculador:	Altura inicial (cm):	Temperatura média da água (°C):		GT médio	
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		Tempo médio de floculação (s):	

características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

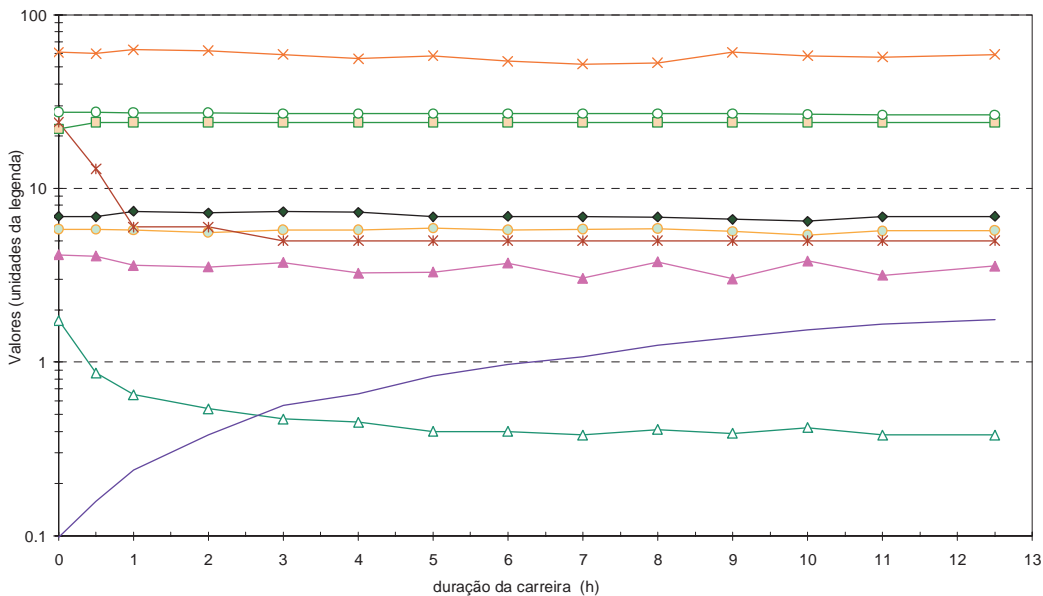
profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)													
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12.5
0	0.098	0.158	0.24	0.382	0.565	0.657	0.83	0.972	1.07	1.256	1.38	1.541	1.655	1.76
0.22	0.075	0.075	0.085	0.092	0.137	0.174	0.265	0.36	0.423	0.485	0.617	0.713	0.807	0.878
0.43	0.068	0.068	0.072	0.072	0.081	0.09	0.13	0.181	0.218	0.26	0.347	0.411	0.48	0.543
0.57	0.063	0.064	0.066	0.066	0.069	0.073	0.09	0.116	0.142	0.169	0.224	0.267	0.318	0.372
0.8	0.058	0.056	0.058	0.058	0.059	0.06	0.066	0.075	0.085	0.087	0.089	0.09	0.097	0.139
0.98	0.052	0.051	0.052	0.051	0.052	0.052	0.055	0.06	0.063	0.063	0.065	0.087	0.088	0.087
1.28	0.042	0.041	0.042	0.041	0.041	0.041	0.042	0.044	0.047	0.045	0.047	0.046	0.048	0.048
1.58	0.029	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)													médias	
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12.5
Cor aparente da água bruta (uH)	61	60	63	62	59	56	58	54	52	53	61	58	57	59	58.1
Sulfato de Alumínio (mg/L)	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23.9
pH da água bruta	6.9	6.88	7.4	7.23	7.37	7.29	6.87	6.89	6.87	6.84	6.66	6.5	6.87	6.9	7
pH de coagulação	5.83	5.79	5.75	5.6	5.77	5.78	5.9	5.78	5.84	5.88	5.65	5.4	5.7	5.74	5.7
Turbidez da água bruta (uT)	4.14	4.08	3.61	3.54	3.75	3.26	3.3	3.71	3.05	3.78	3.02	3.83	3.17	3.58	3.6
Cor aparente da água filtrada (uH)	24	13	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7.1
Turbidez da água filtrada (uT)	1.74	0.87	0.65	0.54	0.47	0.45	0.4	0.4	0.38	0.41	0.39	0.42	0.38	0.38	0.6
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.098	0.158	0.24	0.382	0.565	0.657	0.83	0.972	1.07	1.256	1.38	1.541	1.655	1.76	
Temperatura da água bruta (°C)	27.5	27.5	27.3	27.2	27	27	27	27	27	27	27	26.8	26.5	26.5	27
pH da água filtrada	4.89	5.25	5.95	5.74	5.9	5.8	6	5.82	5.99	5.9	5.84	5.68	5.98	5.9	5.8

- x— Cor aparente da água bruta (uH)
- ◆— pH da água bruta
- ▲— Turbidez da água bruta (uT)
- △— Turbidez da água filtrada (uT)
- Temperatura da água bruta (°C)
- Sulfato de Alumínio (mg/L)
- pH de coagulação
- *— Cor aparente da água filtrada (uH)
- *— Perda de carga no meio filtrante (m)



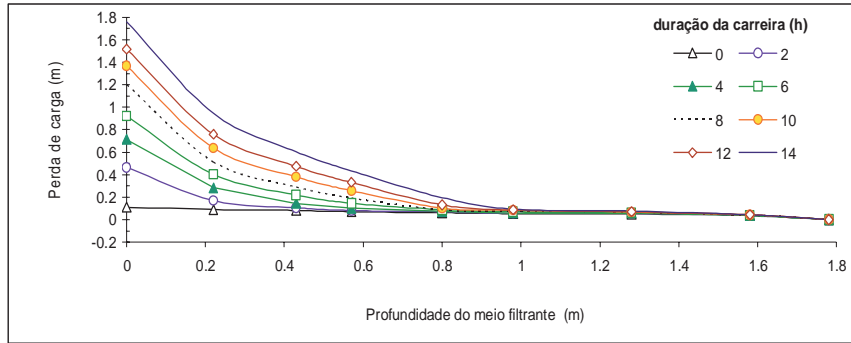
Planilha A13-13 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº:	Ec25spf2	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta:	Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	4.09	Cor aparente (uH):	56
Temp. °C:	21.3	Alcalinidade total (mg/LCaCO ₃):	7.8	Fitoplâncton (ind/mL):	30
Cor verdadeira(uH):	5	Condutividade (uS/cm):	64	pH:	7.06
Características da floculação granular » »		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		STD(ppm):	
Material usado no floculador:		Altura inicial (cm):		temperatura média da água (°C):	
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		GT médio	
Tempo médio de floculação (s):					

