

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gustavo Bauermann Sousa

**SISTEMA COMPUTACIONAL DE PRÉ-
DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO
DE ÁGUA: FLOCULADOR, DECANTADOR E FILTRO**

Porto Alegre
julho 2011

GUSTAVO BAUERMANN SOUSA

**SISTEMA COMPUTACIONAL DE PRÉ-
DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO
DE ÁGUA: FLOCULADOR, DECANTADOR E FILTRO**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Gino Roberto Gelling
Coorientadora: Carmen Maria Barros de Castro

Porto Alegre
julho 2011

GUSTAVO BAUERMANN SOUSA

**SISTEMA COMPUTACIONAL DE PRÉ-
DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO
DE ÁGUA: FLOCULADOR, DECANTADOR E FILTRO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de julho de 2011

Prof. Gino Roberto Gehling
Doutorado em Engenharia Ambiental
Orientador Prof. José Maria Baldasano Recio

Profa. Carmen Maria Barros de Castro
Doutorado em Recursos Hídricos e
Saneamento Ambiental
Orientador Prof. Luiz Olinto Monteggia

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Engº Eduardo Fleck (UFRGS)
Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

Engº Tiago Carrard Centurião (UFRGS)
Graduado em Engenharia Química pela PUCRS

Engº Gino Roberto Gehling (UFRGS)
Doutor em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya

Engª Carmen Maria Barros de Castro (UFRGS)
Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Marco e Vera, que me proporcionaram o imenso privilégio de cursar um curso de graduação de qualidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Gino Roberto Gehling e a Profa. Carmen Maria Barros de Castro, respectivamente orientador e coorientadora deste trabalho, pela disponibilidade, paciência e tempo dedicados a esta importante etapa de minha formação.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt, coordenadora das disciplinas de Trabalho de Conclusão de Curso I e II, pelo imenso esforço em capacitar os alunos na tarefa de confecção da monografia.

Agradeço meus pais, Marco e Vera pelo esforço em me proporcionar as melhores oportunidades. Aos meus irmãos, Marcos e Clarissa, grandes amigos e parceiros. À Catarina, minha companheira de todos os momentos e amor da minha vida.

Péssima idéia, a de que não se pode mudar.

Montaigne

RESUMO

SOUSA, G. B. **Sistema Computacional de Pré-Dimensionamento das Unidades de Tratamento de Água: flocculador, decantador e filtro.** 2011. 102 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho versa sobre um sistema computacional de pré-dimensionamento de unidades de floculação, decantação e filtração, presentes nas Estações de Tratamento de Água, que empregam o processo chamando convencional. A atividade humana, cada vez mais consumista de recursos hídricos, necessita de água livre das impurezas geralmente presentes nos mananciais disponíveis naturalmente. Para fornecer água potável para grandes populações são necessárias grandes e diversas Estações de Tratamento de Água (ETA). Uma ETA é composta, no modelo de tratamento convencional, basicamente por cinco etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e processos químicos. Como forma de auxílio ao projetista, esta pesquisa originou um software de pré-dimensionamento das unidades nas quais esses profissionais despendem mais tempo. A unidade de floculação recebe a água bruta aduzida do manancial misturada com um coagulante. Seu objetivo é gerar turbulências no escoamento suficientes para que as partículas se choquem e, estando desestabilizadas por terem sido submetidas à substância coagulante, tendem a se aglomerar e formar os flocos. Porém o flocculador deve ser dimensionado de tal forma que os flocos não sedimentem, por baixa velocidade e ação da gravidade, nem se rompam, por excesso de forças cisalhantes. No processo seguinte, de decantação, o objetivo é proporcionar aos flocos formados anteriormente, condições adequadas para que, pela ação da gravidade, se depositem no fundo do tanque. Porém nem todos os flocos sedimentam e o processo de filtração visa remover as partículas remanescentes através de camadas filtrantes. O sistema computacional, através dos dados de entrada de cada unidade dimensiona estas e avalia a conformidade dos resultados com a NBR 12216 – Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público.

Palavras-chave: NBR 12216; dimensionamento de ETA; flocculador; decantador; filtro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: esquema das etapas de tratamento convencional em uma ETA	17
Figura 2: esquema do delineamento do projeto de pesquisa	20
Figura 3: esquema do processo coagulo-floculação	22
Figura 4: unidade de floculação ETA José Loureiro da Silva, Porto Alegre/RS.....	23
Figura 5: elemento finito de fluido	25
Figura 6: esquema de floculador hidráulico de fluxo horizontal com chicanas (em planta)	29
Figura 7: floculador hidráulico de fluxo horizontal (em perspectiva)	29
Figura 8: floculador mecânico de paletas de eixo vertical (em corte)	30
Figura 9: floculador mecânico de paletas de eixo vertical (em perspectiva)	31
Figura 10: esquema de decantador retangular de fluxo horizontal	33
Figura 11: unidade de decantação da ETA José Loureiro da Silva, Porto Alegre/RS em processo de lavagem	34
Figura 12: cortina de distribuição de um decantador retangular	34
Figura 13: esquema do decantador ideal de fluxo horizontal	36
Figura 14: arranjo geral de filtro rápido de leito simples	41
Figura 15: filtros em processo de esvaziamento na ETA José Loureiro da Silva, Porto Alegre/RS	41
Figura 16: impurezas sendo encaminhadas para as calhas de colheta na ETA José Loureiro da Silva, Porto Alegre/RS	42
Figura 17: geometrias possíveis para calhas	74
Figura 18: sistema de calhas coletoras desaguardando em calha central	74
Figura 19: logotipo do ETASYSTEM	77
Figura 20: introdução de floculadores hidráulicos no ETASYSTEM	86
Figura 21: dados de entrada para dimensionamento de floculadores hidráulicos no ETASYSTEM	86
Figura 22: ajuda do campo Vazão em floculadores hidráulicos no ETASYSTEM	86
Figura 23: validação do campo Comprimento em floculadores hidráulicos no ETASYSTEM	87
Figura 24: velocidade não está de acordo com as recomendações de norma em floculadores hidráulicos no ETASYSTEM	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: sugestão de composição de camada suporte	69
Quadro 2: velocidade ascensional em m/min	73

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ETA	Estação de tratamento de água
G	Gradiente de velocidade
t	Tempo de detenção
NC	Número de Camp
Q	vazão
F	Força
Δv	Variação da velocidade do escoamento
A	Área
τ	Tensão de cisalhamento
V	Volume
μ	Viscosidade dinâmica da água
γ	Peso específico da água
h_f	Perda de carga
v_{sc}	Velocidade de sedimentação
T	Temperatura
L	Comprimento
B	Largura
ΔH	Variação da profundidade
A_s	Área superficial
$Q_{sistema}$	Vazão do sistema
a_n	Espaçamento entre chicanas na câmara n
t_n	Tempo de detenção na câmara n
V_{total}	Volume total
N_n	Número de chicanas em câmara
v_n	Velocidade de escoamento na câmara n
L_e	Comprimento total do percurso
h_{fn}	Perda de carga na câmara n
G_n	Gradiente de velocidade na câmara n
NC_n	Número de Camp na câmara n
$H_{lâmina}$	Altura de lâmina de água
B_f	Largura do flocculador
L_f	Comprimento do flocculador