características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

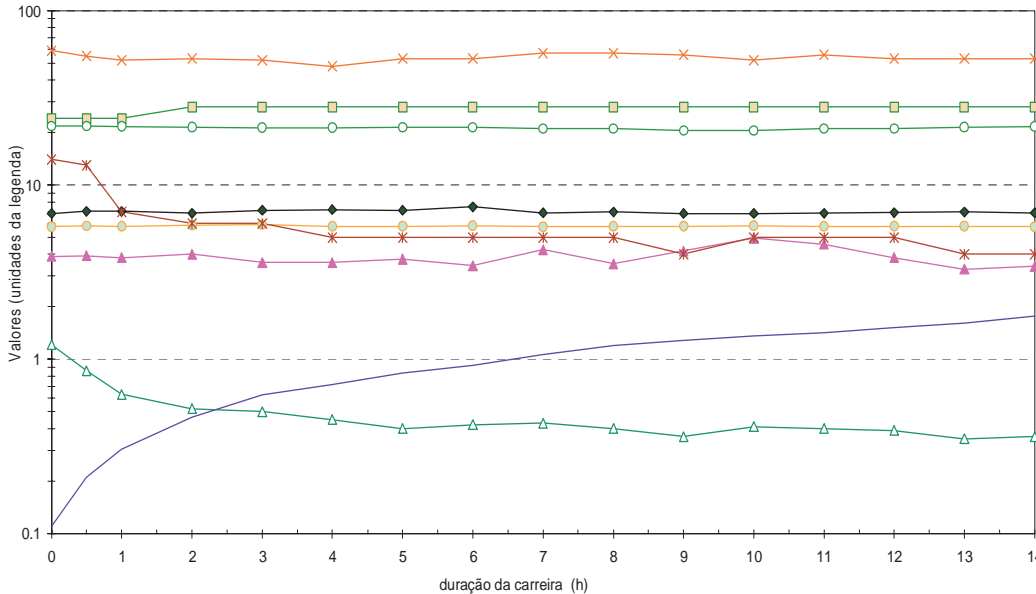
profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)															
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0.11	0.21	0.305	0.464	0.623	0.715	0.8325	0.921	1.062	1.201	1.284	1.367	1.414	1.517	1.606	1.76
0.22	0.09	0.102	0.129	0.17	0.21	0.283	0.301	0.402	0.441	0.511	0.58	0.635	0.69	0.76	0.846	0.946
0.43	0.082	0.086	0.096	0.104	0.125	0.143	0.17	0.22	0.252	0.29	0.34	0.381	0.422	0.474	0.542	0.602
0.57	0.07	0.074	0.078	0.082	0.092	0.1	0.115	0.146	0.165	0.191	0.227	0.257	0.291	0.332	0.39	0.434
0.8	0.063	0.064	0.065	0.068	0.074	0.074	0.085	0.087	0.087	0.088	0.09	0.102	0.117	0.132	0.144	0.195
0.98	0.053	0.053	0.055	0.055	0.058	0.06	0.065	0.071	0.074	0.081	0.092	0.083	0.084	0.085	0.087	0.092
1.28	0.05	0.052	0.054	0.054	0.056	0.058	0.06	0.063	0.064	0.067	0.065	0.066	0.066	0.07	0.075	0.076
1.58	0.036	0.036	0.036	0.036	0.037	0.037	0.038	0.039	0.039	0.04	0.041	0.042	0.043	0.043	0.044	0.044
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)														médias		
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14
Cor aparente da água bruta (uH)	59	55	52	53	52	48	53	53	57	57	56	52	56	53	53	53	53.9
Sulfato de Alumínio (mg/L)	24	24	24	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27.3
pH da água bruta	6.84	7.06	7.08	6.9	7.14	7.22	7.15	7.47	6.93	6.99	6.88	6.84	6.9	6.95	6.99	6.92	7
pH de coagulação	5.76	5.83	5.77	5.86	5.92	5.78	5.8	5.85	5.75	5.77	5.8	5.85	5.78	5.8	5.8	5.76	5.8
Turbidez da água bruta (uT)	3.89	3.93	3.82	4.02	3.58	3.58	3.75	3.44	4.25	3.53	4.19	4.97	4.57	3.83	3.28	3.41	3.9
Cor aparente da água filtrada (uH)	14	13	7	6	6	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	6.1
Turbidez da água filtrada (uT)	1.21	0.86	0.63	0.52	0.5	0.45	0.4	0.42	0.43	0.4	0.36	0.41	0.4	0.39	0.35	0.36	0.5
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.11	0.21	0.305	0.464	0.623	0.715	0.8325	0.921	1.062	1.201	1.284	1.367	1.414	1.517	1.606	1.76	
Temperatura da água bruta (°C)	21.8	21.8	21.7	21.5	21.3	21.3	21.4	21.4	21	21	20.5	20.5	21	21	21.5	21.6	21.3
pH da água filtrada	5.9	5.96	5.91	6.02	6.05	5.94	6	6.01	5.86	5.84	5.9	5.92	5.85	5.9	5.95	5.84	5.9

- ✕ Cor aparente da água bruta (uH)
- ◆ pH da água bruta
- ▲ Turbidez da água bruta (uT)
- △ Turbidez da água filtrada (uT)
- Temperatura da água bruta (°C)
- Sulfato de Alumínio (mg/L)
- pH de coagulação
- ✱ Cor aparente da água filtrada (uH)
- Perda de carga no meio filtrante (m)



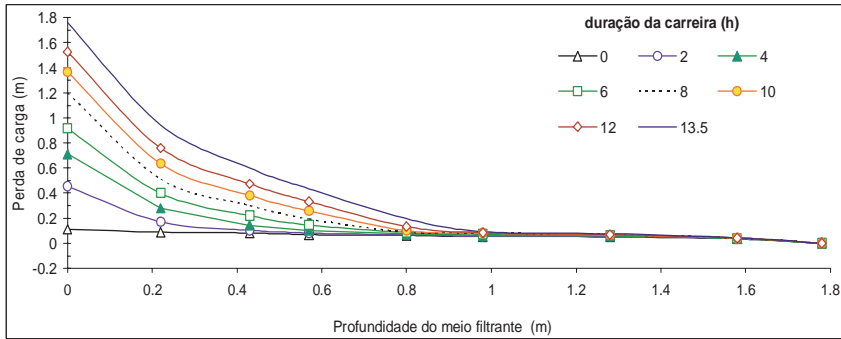
Planilha A13-14 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Sulfato de alumínio	
Teste Nº:	Ec25spf3	Taxa de filtração (m3/m2.d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta:	Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	4.09	Cor aparente (uH):	58
Temp. °C:	21.5	Alcalinidade total (mg/LCaCo3):	7	Fitoplâncton (ind/mL):	1200
Cor verdadeira(uH):	6	Conductividade (uS/cm):	66	pH:	7.04
				STD(ppm):	33
Características da floculação granular »»		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):			
Material usado no floculador:		Altura inicial (cm):		Temperatura média da água (°C):	
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		GT médio	
Tempo médio de floculação (s):					

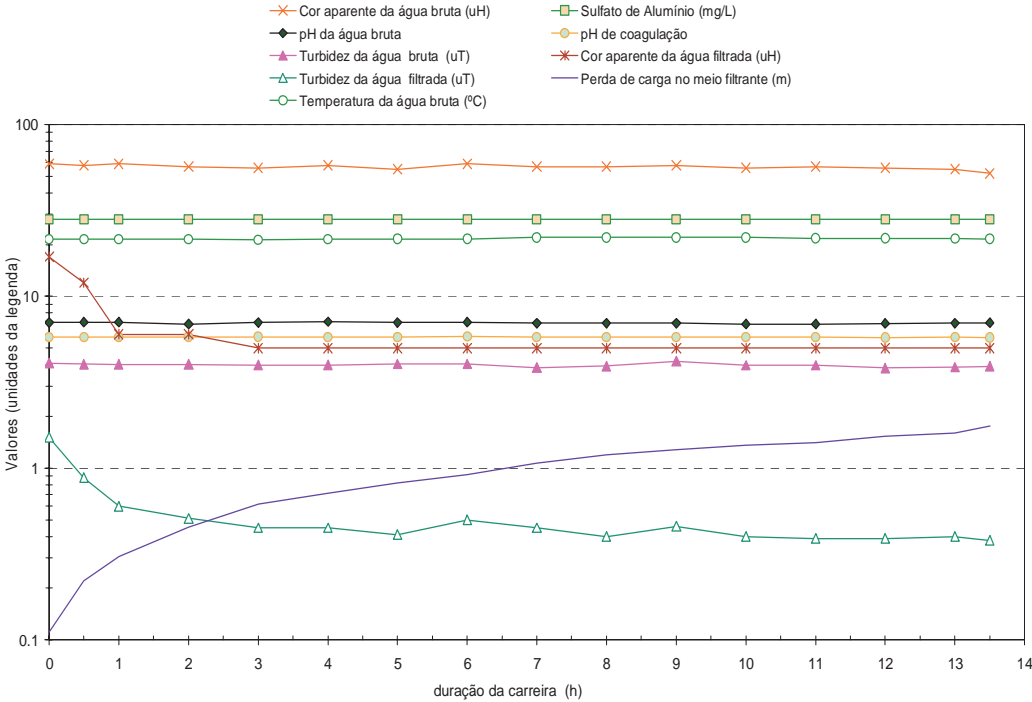
características do meio filtrante
 Meio = L1 - camada única
 Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)															
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13.5
0	0.111	0.22	0.305	0.454	0.62	0.711	0.823	0.916	1.07	1.199	1.28	1.366	1.411	1.527	1.605	1.76
0.22	0.089	0.102	0.119	0.17	0.22	0.281	0.304	0.4	0.442	0.511	0.58	0.635	0.69	0.76	0.846	0.945
0.43	0.082	0.086	0.096	0.104	0.125	0.143	0.17	0.22	0.252	0.3	0.34	0.381	0.422	0.474	0.542	0.601
0.57	0.07	0.074	0.078	0.082	0.092	0.1	0.114	0.146	0.165	0.191	0.226	0.257	0.29	0.332	0.39	0.434
0.8	0.063	0.064	0.065	0.068	0.074	0.074	0.085	0.087	0.087	0.088	0.09	0.102	0.117	0.132	0.144	0.195
0.98	0.053	0.053	0.055	0.055	0.058	0.06	0.065	0.071	0.074	0.081	0.092	0.083	0.084	0.085	0.087	0.092
1.28	0.05	0.052	0.054	0.054	0.056	0.058	0.06	0.063	0.064	0.067	0.065	0.066	0.066	0.067	0.075	0.076
1.58	0.036	0.036	0.036	0.036	0.037	0.037	0.038	0.039	0.039	0.04	0.041	0.042	0.043	0.043	0.044	0.044
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)															médias	
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13.5	
Cor aparente da água bruta (uH)	59	58	59	57	56	58	55	59	57	57	58	56	57	56	55	52	56.8
Sulfato de Alumínio (mg/L)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
pH da água bruta	7.05	7.06	7.08	6.9	7.04	7.12	7.05	7.07	6.99	6.99	6.98	6.89	6.9	6.95	6.99	7.01	7
pH de coagulação	5.8	5.81	5.78	5.83	5.82	5.78	5.81	5.84	5.81	5.77	5.78	5.77	5.78	5.76	5.8	5.76	5.8
Turbidez da água bruta (uT)	4.09	4.03	4.02	4.02	3.98	3.98	4.05	4.04	3.85	3.93	4.19	3.97	3.97	3.83	3.88	3.91	4
Cor aparente da água filtrada (uH)	17	12	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6.3
Turbidez da água filtrada (uT)	1.51	0.88	0.6	0.51	0.45	0.45	0.41	0.5	0.45	0.4	0.46	0.4	0.39	0.39	0.4	0.38	0.5
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.111	0.22	0.305	0.454	0.62	0.711	0.823	0.916	1.07	1.199	1.28	1.366	1.411	1.527	1.605	1.76	21.7
Temperatura da água bruta (°C)	21.5	21.5	21.5	21.5	21.3	21.5	21.6	21.6	22	22	22	22	21.8	21.8	21.7	21.6	21.7
pH da água filtrada	5.9	5.96	5.89	5.92	6	5.94	5.9	5.94	5.86	5.84	5.9	5.87	5.85	5.9	5.95	6	5.9



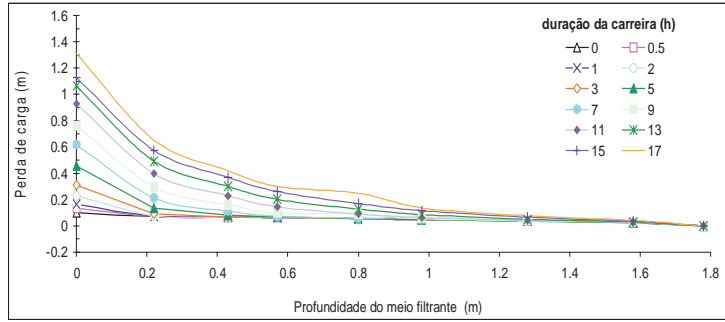
Planilha A13-15 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		com pré-floculação		Coagulante: Hidroxicloreto de alumínio	
Teste N°:	Epca25cpf1	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri		Turbidez(uT):	3.71	Cor aparente (uH):	54
Temp. °C:	29.4	Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃):	8	Fluotóplacton (ind/mL):	54
Cor verdadeira (uH):	6	Conductividade (uS/cm):	62	pH:	6.9
Características da floculação granulada		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		733	
Material usado no floculador:	M06	Altura inicial (cm):	161	Temperatura média da água (°C):	27.9
Expansão média do leito (%):	52	Gradiente de velocidade médio (1/s):	56	GT médio:	9632
Tempo médio de floculação (s):	172				

características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

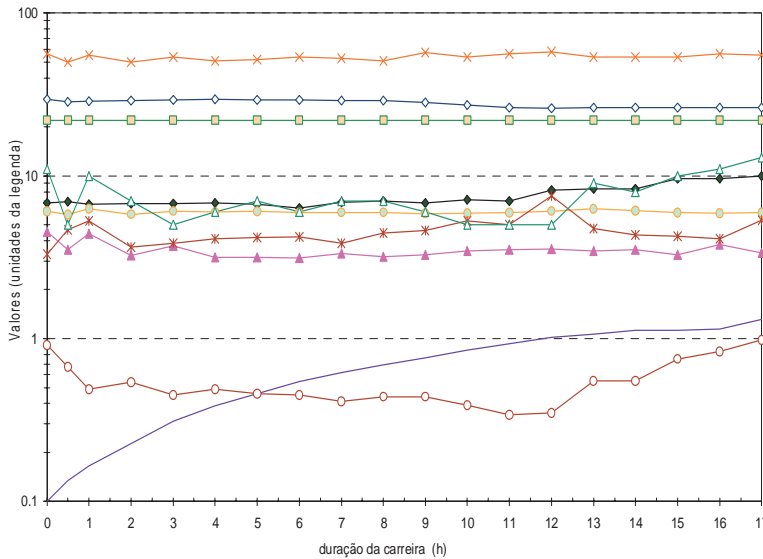
profundidade do meio filtrante

(m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)																		
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	0.1	0.134	0.165	0.228	0.31	0.387	0.459	0.544	0.62	0.69	0.76	0.848	0.93	1.015	1.064	1.126	1.127	1.15	1.31
0.22	0.071	0.072	0.073	0.077	0.09	0.11	0.133	0.175	0.214	0.255	0.295	0.349	0.397	0.449	0.493	0.54	0.573	0.589	0.651
0.43	0.065	0.066	0.065	0.066	0.068	0.077	0.08	0.084	0.113	0.135	0.16	0.196	0.23	0.267	0.301	0.332	0.37	0.384	0.421
0.57	0.064	0.064	0.064	0.064	0.065	0.066	0.068	0.072	0.073	0.084	0.099	0.122	0.146	0.174	0.203	0.233	0.261	0.274	0.301
0.8	0.054	0.054	0.054	0.054	0.055	0.055	0.056	0.057	0.06	0.063	0.089	0.078	0.09	0.107	0.128	0.149	0.17	0.181	0.249
0.98	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.05	0.05	0.061	0.063	0.055	0.06	0.064	0.073	0.087	0.101	0.116	0.125	0.138
1.28	0.039	0.039	0.038	0.038	0.038	0.039	0.039	0.039	0.04	0.04	0.042	0.043	0.044	0.044	0.051	0.058	0.066	0.07	0.077
1.58	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.028	0.028	0.028	0.03	0.034	0.037	0.04	0.043
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)																	médias		
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17
Cor aparente da água bruta (uH)	56	50	55	50	54	51	52	54	53	51	57	54	56	58	54	54	54	56	55	53.9
Hidroxicloreto de Alumínio (mg/L)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
pH da água bruta	6.85	6.93	6.73	6.77	6.77	6.83	6.73	6.35	6.87	7.04	6.84	7.12	7.02	8.19	8.31	8.32	9.62	9.6	9.94	7.5
pH de coagulação	6.05	5.79	6.29	5.81	6.08	6	6.05	5.98	5.99	5.98	5.87	5.9	5.95	6.08	6.25	6.1	5.95	5.9	5.96	6
Turbidez da água bruta (uT)	4.55	3.51	4.42	3.26	3.71	3.17	3.16	3.13	3.33	3.18	3.28	3.45	3.51	3.56	3.45	3.54	3.28	3.79	3.37	3.5
Turbidez da água floculada (uT)	3.29	4.66	5.28	3.65	3.84	4.1	4.17	4.21	3.85	4.44	4.64	5.28	4.99	7.56	4.75	4.32	4.27	4.1	5.36	4.6
Cor aparente da água filtrada (uH)	11	5	10	7	5	6	7	6	7	7	6	5	5	5	9	8	10	11	13	7.5
Turbidez da água filtrada (uT)	0.91	0.67	0.49	0.54	0.45	0.49	0.46	0.45	0.41	0.44	0.44	0.39	0.34	0.35	0.55	0.55	0.75	0.83	0.98	0.6
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.1	0.134	0.165	0.228	0.31	0.387	0.459	0.544	0.62	0.69	0.76	0.848	0.93	1.015	1.064	1.126	1.127	1.15	1.31	
Temperatura da água bruta (°C)	29.5	28.5	28.8	29.2	29.4	29.7	29.4	29.3	29	28.4	27.2	26.3	26	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	27.9
pH da água filtrada	5.96	5.71	6.02	5.85	5.94	5.9	5.92	5.91	5.85	5.86	5.76	5.88	5.89	5.98	6.15	6	5.8	5.75	5.85	5.9
Expansão do material no floculador %	53	53	52.2	52	51	51	51	51	51	51	52	52	52	52.5	52.5	52.5	53	53	53	52
Perda de carga no floculador (cm)	5	5.2	4.7	4.7	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	4.6
Tamanho dos flocos (IW = mm)	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5	0.3 a 0.5

- ✕ Cor aparente da água bruta (uH)
- ◆ pH da água bruta
- ▲ Turbidez da água bruta (uT)
- △ Cor aparente da água filtrada (uH)
- Perda de carga no meio filtrante (m)
- Hidroxicloreto de Alumínio (mg/L)
- pH de coagulação
- ✱ Turbidez da água floculada (uT)
- Turbidez da água filtrada (uT)
- ◇ Temperatura da água bruta (°C)



Ensaio de sedimentação		
realizado dentro da coluna de floculação após 17 hs de operação.		
	cor aparente uH	Turbidez uT
Água floculada		5.36
Água bruta	61	4.37
vs = 1,5 cm/min	58	4.85
vs = 0,75 cm/min	49	3.89