N_n	Número de chicanas na câmara n
L_n	Perda de carga na câmara n
h_{1n}	Perda de carga na câmara n nas curvas
h_{2n}	Perda de carga na câmara n nos trechos retos
k	Constante sobre propriedades chicanas
g	Aceleração da gravidade
n	Coefficiente de rugosidade
R_H	Raio hidráulico
ϵ	Fator forma
V_u	Capacidade útil do agitador
b	Aresta do tanque
ϵ	Fator forma
A_a	Dimensão básica agitador
α	Constante adimensional
A_p	Área da paleta do agitador
P_t	Potência total
P_u	Potência unitária
v_o	Velocidade horizontal de escoamento
$N_{total\Phi}$	Número total de orifícios na cortina distribuidora
S	Área da seção transversal
N_x	Número de orifícios eixo X
N_y	Número de orifícios eixo Y
D_Φ	Diâmetro do orifício
$A_{unit.\Phi}$	Número de orifícios eixo Y
$A_{total\Phi}$	Área total dos orifícios
v_Φ	Velocidade de entrada do orifício
G_Φ	Gradiente de velocidade do orifício
D_Φ	Diâmetro do orifício
S_Φ	Espaçamento entre eixos de dois orifícios adjacentes
C_d	Coefficiente de descarga
ν	Viscosidade cinemática da água
x	Distância limite percorrida do jato de orifício até que sofra interferência de outros jatos
Q_l	Vazão de lavagem
V_r	Volume de reservação

h_{lf}	Espessura leito filtrante
Φ_e	Diâmetro efetivo
N_{filtros}	Número de filtros
U	Volume de reservação
v_{asc}	Velocidade ascensional
q_c	Velocidade ascensional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 MÉTODO DE PESQUISA	18
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	18
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	18
2.2.1 Objetivo principal	18
2.2.2 Objetivo secundário	18
2.3 PRESSUPOSTOS	19
2.4 DELIMITAÇÕES	19
2.5 LIMITAÇÕES	19
2.6 DELINEAMENTO	19
3 FLOCULADOR	22
3.1 PARÂMETROS DE PROJETO	24
3.1.1 Gradiente de velocidade	24
3.1.2 Tempo de detenção	27
3.1.3 Número de Camp	27
3.1.4 Vazão da instalação	28
3.2 TIPOS DE FLOCULADORES	28
3.2.1 Floculador hidráulico de fluxo horizontal com chicanas	28
3.2.2 Floculador mecânico de paletas de eixo vertical	29
4 DECANTADOR	32
4.1 PARÂMETROS DE PROJETO	35
4.1.1 Taxa de escoamento superficial e velocidade de sedimentação	35
4.1.2 Tempo nominal de detenção	38
4.1.3 Relação entre comprimento e largura	39
4.1.4 Vazão de instalação	39
5 FILTRO	40
5.1 PARÂMETROS DE PROJETO	42
5.1.1 Granulometria do leito filtrante	43
5.1.2 Taxa de aplicação	43
6 DIMENSIONAMENTO DE FLOCULADORES	44
6.1 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUXO HORIZONTAL COM CHICANAS	44
6.1.1 Vazão do sistema	45
6.1.2 Número de câmaras de floculação	45

6.1.3 Espaçamento entre chicanas e tempo de detenção em câmaras de floculação	46
6.1.4 Volume total de água no floculador	47
6.1.5 Área superficial do floculador	47
6.1.6 Número de chicanas	48
6.1.7 Velocidade de escoamento nas câmaras	49
6.1.8 Percurso total do escoamento	50
6.1.9 Perda de carga	51
6.1.10 Gradiente de velocidade	52
6.1.11 Número de Camp	53
6.2 FLOCULADOR MECÂNICO DE PALETAS DE EIXO VERTICAL	53
6.2.1 Vazão de instalação	54
6.2.2 Número de câmaras de floculação	54
6.2.3 Capacidade útil e tempo de detenção em câmaras de floculação	55
6.2.4 Número de agitadores	55
6.2.5 Dimensões do agitador	56
6.2.6 Escolha do agitador	57
6.2.7 Fator forma	57
6.2.8 Gradiente de velocidade	58
6.2.9 Número de Camp	59
7 DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES	60
7.1 VAZÃO DO SISTEMA	60
7.2 TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL	61
7.3 TEMPO DE DETENÇÃO	61
7.4 RELAÇÃO L/B	61
7.5 VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO	62
7.6 ÁREA SUPERFICIAL	63
7.7 LARGURA, COMPRIMENTO E ALTURA DE ÁGUA	63
7.8 VELOCIDADE HORIZONTAL DE ESCOAMENTO	64
7.9 NÚMERO TOTAL DE ORIFÍCIOS	65
7.10 DIÂMETRO DOS ORIFÍCIOS	66
7.11 GRADIENTE DE VELOCIDADE DOS ORIFÍCIOS	67
8 DIMENSIONAMENTO DE FILTROS	68
8.1 VAZÃO DO SISTEMA	61
8.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO LEITO FILTRANTE E DA CAMADA SUPORTE	61

8.3	ÁREA MÁXIMA SUPERFICIAL	62
8.4	TAXA DE APLICAÇÃO	62
8.5	ÁREA SUPERFICIAL TOTAL	62
8.6	NÚMERO DE FILTROS	63
8.7	COMPRIMENTO E LARGURA	64
8.8	VAZÃO DE LAVAGEM	64
8.9	VOLUME DE RESERVAÇÃO	65
8.10	NÚMERO E GEOMETRIA DAS CALHAS DE LAVAGEM	66
8.11	NÚMERO E VAZÃO DOS BOCAIS ASPERSORES	67
8.12	LÂMINA DE ÁGUA MÍNIMA SOBRE LEITO FILTRANTE	68
9	ETASYSTEM	77
9.1	TECNOLOGIAS ADOTADAS	77
9.2	FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUXO HORIZONTAL COM CHICANAS	78
9.3	FLOCULADOR MECÂNICO DE PALETAS DE EIXO VERTICAL	79
9.4	DECANTADOR RETANGULAR DE FLUXO HORIZONTAL	81
9.5	FILTRO RÁPIDO DE CAMADA SIMPLES	83
9.6	AUXÍLIO AO PROJETISTA	85
9.7	ANÁLISE SOBRE RESULTADOS	87
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
10.1	CONCLUSÕES	88
10.2	TRABALHOS FUTUROS	91
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICE A	95
	ANEXO A	101

1 INTRODUÇÃO

Di Bernardo e Dantas (2005) mencionam que, apesar de ser indispensável ao organismo humano, sabe-se que a água pode conter substâncias, elementos químicos ou microorganismos que precisam ser removidos ou parcialmente removidos para que sua concentração não seja prejudicial ao consumo humano. Segundo Vianna (2002), a água é essencial para a existência de praticamente todas as atividades do homem realizadas sobre a Terra, sejam elas urbanas, industriais ou agropecuárias. A água é essencial para a ampla existência da vida no Planeta. Dela dependem todos os animais, vegetais e outras formas de vida.

Vianna (2002) cita também que a industrialização e o aumento populacional têm propulsado um aumento aparentemente infundável de demanda hídrica. Junto com este fato, a falta de tratamento dos esgotos tem ocasionado poluição aos mananciais que abastecem as cidades, gerando uma necessidade cada vez mais rigorosa de tratamento da água destinada ao consumo humano.

Segundo Melo (2007), o primeiro sistema de abastecimento público que se tem notícia é um aqueduto construído na Grécia há cerca de 2.500 anos. Era um túnel com 1.280 m, próximo à Atenas. Já Vianna (2002) menciona o aqueduto de Jerwan, construído na Assíria, em 691 a.C. Os notáveis aquedutos Romanos, construídos a partir de 312 a.C. possuíam comprimento de 16 até mais de 80 quilômetros. A capacidade estimada de vazão era de cerca de 221,9 milhões de litros por dia, suficiente para abastecer na atualidade uma cidade de 600.000 habitantes, se admitida cota per capita diária de 300 litros e um coeficiente do dia de maior consumo igual a 1,2. Segundo Castro (2008a), o primeiro aqueduto no Brasil foi construído no bairro da Lapa, no Rio de Janeiro, em 1723.

A história do tratamento da água continua sendo descoberta, porém há evidências de que desde os tempos antigos já havia uma preocupação com a qualidade da água a ser consumida. Os antigos egípcios armazenavam a água em grandes jarros e deixavam que as impurezas sedimentassem no fundo dos mesmos. Hipócrates, na Grécia, considerado o Pai da Medicina, aconselhava a ferver a água antes de bebê-la. O primeiro sistema de abastecimento público foi

desenvolvido por John Gibb, em 1804, em Paisley, na Escócia. Em 1806, uma grande estação de tratamento de água começou a operar em Paris, na França. Nesta, a água era armazenada para sedimentação por 12 horas sendo posteriormente filtrada por filtros de areia e carvão. Apenas na década de 1870, Dr. Robert Koch e Dr. Joseph Lister demonstraram que os microorganismos presentes na água podem causar doenças. Em 1902, em Middlekerk, na Bélgica, tem-se o primeiro registro de utilização do cloro para desinfecção (WATER RESEARCH COMISSION, 2009).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), estima-se que, no Brasil, cerca de 60% das hospitalizações estejam relacionadas às deficiências do saneamento básico, causando consequências de impacto extremamente negativo na qualidade e expectativa de vida da população. As informações coletadas pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB 2008 –, sobre abastecimento de água revelam que dos 5.564 municípios brasileiros existentes em 2008, 5.531 (99,4%) realizavam abastecimento de água por rede geral de distribuição em pelo menos um distrito ou parte dele.