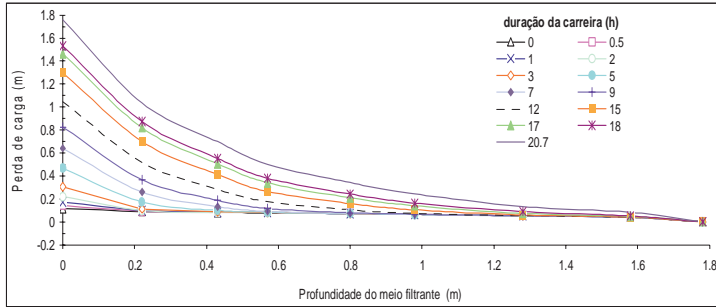
Planilha A13-16 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		com pré-floculação		Coagulante: Hidróxido de alumínio	
Teste Nº:	EPCA25cpf2	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri		Turbidez (uT):	3,55	Cor aparente (uH):	59
Temp. °C:	25,5	Alcalinidade total (mg/LCaCO ₃):	11,3	Fitoplâncton (ind/mL):	
Cor verdadeira (uH):	5	Conductividade (uS/cm):	68	pH:	7,21
Características da floculação granular >>>		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		733	
Material usado no floculador:	M06	Altura inicial (cm):	161	Temperatura média da água (°C):	25,5
Expansão média do leito (%):	50,2	Gradiente de velocidade médio (1/s):	57	GT médio:	9576
Tempo médio de floculação (s):	168				

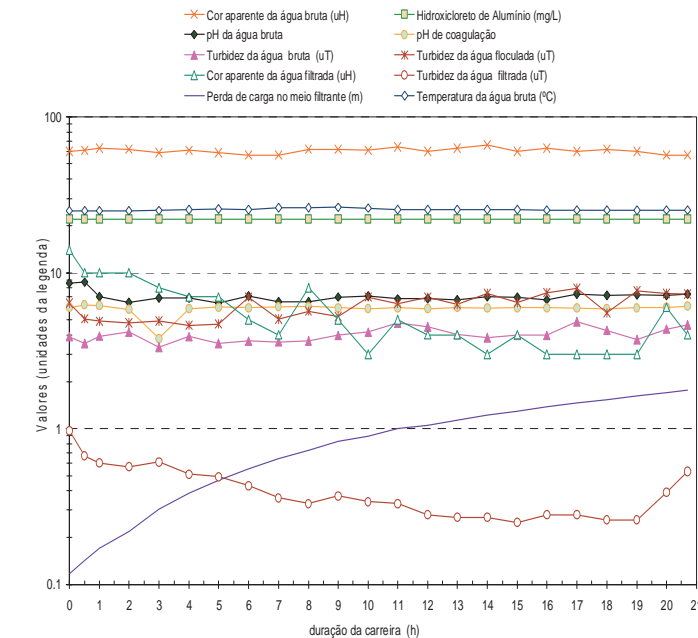
características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)																						
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20.7
0	0.117	0.143	0.171	0.218	0.306	0.384	0.467	0.551	0.642	0.728	0.824	0.899	1	1.047	1.136	1.216	1.298	1.376	1.465	1.532	1.621	1.704	1.76
0.22	0.089	0.092	0.099	0.098	0.113	0.138	0.173	0.214	0.261	0.309	0.367	0.415	0.482	0.518	0.582	0.638	0.699	0.755	0.82	0.873	0.936	1.002	1.036
0.43	0.082	0.084	0.084	0.084	0.086	0.091	0.1	0.114	0.134	0.158	0.187	0.217	0.259	0.284	0.325	0.367	0.413	0.456	0.506	0.552	0.603	0.657	0.697
0.57	0.079	0.081	0.081	0.081	0.081	0.082	0.084	0.087	0.092	0.1	0.116	0.132	0.157	0.175	0.202	0.232	0.264	0.299	0.34	0.38	0.425	0.462	0.5
0.8	0.07	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.072	0.075	0.08	0.086	0.097	0.105	0.12	0.137	0.158	0.182	0.211	0.242	0.278	0.318	0.341
0.98	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.064	0.065	0.066	0.068	0.072	0.075	0.083	0.092	0.104	0.119	0.139	0.162	0.19	0.223	0.243
1.28	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.054	0.055	0.053	0.055	0.053	0.055	0.052	0.055	0.054	0.056	0.06	0.065	0.073	0.09	0.1	0.12	0.133
1.58	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.04	0.041	0.039	0.041	0.04	0.041	0.039	0.041	0.04	0.041	0.042	0.043	0.047	0.052	0.061	0.074	0.083
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)																				médias			
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		19	20	20.7
Cor aparente da água bruta (uH)	60	61	63	62	59	61	59	57	57	62	62	61	64	60	63	66	60	63	60	62	60	57	57	60,7
Hidróxido de Alumínio (mg/L)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
pH da água bruta	8,61	8,69	7,03	6,45	6,9	6,88	6,37	7,07	6,5	6,52	6,98	7,11	6,82	6,83	6,7	7,01	6,98	6,71	7,3	7,15	7,24	7,15	7,3	7,1
pH de coagulação	5,99	6,22	6,15	5,81	3,79	5,9	6,02	5,96	6,05	6,08	5,96	5,88	5,96	5,9	5,97	5,94	5,96	5,95	5,93	5,9	5,96	5,99	6,1	5,9
Turbidez da água bruta (uT)	3,88	3,51	3,93	4,17	3,34	3,9	3,53	3,64	3,61	3,66	3,96	4,16	4,75	4,5	4,01	3,83	3,97	4,86	4,27	3,74	4,34	4,34	4,63	4
Turbidez da água floculada (uT)	6,38	5,06	4,88	4,77	4,91	4,6	4,7	6,99	5,05	5,66	5,24	6,98	6,35	6,97	6,28	7,35	6,46	7,47	7,96	5,53	7,65	7,36	7,28	6,2
Cor aparente da água filtrada (uH)	14	10	10	10	8	7	7	5	4	8	5	3	5	4	4	3	4	3	3	3	3	6	4	5,8
Turbidez da água filtrada (uT)	0,97	0,67	0,6	0,57	0,61	0,51	0,49	0,43	0,36	0,33	0,37	0,34	0,33	0,28	0,27	0,27	0,25	0,28	0,28	0,26	0,26	0,39	0,53	0,4
Perda de carga no meio filtrante (m)	0,117	0,143	0,171	0,218	0,306	0,384	0,467	0,551	0,642	0,728	0,824	0,899	1	1,047	1,136	1,216	1,298	1,376	1,465	1,532	1,621	1,704	1,76	
Temperatura da água bruta (°C)	25	25	25	25	25,1	25,4	25,6	25,5	26,2	26,2	26,3	26	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,3	25,3	25,3	25,2	25,3	25,3	25,5
pH da água filtrada	6,49	6,24	6,23	5,84	5,73	5,85	5,89	5,95	6,01	5,99	5,89	5,8	5,76	5,74	5,82	5,85	5,88	5,88	5,92	5,85	5,9	5,98	6,1	5,9
Expansão do material no floculador %	51	51	51	50	51	51	51	50,5	50	49	50	49	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50,2
Perda de carga no floculador (cm)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,8	4,8	4,8	4,9	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,2	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6
Tamanho dos flocos (IW = mm)	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5



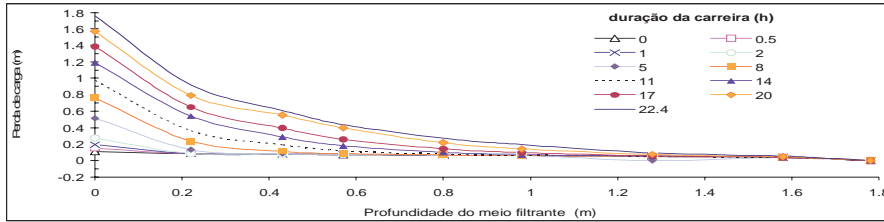
Ensaio de sedimentação		
realizado dentro da coluna de floculação após 20,6 hs de operação.		
	cor aparente uH	Turbidez uT
Água floculada		7,23
Água bruta	57	4,51
vs = 1,5 cm/min	42	3,63
vs = 0,75 cm/min	29	2,26

Planilha A13-17 - Resultados de carreira com pré-floculação e filtração direta descendente

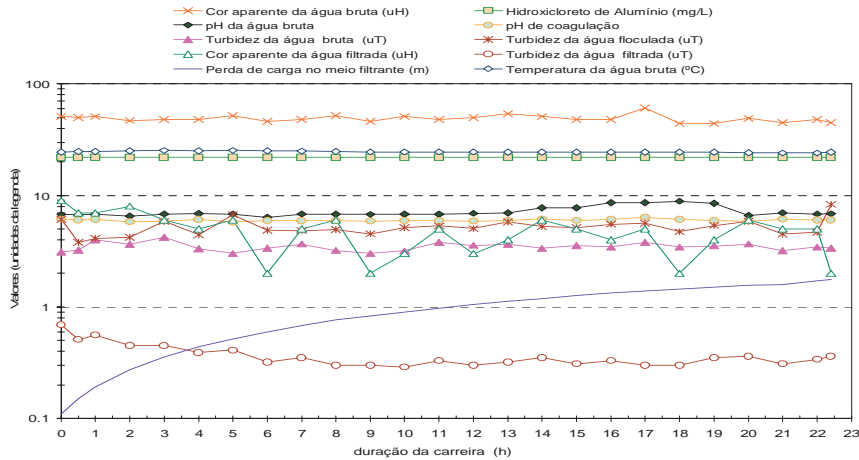
Ensaio de filtração direta		com pré-floculação		Coagulante: Hidroxicloreto de alumínio	
Testa Nº: EPCA25cp13	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d): 200	Mistura rápida:			
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT): 3,56	Cor aparente (uH): 48	Gmr(1/s): 1300		
Temp. °C: 24,9	Alcalinidade total (mg/LCaCO ₃): 7,2	Filoplâncton (ind/mL):	Tmr (s): 30		
Cor verdadeira(uH): 5	Condutividade (uS/cm): 70	pH: 6,75	ST(Dippm): 35		
Características da floculação granular			Velocidade média de aproximação, ou taxa (m/d): 73,3		
Material usado no floculador: M06	Altura inicial (cm): 161	Temperatura média da água °C: 24,6			
Expansão média do leito (%): 52	Gradiente de velocidade médio (1/s): 55	GT médio: 9460			
Tempo médio de floculação (s): 172					

características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)																								
	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	22.4
0	0,11	0,15	0,192	0,273	0,355	0,44	0,515	0,595	0,683	0,762	0,833	0,901	0,974	1,048	1,128	1,191	1,258	1,327	1,387	1,445	1,51	1,569	1,588	1,728	1,76
0,22	0,082	0,081	0,082	0,085	0,084	0,11	0,133	0,16	0,196	0,235	0,274	0,315	0,362	0,407	0,462	0,54	0,554	0,602	0,65	0,695	0,743	0,79	0,817	0,904	0,92
0,43	0,076	0,075	0,076	0,076	0,078	0,08	0,085	0,093	0,105	0,112	0,142	0,164	0,192	0,22	0,256	0,289	0,325	0,358	0,396	0,429	0,465	0,554	0,53	0,596	0,61
0,57	0,07	0,072	0,072	0,072	0,073	0,074	0,075	0,077	0,08	0,085	0,093	0,103	0,119	0,137	0,156	0,181	0,252	0,231	0,258	0,266	0,316	0,398	0,372	0,422	0,436
0,8	0,064	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,067	0,068	0,068	0,069	0,07	0,073	0,076	0,08	0,088	0,099	0,112	0,126	0,144	0,162	0,183	0,217	0,228	0,263	0,273
0,98	0,06	0,062	0,062	0,062	0,061	0,061	0,062	0,063	0,063	0,063	0,063	0,064	0,064	0,065	0,068	0,073	0,078	0,086	0,097	0,109	0,124	0,142	0,157	0,184	0,193
1,28	0,05	0,051	0,051	0,051	0,05	0,05	0,051	0,051	0,051	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,054	0,054	0,055	0,058	0,061	0,067	0,074	0,078	0,091	0,094
1,58	0,037	0,039	0,038	0,038	0,037	0,037	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,039	0,039	0,039	0,039	0,04	0,043	0,045	0,047	0,052	0,053
1,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	22.4	médias	
Cor aparente da água bruta (uH)	51	50	51	47	48	48	52	46	48	52	46	51	48	50	54	51	48	48	61	44	44	49	45	48	45	49	
Hidroxicloreto de Alumínio (mg/L)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
pH da água bruta	6,75	6,73	6,78	6,53	6,82	6,9	6,83	6,35	6,81	6,79	6,74	6,8	6,76	6,91	6,96	7,75	7,76	8,6	8,6	8,9	8,45	6,58	6,95	6,83	6,85	7,1	
pH de coagulação	6,15	6,01	6,1	5,79	5,88	6,09	5,76	5,94	5,93	5,94	5,87	5,94	5,92	5,9	5,93	6,15	5,97	6,1	6,35	6,1	5,97	5,9	6,13	6,02	6,03	6	
Turbidez da água bruta (uT)	3,11	3,23	3,98	3,63	4,22	3,32	3,02	3,36	3,66	3,21	3,01	3,18	3,79	3,57	3,64	3,35	3,56	3,43	3,79	3,43	3,52	3,66	3,19	3,43	3,38	3,5	
Turbidez da água floculada (uT)	6,12	3,79	4,13	4,2	5,84	4,47	6,73	4,89	4,84	4,94	4,52	5,13	5,32	5,05	5,8	5,27	5,14	5,52	5,64	4,72	5,38	5,85	4,48	4,69	8,3	5,2	
Cor aparente da água filtrada (uH)	9	7	7	8	6	5	2	5	6	4	2	3	5	3	4	6	5	4	5	2	4	6	5	5	2	4,9	
Turbidez da água filtrada (uT)	0,69	0,51	0,56	0,45	0,45	0,39	0,41	0,32	0,35	0,3	0,3	0,29	0,33	0,3	0,32	0,35	0,31	0,33	0,3	0,3	0,35	0,36	0,31	0,34	0,36	0,4	
Perda de carga no meio filtrante (m)	0,11	0,15	0,192	0,273	0,355	0,44	0,515	0,595	0,683	0,762	0,833	0,901	0,974	1,048	1,128	1,191	1,258	1,327	1,387	1,445	1,51	1,569	1,588	1,728	1,76	24,6	
Temperatura da água bruta (°C)	24,4	24,7	24,7	25	25,3	25,1	25,3	25	24,9	24,8	24,6	24,6	24,6	24,6	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,2	24	24	24	24,5	24,6
pH da água filtrada	6,32	6,19	6,17	5,86	5,92	6,03	5,93	5,86	5,87	5,89	5,81	5,88	5,94	5,89	5,9	6,18	6,02	6,1	6,3	6,07	5,97	5,85	5,58	5,58	5,91	6	
Expansão do material no floculador %	52	52	52	52	52	53	52	52	52	52	52	52	51	46	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	
Perda de carga no floculador (cm)	4,5	4,4	4,8	5,6	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,5	4,7	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6	4,5	4,8	4,5	4,7	
Tamanho dos flocos (TW = mm)	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	0,3 a 0,5	



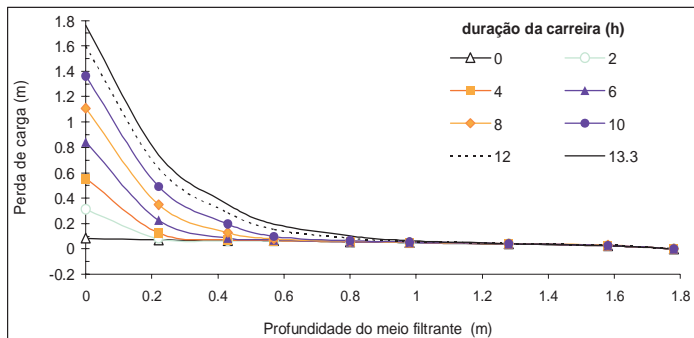
Ensaio de sedimentação		
realizado dentro da coluna de floculação - após 22,4 hs de operação.		
	cor aparente	Turbidez
Água floculada		4,72
Água bruta	45	3,38
vs = 1,5 cm/min	22	2,31
vs = 0,75 cm/min	16	1,41