O projeto de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) é elaborado através de um amplo estudo das características da comunidade a ser abastecida e das propriedades ambientais da região. Estes estudos têm como objetivo levantar possibilidades técnico-econômicas viáveis. Os estudos preliminares essenciais, segundo Castro (2008a), são:

- a) características dos mananciais;
- b) população a ser atendida;
- c) variações de demanda;
- d) clima local;
- e) atividades econômicas da cidade;
- f) características sócio-culturais da população.

O processo de tratamento utilizado na maior parte das Estações de Tratamento de Água (ETA) no Brasil é denominado tratamento convencional. Este processo consiste em, a partir da análise da água bruta que é aduzida, encaminhá-la para o processo de coagulação na unidade de mistura rápida. Após, é conduzida para o processo de floculação na unidade de mistura lenta e, em seguida, entra no processo de decantação, no chamado decantador. Após

estes processos a água segue para o filtro, sendo em seguida desinfetada. Caso haja necessidade, seu pH é ajustado na etapa de pós-alcalinização e, por fim, fluoretada.

Os processos que constituem as etapas de uma ETA podem ser apresentados conforme esquema da figura 1.

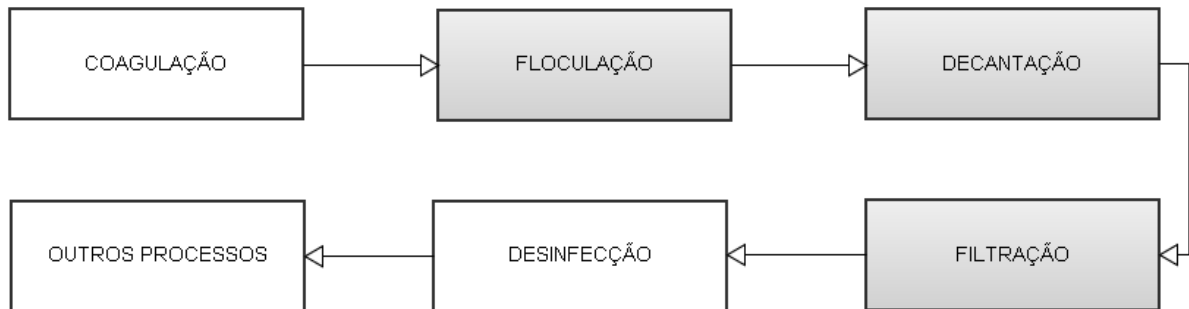


Figura 1: esquema das etapas de tratamento convencional em uma ETA

Neste trabalho serão estudados, conforme destacado na figura 1, exclusivamente os processos de floculação, decantação e filtração, pois estes consistem em maior demanda de tempo para o projetista no momento do dimensionamento das unidades que compõem o tratamento de água convencional. Como resultado final será obtido um software, acessível pela rede de internet, que a partir de dados de entrada do usuário realize o dimensionamento das unidades citadas anteriormente, com algumas restrições estabelecidas que serão apresentadas posteriormente. Este trabalho busca desenvolver uma ferramenta de auxílio ao projetista em uma etapa inicial de projeto e ao estudante que tenha interesse na área.

O capítulo 1 apresenta a introdução sobre tratamento de água e seus processos. Posteriormente, o capítulo 2 inclui o método de pesquisa adotado no trabalho, incluindo a questão de pesquisa, os objetivos do mesmo, os pressupostos, as delimitações, limitações e o delineamento. Os capítulos 3, 4 e 5 disponibilizam embasamento teórico sobre flocladores, decantadores e filtros, respectivamente. Os capítulos 6, 7 e 8 apresentam as etapas para o dimensionamento das mesmas unidades. Após, o capítulo 9 apresenta o sistema computacional desenvolvido e os passos para sua utilização. Por fim o capítulo 10 apresenta as considerações finais do trabalho.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo serão apresentados os itens questão de pesquisa, objetivos do trabalho, pressupostos, delimitações, limitações e delineamento. Estes compõem a metodologia de pesquisa adotada neste trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual seria uma rotina computacional adequada para o desenvolvimento de um sistema de pré-dimensionamento das unidades de floculação, decantação e filtração em um projeto de uma ETA ?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho compõem a razão pela qual o trabalho foi desenvolvido e, são divididos entre principal e secundário.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento de um sistema computacional de pré-dimensionamento das unidades de floculação, decantação e filtração de uma ETA.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário deste trabalho é a apresentação de roteiro para dimensionamento das unidades de floculação, decantação e filtração.

2.3 PRESSUPOSTOS

Este trabalho tem como pressuposto que os critérios adotados pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) – Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público – são adequados e a água, que chega à ETA, foi devidamente analisada e encontra-se nos padrões considerados adequados para os posteriores processos de floculação, decantação e filtração.

2.4 DELIMITAÇÕES

A pesquisa delimita-se a consideração de unidade com as seguintes características:

- a) floculadores hidráulicos de fluxo horizontal e floculadores mecânicos de paletas de eixo vertical, fabricante Degremont modelos SL-02-01 à SL-02-06;
- b) decantadores retangulares de fluxo horizontal sem calhas de coleta;
- c) filtros rápidos de fluxo descendente com camada simples.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do projeto:

- a) uso de uma única linguagem de programação para desenvolvimento da ferramenta computacional;
- b) não serão consideradas variações das características químicas e físicas da água, tais como condutividade, sólidos suspensos, turbidez, pH. Apenas a unidade de decantação irá considerar a temperatura.

2.6 DELINEAMENTO

As etapas de elaboração do trabalho são:

- a) pesquisa bibliográfica;

- b) definição dos métodos e critérios adotados;
- c) desenvolvimento dos algoritmos de dimensionamento;
- d) desenvolvimento do software;
- e) validação do software e análise dos resultados;
- f) considerações sobre o apoio que o software proporcionará ao projetista de uma ETA.

O trabalho foi realizado segundo a sequência apresentada na figura 2.

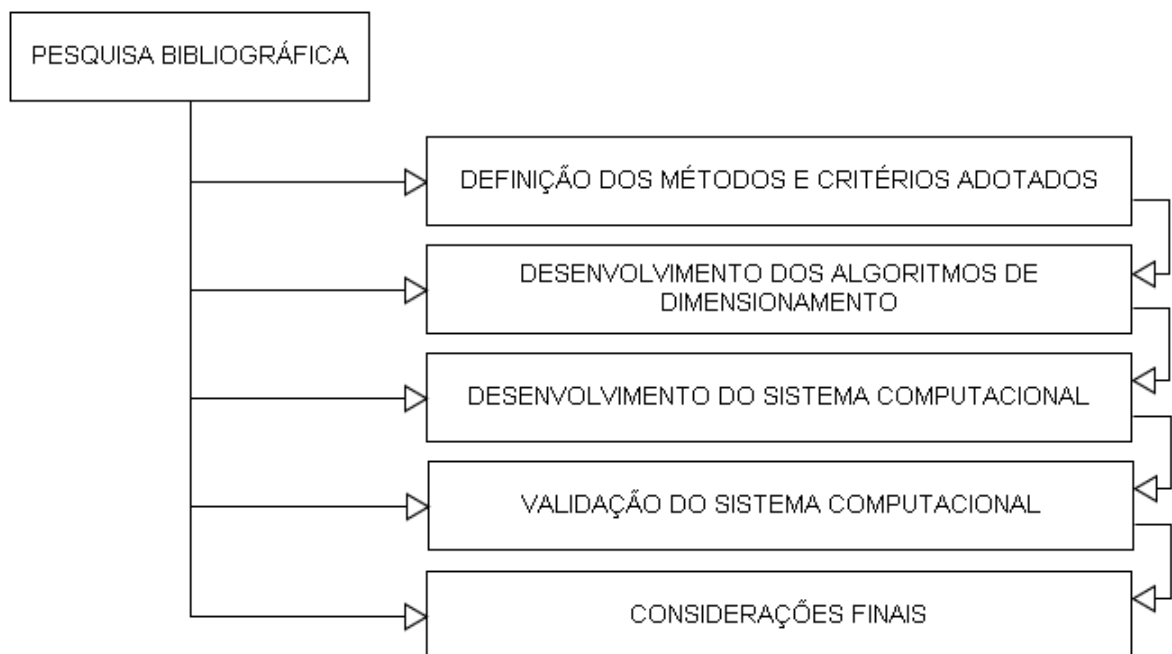


Figura 2: esquema do delineamento do projeto de pesquisa

Após a definição do tema do trabalho, a tecnologia a ser utilizada no desenvolvimento do software e os parâmetros iniciais de pesquisa, teve início a primeira etapa do projeto de pesquisa, a **Pesquisa Bibliográfica**, tendo como objetivo aprofundar os conhecimentos e definir quais eram as variáveis do projeto.

O passo seguinte foi a **Definição dos Métodos e Critérios Adotados**, tendo como foco definir os métodos e os critérios de dimensionamento que foram adotados dentro do desenvolvimento do software. Após esta etapa, o **Desenvolvimento dos Algoritmos de**

Dimensionamento teve o objetivo de definir a sequência lógica de etapas que o software deve executar e organizar da forma estruturada para então passar à próxima etapa. Esta, denominada **Desenvolvimento do Sistema Computacional**, teve como fim elaborar o software propriamente dito, ou seja, transferir toda estrutura previamente planejada em uma linguagem computacional, que interprete os dados inseridos pelo usuário.

Na próxima etapa foi executada a **Validação do Sistema Computacional**, que consistiu em verificar e comparar os valores obtidos através de testes com resultados obtidos manualmente. Finalmente, a última etapa foi **Considerações Finais**, teve como objetivo estabelecer as conclusões finais do trabalho baseada nos resultados obtidos.

3 FLOCULADOR

Antes de introduzir o tema floculação, faz-se necessário, para o melhor entendimento do mesmo, apresentar brevemente o processo anterior à floculação, a coagulação. Segundo Castro (2008b), o processo de coagulação consiste em desestabilizar as partículas suspensas carregadas negativamente, presentes na forma de colóides na água. Ainda, de acordo com a já citada autora, é adicionada à mesma uma substância coagulante carregada positivamente, sendo o coagulante mais utilizado no tratamento de água para consumo humano o sulfato de alumínio¹. Existem substâncias auxiliares que aperfeiçoam a coagulação, porém diante do escopo deste trabalho não é necessário apresentá-las. Uma vez as partículas tendo suas forças repulsivas eliminadas, através da adição do coagulante, estas tendem a se aglomerar em um volume maior para posterior sedimentação. Na figura 3 é apresentado o processo. A unidade na qual é realizado o processo de coagulação também é chamada de unidade de mistura rápida.

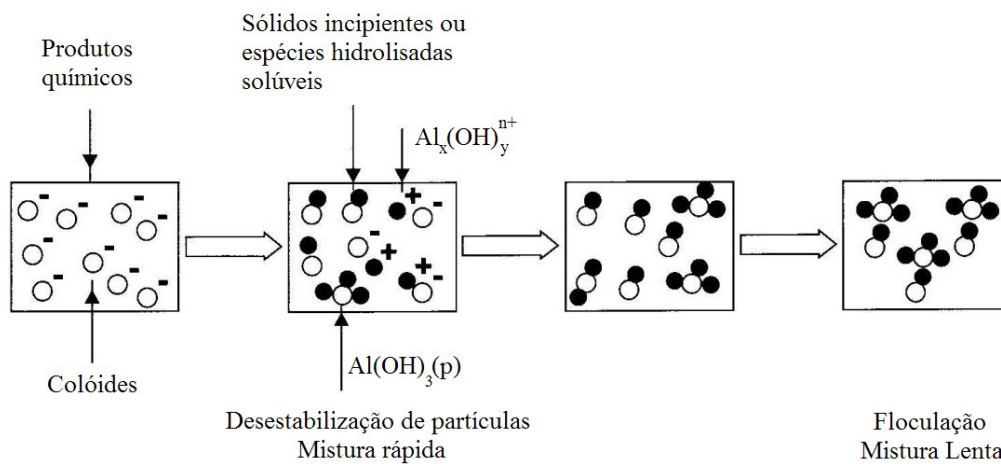


Figura 3: esquema do processo coagulo-floculação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005)

A água depois de coagulada é encaminhada para a unidade de floculação, também chamada de unidade de mistura lenta ou simplesmente floculador. Segundo Castro (2008b), no início

¹ Sulfato de Alumínio: $Al_2(SO_4)_3$, extraído da bauxita, mineral abundante e de baixo custo, estes dois dos três fatores mais importantes na escolha de um coagulante para utilização em uma ETA, o terceiro e não menos importante é o nível de toxicidade da substância

do processo as partículas desestabilizadas são induzidas a uma agitação intensa para que as partículas sólidas em suspensão, em grande quantidade, se choquem e se aglomerem. Ainda, de acordo com essa autora, na medida em que os flocos se aglomeram, a quantidade de colisões entre partículas diminui e o volume dos flocos tende a aumentar. Flocos maiores não suportam grandes agitações, como no início da floculação e, as forças de cisalhamento seriam capazes de rompê-los, por isto a agitação vai sendo reduzida progressivamente até o final da unidade e os flocos tendem a ter seu volume aumentado durante o processo. Castro (2008b) apresenta relações recomendadas entre as velocidades de floculação, quebra de floco e sedimentação:

$$V_{\text{sedimentação}} < V_{\text{floculação}} < V_{\text{quebra}}$$

Como exemplo de utilização de flocladores, pode-se considerar a ETA José Loureiro da Silva, localizada na cidade de Porto Alegre/RS, que opera com flocladores mecanizados. Na figura 4, como ilustração, é apresentada uma foto dos compartimentos de floculação em série da ETA José Loureiro da Silva localizada na cidade de Porto Alegre/RS.



Figura 4: unidade de floculação ETA José Loureiro da Silva, Porto Alegre/RS

Nos seguintes itens serão abordados os parâmetros básicos de projeto para unidades de floculação e os tipos de flocladores abordados por esta pesquisa.

3.1 PARÂMETROS DE PROJETO

Segundo Castro (2008b), os parâmetros básicos para o dimensionamento de unidades de floculação, também conhecida por mistura lenta, detalhados nos próximos itens, são:

- a) gradiente de velocidade (G);
- b) tempo de detenção (t);
- c) número de Camp (NC);
- d) vazão da instalação (Q).

3.1.1 Gradiente de velocidade

Castro (2008b) afirma que o gradiente médio de velocidade, anotado como G, mede o grau de agitação do fluido decorrente da variação da velocidade do escoamento em uma linha perpendicular à direção do escoamento. Segundo Richter e Netto (1991), o gradiente de velocidade pode ser calculado pela equação de Camp e Stein. A mesma considera que um elemento de fluido de dimensões $\Delta X \times \Delta Y \times \Delta Z$, conforme a figura 5, sujeito às agitações hidráulicas ou mecânicas durante a mistura. Considera ainda que a potência dissipada é o produto da força de viscosidade pela velocidade. Considerando P a potência dissipada, tem-se:

$$P = F \times \Delta v \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

P = potência, em $\text{kgf} \times (\text{m/s})$;

F = força de viscosidade, em N;

Δv = variação da velocidade do escoamento, em m/s;

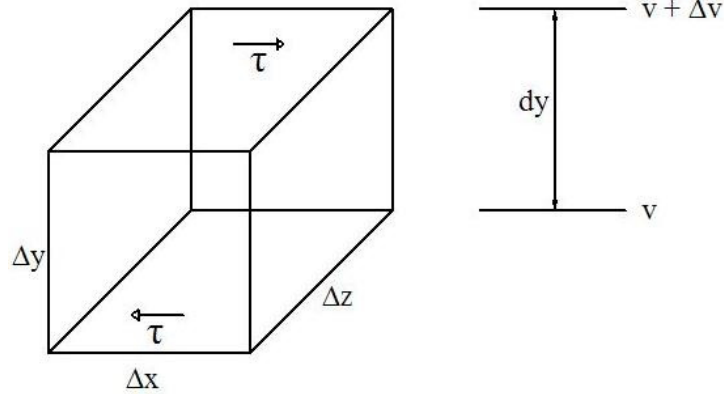


Figura 5: elemento finito de fluido
(RICHTER; NETTO, 1991)

Sabendo que a força F é dada pelo produto da área A pela tensão τ :

$$F = A \times \tau \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

A = área da seção, em m^2 ;

τ = tensão de cisalhamento, em N/m^2 .