Planilha A13-18 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

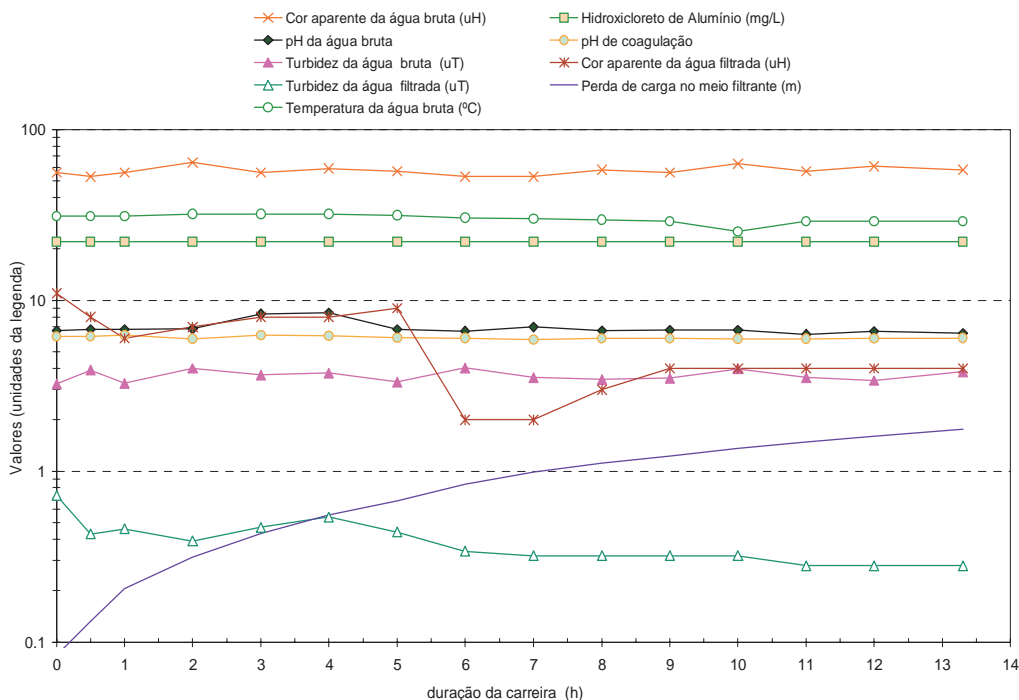
Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Hidroxicloreto de alumínio	
Teste Nº: Epca25sp1	Taxa de filtração (m3/m2.d): 200			Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT): 3.27	Cor aparente (uH): 57	Gmr(1/s): 1200		
Temp. °C: 31.5	Alcalinidade total (mg/LCaCo3): 10	Fitoplâncton (ind/mL):	Tmr (s): 30		
Cor verdeira(uH): 7	Condutividade (uS/cm): 72	pH: 6.86	STD(ppm): 36		
Características da floculação granular »»					
Material usado no floculador:		Altura inicial (cm):	Temperatura média da água (°C):		
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		GT médio:	
Tempo médio de floculação (s):					

características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)														
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13.3
0	0.084	0.132	0.205	0.313	0.433	0.555	0.673	0.842	0.989	1.11	1.226	1.362	1.486	1.598	1.76
0.22	0.07	0.07	0.073	0.08	0.083	0.125	0.167	0.225	0.283	0.348	0.414	0.491	0.565	0.634	0.741
0.43	0.066	0.068	0.065	0.065	0.073	0.07	0.076	0.085	0.103	0.128	0.168	0.197	0.241	0.285	0.351
0.57	0.064	0.064	0.065	0.065	0.072	0.066	0.068	0.07	0.072	0.078	0.088	0.098	0.128	0.151	0.196
0.8	0.053	0.062	0.053	0.053	0.054	0.054	0.056	0.056	0.058	0.06	0.061	0.065	0.072	0.082	0.102
0.98	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.05	0.05	0.05	0.051	0.052	0.053	0.053	0.055	0.059	0.065
1.28	0.038	0.038	0.039	0.039	0.039	0.04	0.04	0.04	0.041	0.041	0.042	0.041	0.042	0.042	0.042
1.58	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025	0.026	0.028	0.026	0.026	0.025	0.026	0.024
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)													médias		
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13.3
Cor aparente da água bruta (uH)	56	53	56	64	56	59	57	53	53	58	56	63	57	61	58	57.3
Hidroxicloreto de Alumínio (mg/L)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
pH da água bruta	6.64	6.77	6.74	6.82	8.35	8.48	6.77	6.6	6.98	6.64	6.71	6.71	6.33	6.57	6.42	6.9
pH de coagulação	6.14	6.14	6.23	5.95	6.24	6.2	6.05	6.03	5.9	6	5.97	5.95	5.96	5.98	6.01	6.1
Turbidez da água bruta (uT)	3.24	3.9	3.28	4	3.66	3.75	3.32	4.03	3.53	3.44	3.5	3.97	3.53	3.4	3.82	3.6
Cor aparente da água filtrada (uH)	11	8	6	7	8	8	9	2	2	3	4	4	4	4	4	5.6
Turbidez da água filtrada (uT)	0.72	0.43	0.46	0.39	0.47	0.54	0.44	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.28	0.28	0.28	0.4
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.084	0.132	0.205	0.313	0.433	0.555	0.673	0.842	0.989	1.11	1.226	1.362	1.486	1.598	1.76	
Temperatura da água bruta (°C)	31	31	31	32	32	32	31.5	30.5	30	29.6	29	25.3	29	29	29	30.1
pH da água filtrada	5.75	5.88	5.75	5.54	5.74	5.96	5.96	5.54	5.62	5.57	5.65	5.83	5.54	5.6	5.62	5.7



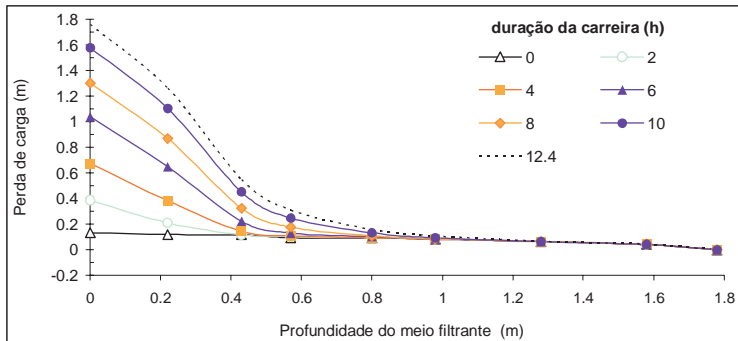
Planilha A13-19 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Hidroxicloreto de alumínio	
Teste Nº:	Epca25spf2	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta: Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	4.34	Cor aparente (uH):	66	Gmr(1/s): 1200
Temp. °C: 25	Alcalinidade total (mg/LCaCo ₃):	7.7	Fíttoplâncton (ind/mL):	22	Tmr (s): 30
Cor verdadeira(uH):	Conductividade (uS/cm):	62	pH: 6.54	STD(ppm):	31
Características da floculação granular »»					
Material usado no floculador:		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):		Temperatura média da água (°C):	
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		GT médio	
Tempo médio de floculação (s):					

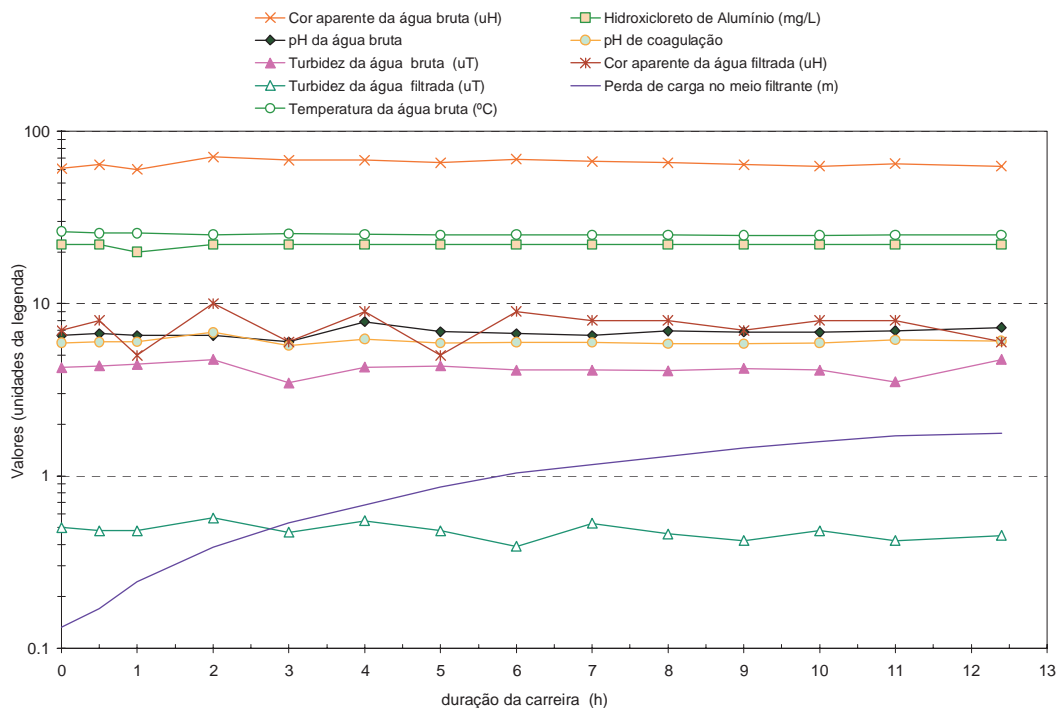
características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

profundidade do meio filtrante (m)