Substituindo a fórmula 2 na 1 e rearranjando os termos, tem-se (RICHTER; NETTO, 1991):

$$P = \tau \times \Delta X \times \Delta Y \times \Delta Z \times dv / dy \quad (\text{fórmula 3})$$

Segundo Richter e Netto (1991), o volume do elemento é dado por $\Delta X \times \Delta Y \times \Delta Z = \Delta V$ e substituindo este na fórmula 3, tem-se:

$$P / V = \tau \times dv/dy \quad (\text{fórmula 4})$$

Para fluidos newtonianos tem-se $\tau = \mu \times (dv/dy)$, onde μ é coeficiente de viscosidade dinâmica, substituindo-o na fórmula 4, tem-se (RICHTER; NETTO, 1991):

$$P/V = \mu \times (dv/dy)^2 \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

μ = viscosidade dinâmica da água, em Pa \times s.

Segundo Richter e Netto (1991), substituindo $dv/dy = G$, tem-se:

$$G = ((P/(\mu \times V))^{1/2} \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

G = gradiente de velocidade, em s^{-1} .

Segundo Castro (2008b), sendo a potência dissipada P no processo hidráulico, tem-se:

$$P = \gamma \times Q \times h_f \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

γ = peso específico da água em kgf/m^3 ;

Q = vazão da água, em m^3/s ;

h_f = perda de carga, em m.

Segundo Castro (2008b), considerando que $Q = V/t$, onde V = volume em m^3 e t = tempo de detenção em s, tem-se:

$$P = \gamma \times (V/t) \times h_f \quad (\text{fórmula 8})$$

Segundo Castro (2008b), substituindo a fórmula 8 na 6, tem-se:

$$G = ((\gamma \times h_f)/(\mu \times t))^{1/2} \quad (\text{fórmula 9})$$

3.1.2 Tempo de detenção

Segundo Vianna (2002), o tempo de detenção, anotado como t , é o tempo que a água escoando permanece no interior da unidade de floculação. De acordo com Castro (2008b), é definido pela divisão do volume de água pela vazão da unidade:

$$t = V/Q \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

t = tempo de detenção, em s;

V = volume de água, em m^3 ;

Q = vazão da água, em m^3/s .

3.1.3 Número de Camp

Segundo Castro (2008b), o número de Camp, anotado como NC , tem como fundamento que tanto o gradiente de velocidade quanto o tempo de detenção influenciam a probabilidade de choques entre as partículas, então o produto deles fornece uma medida adimensional das oportunidades de choque. Ainda segundo a autora, é definido pelo produto do gradiente de velocidade pelo tempo de detenção:

$$NC = G \times t \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

NC = número de Camp;

G = gradiente de velocidade, em s^{-1} ;

t = tempo de detenção, em s.

De acordo Vianna (2002), este conceito oferece uma perspectiva de proporcionar idêntica probabilidade de choques entre as partículas desestabilizadas no processo de floculação

escalonada. Inicialmente o gradiente de velocidade é maior e o tempo de detenção menor, posteriormente o gradiente de velocidade é menor e o tempo de detenção maior, podendo-se estabelecer um número de Camp constante em todo processo, gerando melhores condições para a formação dos flocos.

3.1.4 Vazão da instalação

Segundo Castro (2008b), a vazão da instalação, anotada como Q , representa o volume de água V escoado em certo intervalo de tempo t , então:

$$Q = V/t \quad \text{(fórmula 12)}$$

Onde:

Q = vazão da água, em m^3/s ;

V = volume de água, em m^3 ;

t = intervalo de tempo, em s.

3.2 TIPOS DE FLOCULADORES

Nos itens seguintes serão apresentadas as unidades de floculação hidráulica de fluxo horizontal com chicanas e mecânica de paletas de eixo vertical.

3.2.1 Floculador hidráulico de fluxo horizontal com chicanas

Segundo Richter e Netto (1991), qualquer sistema, que utilize a energia hidráulica dissipada em forma de perda de carga no fluxo da água, pode ser utilizado como floculador hidráulico. Nestes a agitação é garantida pela passagem da água em tratamento por sucessivas mudanças horizontais de direção. É recomendado adotar os critérios estabelecidos pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), que serão dispostos

adequadamente ao longo do trabalho. Na figura 6 é apresentada a vista em planta de um floculador hidráulico de fluxo horizontal com chicanas, e na figura 7 uma seção transversal do floculador é apresentada em perspectiva.

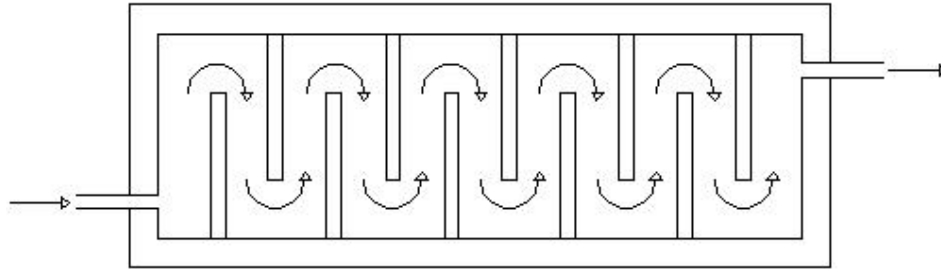


Figura 6: esquema de floculador hidráulico de fluxo horizontal com chicanas (em planta)

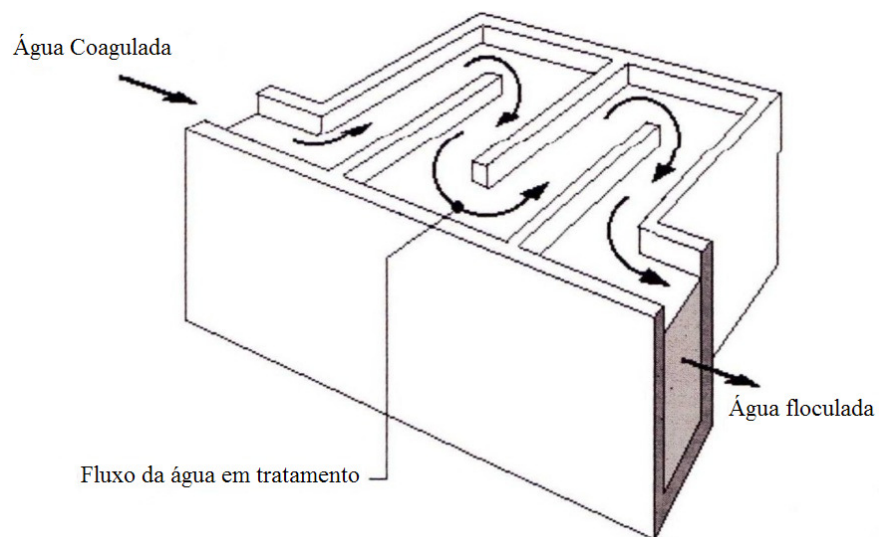


Figura 7: floculador hidráulico de fluxo horizontal (em perspectiva) (VIANNA, 2002)

3.2.2 Floculador mecânico de paletas de eixo vertical

De acordo com Richter e Netto (1991), os floculadores mecânicos de paletas de eixo vertical utilizam energia mecânica externa, através do movimento giratório das paletas, que em compartimentos apropriados, é dissipada pela água. Os tanques de floculação devem ser

compartimentados em série de no mínimo três unidades separadas por cortinas ou paredes. É recomendado adotar os critérios estabelecidos pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), dispostos oportunamente ao longo do trabalho. Na figura 8 é apresentado um corte de um floculador mecânico de paletas de eixo vertical e na figura 9 é apresentada a perspectiva do floculador.

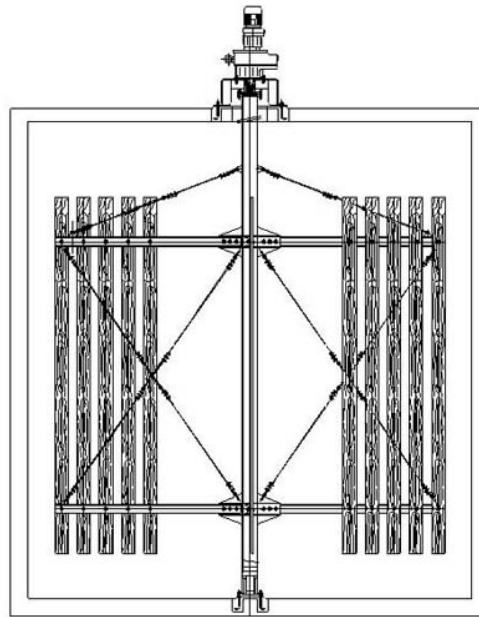


Figura 8: floculador mecânico de paletas de eixo vertical (em corte)
(ACQUASAN EQUIPAMENTOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES, 2009)

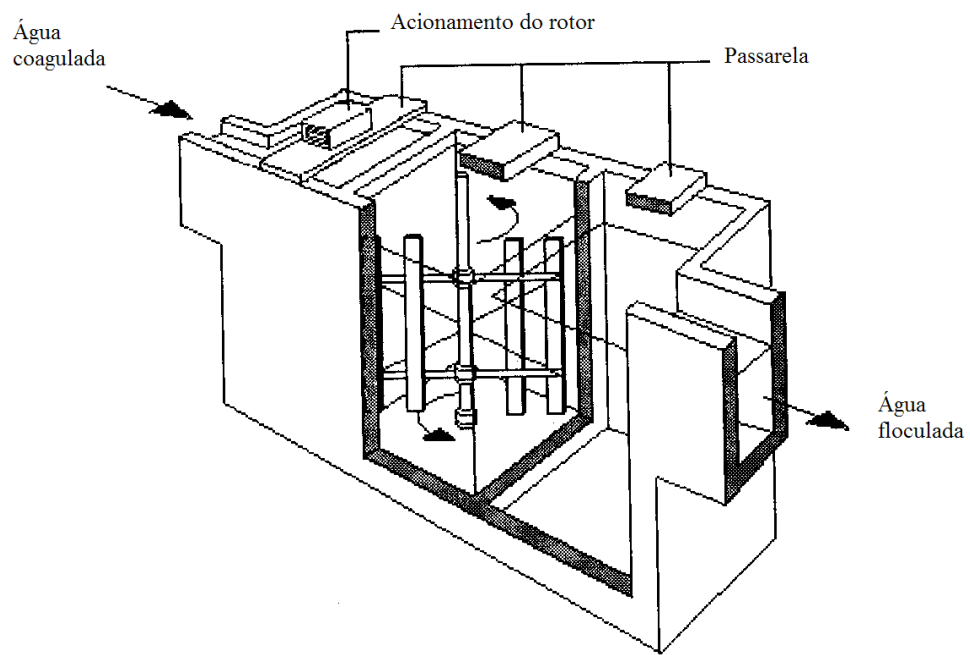


Figura 9: floculador mecânico de paletas de eixo vertical (em perspectiva)
(VIANNA, 2002)

4 DECANTADOR

Completos os processos de coagulação e floculação, segue-se a sedimentação ou decantação que é um processo natural de separação de sólidos suspensos em meio líquido e consiste na utilização de forças gravitacionais para separar as partículas de densidade superior a da água (CASTRO, 2008c). Ainda de acordo com a autora, é um dos processos mais comuns no tratamento de água e esgotos.

Segundo Leme (1979), o decantador é um tanque na maior parte dos casos de configuração paralelepípedica, com fundo plano ou inclinado. No qual o afluente tem acesso ao tanque por um de seus lados menores. O processo de decantação consiste, inicialmente, em distribuir a água no tanque através da cortina de distribuição, que contem diversos orifícios, e que posicionados da maneira adequada aperfeiçoam o processo. Posteriormente o escoamento é submetido a velocidades muito baixas, para que os elementos floculentos tenham condições de sedimentar. Segundo Castro (2008c), a eficiência esperada neste processo é de 80 a 90% para turbidez e de 80% para coliformes. No fim do processo a água decantada é coletada, sendo posteriormente encaminhada para o processo de filtração, cuja finalidade é principalmente remover as partículas remanescentes. Na figura 10 é apresentado o esquema típico de decantadores de seção retangular com fluxo horizontal. Neste caso, o decantador é constituído por quatro zonas:

- a) de entrada: tem como atribuição distribuir a entrada do fluido na seção transversal do tanque;
- b) de decantação: tem como atribuição submeter os flocos a condições hidráulicas tais que estes tendam a se acumular na zona de acúmulo;
- c) de acúmulo: tem como atribuição reter temporariamente as partículas sedimentadas;
- d) de saída: tem como atribuição coletar adequadamente a água decantada.

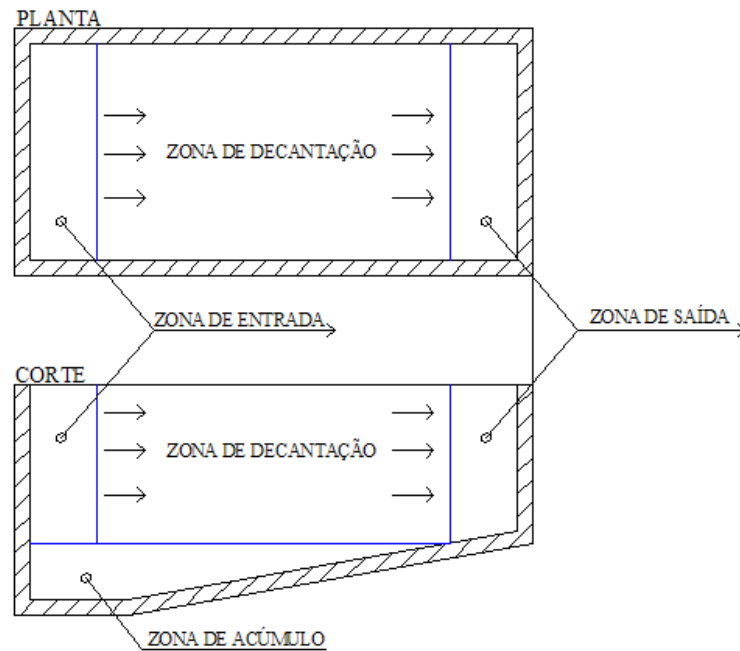


Figura 10: esquema de decantador retangular de fluxo horizontal (CASTRO, 2008c)

A ETA Jose Loureiro da Silva, localizada na cidade de Porto Alegre/RS, por exemplo, opera com três decantadores retangulares de fluxo horizontal. Na figura 11 é apresentada a imagem de uma das unidades durante o processo de lavagem e na figura 12 é apresentado um decantador em manutenção, sendo possível visualizar os orifícios de entrada de água da cortina de distribuição.



Figura 11: unidade de decantação da ETA José Loureiro da Silva. Porto Alegre/RS, em processo de lavagem.



Figura 12: cortina de distribuição de um decantador retangular

No seguinte item será abordado os parâmetros básicos de projeto para unidades de decantação.

4.1 PARÂMETROS DE PROJETO

Segundo Castro (2008c), os parâmetros básicos para o dimensionamento da unidade de decantação, que são detalhados nos próximos itens, são:

- a) taxa de escoamento superficial e velocidade de sedimentação (v_{sc});
- b) tempo nominal de detenção (t);
- c) relação entre comprimento e largura (L/B);
- d) vazão de instalação (Q).

4.1.1 Taxa de escoamento superficial e velocidade de sedimentação

O resultado da razão entre vazão e área (Q/A) é conhecido como taxa de escoamento superficial, sendo essa de valor numérico igual à velocidade de sedimentação. Corresponde à velocidade de sedimentação da menor partícula sedimentada. As partículas com velocidade superior ou igual à velocidade de sedimentação serão removidas, já as partículas com velocidades menores dependerão do seu posicionamento na zona de entrada. Esta análise pode ser demonstrada na observação do esquema da figura 13 (CASTRO, 2008c).

Feitas estas considerações, de acordo com Castro (2008c), pode-se formular a v_{sc} para um tanque ideal admitindo que ela é a velocidade de sedimentação crítica de uma partícula e é definida por:

$$v_{sc} = \Delta H/t \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

ΔH = variação da profundidade da partícula, em m;

t = tempo teórico de detenção, em s.