Profundidade do meio filtrante (m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)													
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12.4
0	0.132	0.17	0.243	0.386	0.533	0.675	0.86	1.038	1.165	1.303	1.455	1.578	1.714	1.76
0.22	0.12	0.134	0.151	0.21	0.289	0.385	0.521	0.65	0.754	0.869	1.014	1.104	1.227	1.263
0.43	0.116	0.116	0.116	0.119	0.126	0.144	0.178	0.222	0.267	0.325	0.418	0.451	0.52	0.55
0.57	0.095	0.101	0.101	0.101	0.102	0.107	0.116	0.13	0.15	0.177	0.216	0.247	0.291	0.31
0.8	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.102	0.102	0.109	0.122	0.132	0.15	0.159
0.98	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.086	0.09	0.094	0.103	0.107
1.28	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.066	0.067
1.58	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.043	0.043
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)													médias	
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12.4
Cor aparente da água bruta (uH)	61	64	60	71	68	68	66	69	67	66	64	63	65	63	65.4
Hidroxicloreto de Alumínio (mg/L)	22	22	20	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	21.9
pH da água bruta	6.52	6.71	6.55	6.51	5.98	7.84	6.89	6.71	6.53	6.92	6.85	6.83	6.98	7.29	6.8
pH de coagulação	5.92	5.98	6	6.8	5.7	6.22	5.91	5.97	5.94	5.84	5.83	5.93	6.15	6.08	6
Turbidez da água bruta (uT)	4.27	4.34	4.45	4.73	3.47	4.28	4.34	4.12	4.12	4.07	4.2	4.12	3.52	4.75	4.2
Cor aparente da água filtrada (uH)	7	8	5	10	6	9	5	9	8	8	7	8	8	6	7.4
Turbidez da água filtrada (uT)	0.5	0.48	0.48	0.57	0.47	0.55	0.48	0.39	0.53	0.46	0.42	0.48	0.42	0.45	0.5
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.132	0.17	0.243	0.386	0.533	0.675	0.86	1.038	1.165	1.303	1.455	1.578	1.714	1.76	
Temperatura da água bruta (°C)	26.3	25.6	25.6	25.2	25.4	25.3	25	25.2	25	24.9	24.9	25	25	25	25.2
pH da água filtrada	5.92	5.93	5.93	5.8	5.58	6.01	5.94	5.88	5.81	5.66	5.7	5.8	6.01	6.06	5.9



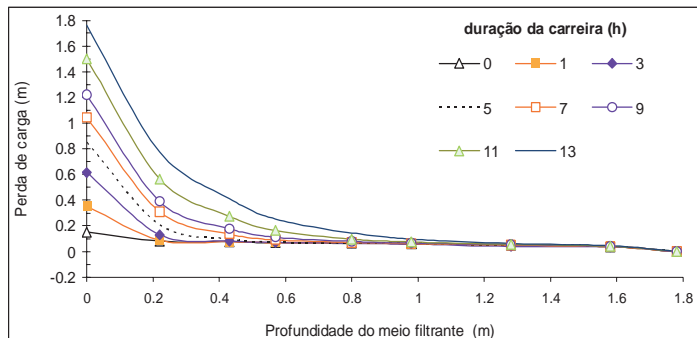
Planilha A13-20 - Resultados de carreira com filtração direta descendente

Ensaio de filtração direta		sem pré-floculação		Coagulante: Hidroxicloreto de alumínio	
Teste Nº:	Epca25sp3	Taxa de filtração (m3/m2.d):	200	Mistura rápida:	
Água Bruta:	Lagoa do Peri	Turbidez(uT):	3.43	Cor aparente (uH):	45
Temp. °C:	25	Alcalinidade total (mg/LCaCo3):	7.5	Fitoplâncton (ind/mL):	
Cor verdadeira(uH):	6	Condutividade (uS/cm):	60	pH:	6.79
Características da floculação granular »»		Velocidade média de aproximação ou taxa (m/d):			
Material usado no floculador:		Altura inicial (cm)		Temperatura média da água (°C)	
Expansão média do leito (%):		Gradiente de velocidade médio (1/s):		GT médio	
Tempo médio de floculação (s):					

características do meio filtrante
Meio = L1 - camada única
Carvão antracitoso: tef = 2,5mm

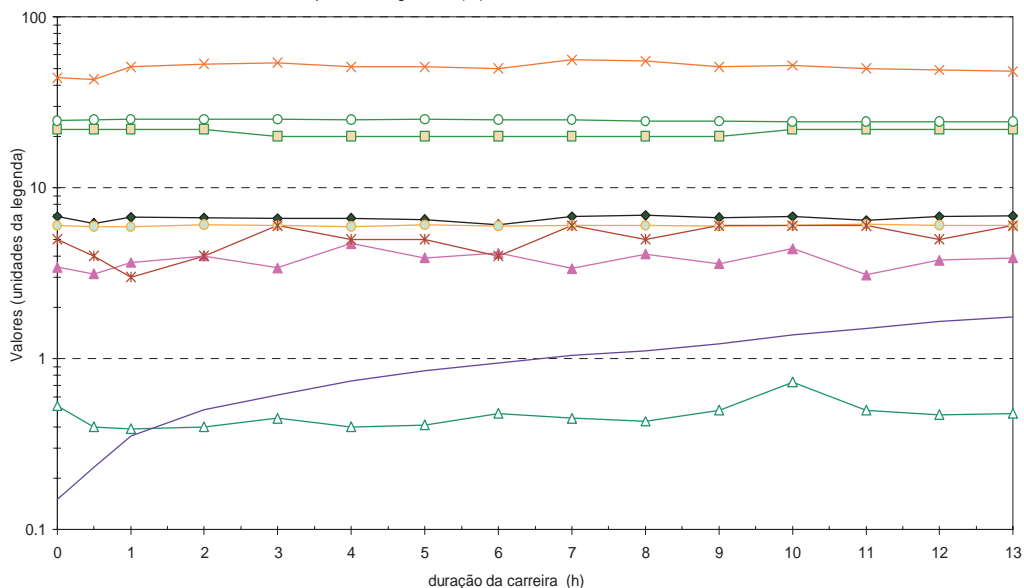
profundidade do meio filtrante

(m)	Duração da Carreira (h) x Perda de carga (m)														
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0.151	0.232	0.354	0.502	0.616	0.741	0.85	0.946	1.045	1.115	1.22	1.38	1.5	1.65	1.76
0.22	0.08	0.083	0.089	0.104	0.13	0.167	0.208	0.257	0.31	0.353	0.39	0.499	0.566	0.662	0.774
0.43	0.077	0.077	0.076	0.077	0.08	0.086	0.097	0.115	0.136	0.16	0.178	0.234	0.274	0.335	0.414
0.57	0.069	0.07	0.071	0.071	0.072	0.073	0.073	0.082	0.09	0.103	0.112	0.138	0.164	0.209	0.251
0.8	0.064	0.064	0.066	0.064	0.065	0.064	0.065	0.067	0.07	0.075	0.079	0.087	0.096	0.115	0.144
0.98	0.06	0.06	0.06	0.058	0.059	0.06	0.061	0.061	0.062	0.065	0.067	0.07	0.074	0.085	0.097
1.28	0.05	0.05	0.051	0.049	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.055	0.053	0.054	0.055	0.06	0.062
1.58	0.038	0.039	0.04	0.033	0.038	0.038	0.039	0.039	0.038	0.04	0.04	0.041	0.041	0.042	0.045
1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Parâmetro	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)													médias		
	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13
Cor aparente da água bruta (uH)	44	43	51	53	54	51	51	50	56	55	51	52	50	49	48	50.5
Hidroxicloreto de Alumínio (mg/L)	22	22	22	22	20	20	20	20	20	20	20	22	22	22	22	21.1
pH da água bruta	6.8	6.2	6.74	6.67	6.62	6.63	6.52	6.08	6.8	6.9	6.7	6.8	6.44	6.78	6.86	6.6
pH de coagulação	6	5.94	5.91	6.08	6	5.94	6.06	5.97	6.04	6.01	5.96	6.03	6.1	6.04	6.03	6
Turbidez da água bruta (uT)	3.43	3.13	3.65	3.99	3.4	4.73	3.89	4.15	3.38	4.1	3.6	4.42	3.1	3.78	3.89	3.8
Cor aparente da água filtrada (uH)	5	4	3	4	6	5	5	4	6	5	6	6	6	5	6	5.1
Turbidez da água filtrada (uT)	0.53	0.4	0.39	0.4	0.45	0.4	0.41	0.48	0.45	0.43	0.5	0.73	0.5	0.47	0.48	0.5
Perda de carga no meio filtrante (m)	0.151	0.232	0.354	0.502	0.616	0.741	0.85	0.946	1.045	1.115	1.22	1.38	1.5	1.65	1.76	
Temperatura da água bruta (°C)	24.7	25	25.1	25.2	25.2	25	25.2	25	25	24.5	24.5	24.4	24.4	24.4	24.4	24.8
pH da água filtrada	5.94	5.98	6.04	6.12	6.2	5.98	5.98	6.01	6.02	6.02	6.05	6.05	6.08	6	6.01	6

- x— Cor aparente da água bruta (uH)
- o— Hidroxicloreto de Alumínio (mg/L)
- pH da água bruta
- pH de coagulação
- ▲— Turbidez da água bruta (uT)
- ▲— Cor aparente da água filtrada (uH)
- ▲— Turbidez da água filtrada (uT)
- ▲— Perda de carga no meio filtrante (m)
- Temperatura da água bruta (°C)