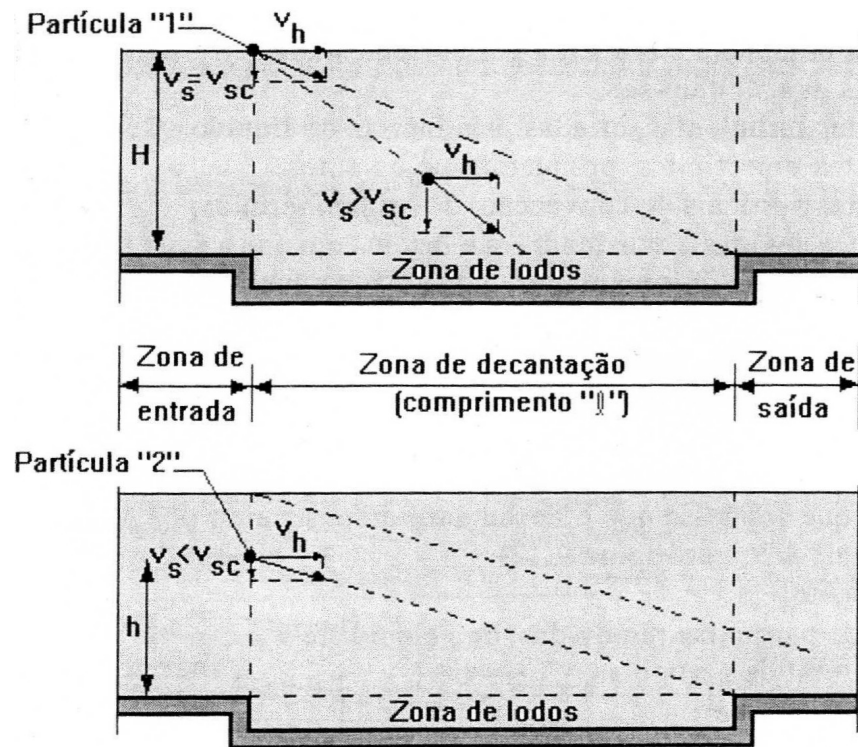


Figura 13: esquema do decantador ideal de fluxo horizontal (VIANNA, 2002)

Ainda segundo Castro (2008c), o tempo teórico de detenção é dado pelo tempo que a partícula na posição mais desfavorável levaria para chegar ao fundo do decantador e, é definido pela fórmula:

$$t = V/Q \quad (\text{fórmula 14})$$

Sabendo que o volume V é dado pelo produto de área superficial A_s pela profundidade H , tem-se (CASTRO, 2008c):

$$t = (A_s \times H)/Q \quad (\text{fórmula 15})$$

Segundo Castro (2008c) substituindo a fórmula 15 na 12, tem-se:

$$v_{sc} = Q/A_s \quad (\text{fórmula 16})$$

Onde:

v_{sc} = velocidade de sedimentação, em m/s.

A_s = área superficial do decantador, em m^2 .

V = volume de água, em m^3 ;

Q = vazão do escoamento, em m^3/s .

Por fim, como demonstrado por Gehling (1994), a variação da temperatura apresenta-se como um parâmetro importante no cálculo da velocidade de sedimentação, apesar de nunca considerado nos projetos de decantadores. Keinath e Wanielista (1975 *apud* Gehling, 1994) apresentam a viscosidade de água em função da temperatura em graus centígrados, através da seguinte equação:

$$v = 0,017 \times e^{-0,02524 \times T} \quad (\text{fórmula 17})$$

Onde:

v = viscosidade cinemática da água, em m^2/s ;

T = temperatura da água ($^{\circ}C$).

A sedimentação de partículas discretas pode ser representada pela Lei de Stokes, dada pela seguinte expressão (GEHLING, 1994):

$$v_{sc} = g \times d^2 \times (\gamma_s - \gamma_a) / (18 \times v) \quad (\text{fórmula 18})$$

Onde:

v_{sc} = velocidade de sedimentação, em m/s ;

g = aceleração gravitacional, em m^2/s ;

d = diâmetro da partícula, em;

γ_s = peso específico da partícula, em kgf / m^3 ;

γ_a = peso específico da água, em kgf / m^3 ;

v = viscosidade cinemática da água, em m^2/s .

Realizando um equacionamento com a fórmula 18, através do isolamento de todas variáveis com exceção da viscosidade cinemática e combinando com a fórmula 17, chega-se a:

$$v_{sc1} = v_{sc0} \times v_0 / v_1 \quad (\text{fórmula 19})$$

Onde:

v_{sc1} = velocidade de sedimentação ajustada para v_1 , em m/s;

v_{sc0} = velocidade de sedimentação para v_0 , em m/s;

v_0 = viscosidade cinemática da água inicial, em m^2/s ;

v_1 = viscosidade cinemática da água ajustada, em m^2/s .

Gehling (1994) apresenta ainda uma inovação: a comprovação estatística de que em um decantador, o rendimento independe da carga hidráulica aplicada ($m^3/m^2.dia$). Isto porque a variação da vazão em torno da vazão média, em cada decantador, nunca atinge a amplitude que seria necessária para alterar significativamente o rendimento na decantação.

4.1.2 Tempo nominal de detenção

De acordo com Richter e Netto (1991), o tempo de detenção, anotado como t , é o tempo em que a água permanece na unidade de decantação e é dado pelo tempo t que o escoamento com uma vazão Q alcança o volume V necessário para encher o decantador. Substituindo a fórmula 15 na 16, tem-se:

$$t = H/v_{sc} \quad (\text{fórmula 20})$$

Onde:

t = tempo nominal de detenção, em s;

H = profundidade da água, em m;

v_{sc} = velocidade do escoamento, em m/s.

4.1.3 Relação entre comprimento e largura

A relação entre o comprimento e a largura, anotada como L/B , nos decantadores de fluxo horizontal, deve ser tal que evite a má distribuição da água no decantador e que evite o arraste dos flocos, causados por comprimentos curtos e comprimentos excessivos, respectivamente. O comprimento é anotado como L e a largura como B , a unidade de ambos para fins de cálculo é metro (RICHTER; NETTO, 1991).

4.1.4 Vazão da instalação

A vazão de instalação segue o mesmo critério apresentado no capítulo sobre flocladores, no qual cita que a vazão da instalação, anotada como Q , representa o volume de água V escoado em certo intervalo de tempo t e é representado pela fórmula 12.

5 FILTRO

Segundo Castro (2008d), a filtração é um processo de separação dos sólidos de uma solução, através de um meio poroso que retenha as impurezas. Nas ETA com tratamento convencional, o processo de filtração é antecedido pela coagulação, floculação e decantação. Como foi apresentado no capítulo anterior, referente aos decantadores, nem todas as impurezas são removidas durante a decantação então, o processo de filtração tem como principal função eliminar os sólidos residuais. De acordo com Vianna (2002), o processo de filtração atua também na remoção dos microorganismos presentes nos resíduos. A unidade de filtro rápido com camada simples, com capacidade de filtragem de até $180 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{dia})$, de acordo com Castro (2008d), é a mais usualmente encontrada nas ETA do Brasil, o que justifica sua adoção neste trabalho.

Segundo Leme (1979), os filtros são tanques retangulares, de alvenaria ou concreto, geralmente revestidos de azulejos e dispostos em paralelo. O arranjo de um filtro é apresentado na figura 14. A composição da camada filtrante nos filtros rápidos com camadas simples é na grande parte dos casos composta por areia, especificada adequadamente pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). A disposição dos grãos se dá de forma crescente, ou seja, os grãos maiores se alojam inferiormente enquanto os menores acima.

A ETA José Loureiro da Silva, localizada na cidade de Porto Alegre/RS, por exemplo, opera com oito filtros de leito simples. Na figura 15 tem-se uma foto dos filtros em processo de esvaziamento para posterior lavagem.

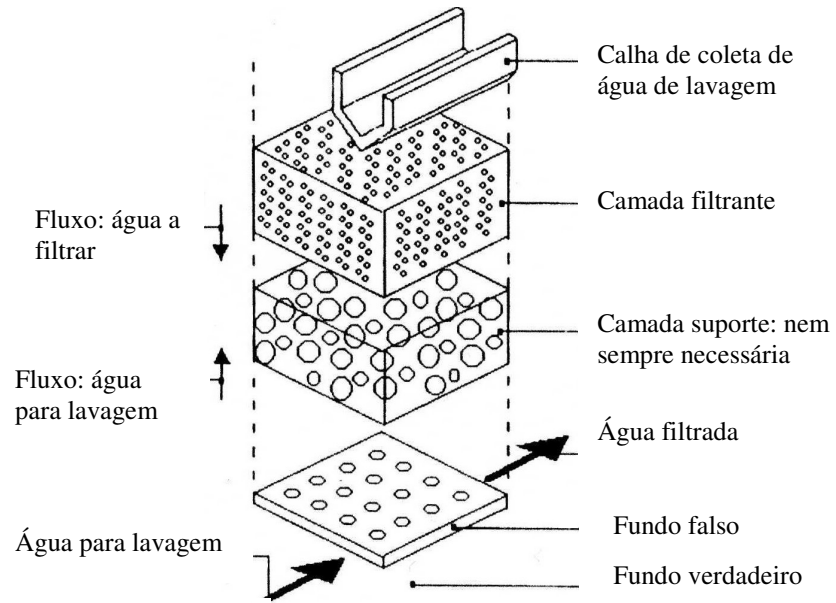


Figura 14: arranjo geral de filtro rápido de leito simples (VIANNA, 2002)



Figura 15: filtros em processo de esvaziamento na ETA Menino Deus, Porto Alegre/RS

Na medida em que o filtro vai retendo as impurezas, a perda de carga aumenta gradativamente até um valor pico de não deve ser ultrapassado. Neste momento, é necessária a limpeza do filtro, com a inversão da corrente, e, através de bocais distribuidores ou canalizações perfuradas, esta água é distribuída por toda seção transversal do filtro, assim a camada filtrante se expande e as partículas retidas pelo filtro são conduzidas com a água para as calhas de coleta, como apresentada na figura 16 e, encaminhadas à tubulação de esgoto (CASTRO, 2008d).