7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADIN, A; REBHUN, M. A model to predict concentration and head-loss profiles in filtration. **Journal of the American Water Woks Association**, v. 69, n. 8, p. 444-453, 1977.
- AMIRTHARAJAH, A. Some theoretical and conceptual views of filtration. **Journal of the American Water Woks Association**, v. 80, n.12, p. 36-46, 1988.
- AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K. M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. **Journal of the American Water Woks Association**, v. 76, n. 4, p. 210-216, Apr. 1982.
- ARBOLEDA, J.V. **Teoría y práctica de la purificación del agua**. Santa Fé de Bogotá: Colômbia. McGraw-Hill, 2000. 2v.
- ARGAMAN, Y.; KAUFMAN, W. J. Turbulence and Flocculation. **Journal Sanitary Eng. Div.-ASCE**, v. 96, n. SA2, p. 223-241. Apr. 1970.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR-6508. "Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica", Rio de Janeiro, Brasil. 1984.
- AYOUB, G. M. A model for flocculation in a gravel reactor: development and assessment. **J. Water SRT- Aqua**. v. 45, n. 2, p. 76-83, Apr. 1986.
- BRANDÃO, C.C.S.; LACERDA, M.R.S.; ABREU, M. C. Influência do tempo de floculação na filtração direta de águas com baixa turbidez e teor elevado de algas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 7., 1996, Lisboa. **Simpósio**. Lisboa: Anais... 1996.

- BRATBY, J.R.; MILLER, M. W.; MARAIS, G. V. R. Design of flocculation systems from batch test data. **Water SA**, v. 3, n. 4, p. 173-182, 1977.
- CEPIS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitária. **Evaluacion de Plantas de Tratamiento de Agua**: Manual, C-5. Lima: DTIAPA, 1984. 295p.
- CLARK, S.; LAWLER, D.; CUSHING, R. Contact filtration: particle size and ripening. **Journal of the American Water Works Association**, v. 84, n.12, p. 61-71, 1992.
- CLEASBY, J. L. Filtration. In: *Water Quality and Treatment: A handbook of community water supplies*. **AWWA**, 4. ed. USA. McGraw-Hill, 1990.
- CLEASBY, J.L & FAN, K. Predicting Fluidization and Expansion of Filter Media. **Journal of the Environmental Engineering Division**, v. 107, n. EE3, p. 455-471, Jun. 1981.
- COMA, J.; JABBOURI, A; GRASMICK, A; ELMALEH, S. Flocculation en lit fluidise. **Water Research**. v. 24, n. 3, p. 361–366, 1990.
- CUBAS, A. L. V. **Floculação em meio granular expandido**. 1999. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 1999.
- DE PÁDUA, V. L. **Filtração Direta Descendente – Investigação experimental da coagulação, floculação e filtração em instalação piloto**: Relatório de atividades. Fortaleza: UFC, 2001. 1v. PROSAB 3.
- DE PÁDUA, V.L.; DI BERNARDO, L.; LIBÂNIO, M. Otimização de gradientes de velocidade na floculação. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL., 26., 1998, Lima. **Congresso**. Lima: AIDIS, 1998, v.1. CD-ROM.

- DHARMAPPA, H. B.; VERINK, J.; FUJIWARA, O.; VIGNESWARAN, S. Optimal design of a flocculator. **Water Research**. v. 27, n. 3, p. 513-519, 1993.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. 2 v.
- DI BERNARDO, L., DANTAS, A.D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2 ed. São Carlos: RiMa, 2005. 2 v.
- DI BERNARDO, Luiz. coord. et. al. **Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta**. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2003. 498p. PROSAB3.
- EDWARDS, G.A; AMIRTHARAJAH, A. Removing color caused by humic acids. **Journal of the American Water Works Association**. v. 77, n. 3, p. 50-57, Mar. 1985.
- EDZWALD, J.; BECKER, W. C.; TAMBINI, S. J. Organics, polymers, and performance in direct filtration. **Journal of Environmental Engineering**. v. 113, n. 1, p. 167-185, Feb. 1987.
- FERREIRA, S. S.F.; LAGE, F.A . F. Comportamento químico do Alumínio e do Ferro em meio aquoso e implicações no tratamento de água. **Sanare**, Curitiba, v. 6, n. 6, pp. 50-58, 1997. Semestral.
- GRAHAM, N.J.D. Filter pore flocculation as a mechanism in rapid filtration. **Water Research**. v. 22, n.10. p. 1229-38, 1988.
- GREGORY, J.; DUPONT, V. Properties of flocs produced by water treatment coagulants. **Water Science and Technology**. v. 44, n. 10, p. 231-236, 2001.

HASSEMER, M. E. N. **Tratamento de efluente têxtil – Processo físico-químico com ozônio e floculação em meio granular**. 2000. 151 f. Dissertação (mestrado) – Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/ibge/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>> Acesso em: 22/04/2003.

IVES, K. J.; AL DIBOUNI, M. Orthokinetic flocculation of latex microspheres. **Chemical Engineering Science**. v. 34, n. 7, p. 983-991, 1979.

LEME, F. P. Teoria e técnica da filtração moderna. In: LEME, F. P. **Teoria e técnica de tratamento de água**. 18. ed. Rio de Janeiro: BNH/ABES/CETESB, 1997. p. 149 – 275.

LIBÂNIO, M., DE PÁDUA, V.L., DI BERNARDO, L. Análise da influência da variação dos gradientes de velocidade no desempenho das unidades de floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 63-69, 1997.

MCCONNACHIE, G. L.; FOLKARD, G. K.; MTAWALI, M.A; SUTHERLAND, J.P. Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes. **Water Research**. Vol. 33, Nº 6, p. 1425–1434.

MENDES, C.G.N. **Estudo de coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis**. 1989. 1 v. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

MONSCVITZ, J.; REXING, D.; WILLIAMS, R.; HECKLER, J. Some practical experience in direct filtration. **Journal of the American Water Works Association**, v. 70. n.10 , p. 584-88, 1979.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Água e Saúde**. Disponível em: <www.cepis.ops-oms.org> Acesso em: 30/05/2001.

PEREIRA, J.A et. al. . Avaliação da perda de carga em um reator anaeróbio de leito fluidizado expandido, em escala real, utilizado no tratamento de esgoto sanitário. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27., 2000, Porto Alegre. **Congresso**. Porto Alegre: AIDIS, 2000. v.1. CD-ROM.

PHILIPPI, A. J. **Desenvolvimento de um equipamento para testes de floculação através de floculação em meio granular expandido**. 2001. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2001.

RICHTER, C. A ; MOREIRA, R. B. Floculadores de pedra: experiências em filtro piloto. **Engenharia**, São Paulo, n. 435, 1982.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M.. Floculadores. In: RICHTER, C. A. ; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de Água**. 1. ed. São Paulo. Editora Edgard Blücher LTDA, 1991. p. 86 – 118.

SENDER, I. H. **Estudio experimental en un floculador de lecho granular**. Santiago: Departamento de Ingenieria Civil da Faculdade de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade do Chile, 1981. 1 v. Memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil.

SENS, M. L. e HANSEN, S. Floculação em Meio Granular Expandido, In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18., 1995, Salvador, **congresso**. Salvador: Anais... 1995.

- SENS, M. L. e MARTIN G. Flocculation en Lit Garni de Billes Spheriques (10 mm). **Journal Water SRT – Aqua**, v. 41, n. 6, p. 340-344, 1992.
- SENS, M. L. **Filière de Potabilisation d'Eau - Cas d'une Station Compacte et Mobile**. 1991. 1 v. , Thèse (doctorat), Ecole Nationale Supérieure de Chimie, Université de Rennes, Rennes, 1991.
- SENS, Maurício L. **Floculação em meio granular fixo e expandido**. Florianópolis: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. 67 p. Concurso do magistério superior.
- SNEL, H. e ARBOLEDA, J. V. Influência de la escala de turbulencia en el proceso de floculacion del agua. **Dipa - Separata da revista ACODAL**, Bogotá, 1982.
- THOMAS, D. N.; JUDD, S. J.; FAWCETT, N. Flocculation modelling: A review. **Water Research**, v. 33, n. 7, p. 1579-1592, 1999.
- TREWEEK, G. P. Optimization of flocculation time prior to direct filtration. **Journal of the American Water Woks Association**, v. 71, n. 2, p. 96-101, Feb. 1979.
- USEPA. **Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual. EPA 815-R-99-012, 237**. 1999. Disponível em: <www.epa.gov> Acesso em: 05/06/2000.
- VIANNA, M.R. Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água. 3. ed. São Paulo: Imprimatur Artes Ltda, 1997. 1v.
- WAGNER, E. G.; HUDSON Jr., H. E. Low-dosage high-rate direct filtration. **Journal of the American Water Woks Association**, v. 74, n. 5, p. 256-261, 1982.