Figura 16: impurezas sendo encaminhadas para as calhas de coleta na ETA Menino Deus, Porto Alegre/RS

Nos seguintes itens serão abordados os parâmetros básicos de projeto para unidades de filtração.

5.1 PARÂMETROS DE PROJETO

Segundo Castro (2009d), os parâmetros básicos para o dimensionamento de unidades de filtração, detalhados nos próximos itens, são:

- a) granulometria do leito filtrante;
- b) taxa de filtração.

Estes parâmetros serão detalhados nos próximos itens.

5.1.1 Granulometria do leito filtrante

Segundo Richter e Netto (1991) o material granulométrico presente nos filtros deve apresentar uma variação do tamanho dos grãos dentro de padrões. A análise granulométrica é feita pela passagem de uma amostra seca do material granular por diversas peneiras com aberturas especificadas. A ABNT dispõe de normas e métodos de ensaio para a realização da análise. Os volumes retidos nas peneiras são pesados e relacionados como percentagens de massa retida, estes valores comporão a determinação dos percentuais acumulados dos grãos menores ou iguais a cada abertura de peneira.

Ainda segundo Richter e Netto (1991, p. 195),

[...] denomina-se tamanho efetivo d_{10} ao tamanho dos grãos abaixo do qual ficam 10% da massa total do material granular. Este valor, relacionado com o tamanho d_{60} , abaixo do qual ficam 60% da massa total da amostra, define o coeficiente de uniformidade:

$$U = d_{60} / d_{10}$$

A determinação do tamanho efetivo e do coeficiente de uniformidade, é feita marcando-se em um papel logaritmo de probabilidade as percentagens acumuladas que passam em cada peneira.

5.1.2 Taxa de aplicação

A taxa de aplicação representa a velocidade na qual a água atravessa a unidade filtrante. A eficiência de um filtro é em grande parte função das taxas de aplicação e preparo do leito filtrante. É resultado da divisão entre vazão do sistema e área superficial. A unidade para fins de cálculo é $m^3/(m^2 \times dia)$.

6 DIMENSIONAMENTO DE FLOCULADORES

Neste capítulo será apresentado o procedimento de dimensionamento adotado para as unidades de floculação hidráulica e mecânica. O software que foi desenvolvido neste trabalho implementa o método de cálculo que será apresentado.

6.1 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUXO HORIZONTAL COM CHICANAS

Segundo Castro (2008b), o dimensionamento do floculador de fluxo horizontal com chicanas é composto pelas seguintes etapas, que são detalhadas nos próximos itens:

- a) definição da vazão do sistema (Q_{sistema});
- b) definição do número de câmaras de floculação;
- c) definição do espaçamento entre as chicanas (a_n) tempo de detenção nas câmaras (t_n);
- d) cálculo do volume total de água (V_{total});
- e) cálculo da área superficial (A_f);
- f) cálculo do número de chicanas (N_n);
- g) cálculo da velocidade do escoamento nas câmaras (v_n);
- h) cálculo do percurso do escoamento (L_e);
- i) cálculo das perdas de carga nas câmaras (h_{fn});
- j) cálculo do gradiente de velocidade nas câmaras (G_n);
- k) cálculo do número de Camp nas câmaras (NC_n).

6.1.1 Vazão do sistema

A determinação da vazão do sistema, anotada como Q_{sistema} , segundo Leme (1979), é dada de acordo com a população atendida pela ETA e com o potencial hídrico do manancial. Ainda segundo o autor, é usual o dimensionamento deste dado através de estudos de estimativa de população para um determinado tempo de projeto em relação ao consumo de água *per capita* identificado como adequado para aquela região. Segundo Vianna (2002), é preferível que a vazão, em unidades de flocação hidráulica com chicanas horizontais, seja elevada para garantir que os canais não sejam excessivamente estreitos e conseqüentemente com alta velocidade de escoamento, visto que a NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) sugere que a velocidade mínima do escoamento seja de 10 cm/s, o que, garante a não deposição dos flocos no interior das câmaras.

Portanto, a vazão do sistema é o principal parâmetro a ser considerado, pois tem como princípio atender a população para a qual a ETA será projetada. A variação deste valor interfere diretamente em todos outros parâmetros envolvidos no dimensionamento da unidade. Grandes vazões geralmente induzem a grandes ETA, o que geralmente não é aceitável economicamente, então para o atendimento de grandes populações, geralmente as cidades são divididas em zonas e cada uma destas possui uma ETA responsável pelo seu abastecimento. A unidade para fins de cálculo é m^3/s .

6.1.2 Número de câmaras de flocação

O número de câmaras de flocação deve ser determinado com base na vazão do sistema e na área disponível. Segundo Richter e Netto (1991), recomenda-se que varie entre três a cinco câmaras.

A partir da afirmação dos autores, entende-se que esta recomendação sobre o intervalo ideal de câmaras, apesar de não ser citada na NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), tem como fundamento principal, adotar os valores adequados de tempo de detenção e velocidade de escoamento, uma vez que unidades com números de câmaras inferiores a três, para respeitar o tempo de detenção mínimo sugerido pela Norma

teriam que admitir tempos de detenção altos em determinada câmara e, portanto velocidades muito baixas do escoamento na mesma, possivelmente menores que o mínimo, de dez centímetros por segundo, também citado na Norma e oportunizando a decantação dos flocos na unidade. Já um número maior que cinco câmaras, para respeitar o tempo de detenção máximo citado na Norma, poderia tornar o tempo de detenção muito baixo em determinada câmara e elevar excessivamente a velocidade deste escoamento, superando a velocidade máxima citada na Norma, sendo forte o suficiente para romper os flocos pelas forças de cisalhamento.

6.1.3 Espaçamento entre chicanas e tempo de detenção em câmaras de floculação

O espaçamento entre chicanas, anotado como a_n , e o tempo de detenção, anotado como t_n , devem ser definidos com base nas recomendações da NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). A Norma sugere a adoção de valores entre vinte e trinta minutos para tempo de detenção total da unidade e valores superiores a sessenta centímetros para espaçamento entre chicanas, ou valores inferiores desde que seja garantida a remoção das chicanas para a limpeza.

Portanto, a determinação do espaçamento entre chicanas deve ser feita de forma que, possibilite a limpeza das mesmas, seja adotando valores acima de sessenta centímetros ou utilizando chicanas removíveis, como cita a Norma, pois a manutenção para limpeza da unidade é um dos fatores que irá garantir o melhor rendimento do processo. Também, a utilização de chicanas extremamente largas torna-se antieconômica, tanto em relação aos materiais envolvidos quanto a área ocupada. Já a determinação do tempo de detenção, mostra-se diretamente vinculada com a velocidade do escoamento, sendo este fator determinante para que o floco seja apropriadamente encaminhado para a próxima etapa da ETA. Tempos totais de detenção inferiores a vinte ou superiores a trinta minutos, podem submeter os flocos em formação, ao depósito no interior das câmaras ou excessivas forças cisalhantes, respectivamente.

As unidades para fins de cálculo são:

- a) tempo de detenção (t_n), em s;
- b) espaçamento entre chicanas (a_n), em m.

6.1.4 Volume total de água no floculador

A determinação do volume total de água contido na unidade de floculação, anotado como V_n , envolve a determinação de volume de água em cada câmara separadamente. De acordo com Leme (1979), o volume de água por câmara é dado pelo produto da vazão do sistema pelo tempo de detenção da câmara:

$$V_n = Q_{\text{sistema}} \times t_n \quad (\text{fórmula 21})$$

Onde:

V_n = volume de água na câmara n, em m^3 ;

Q_{sistema} = vazão da água, em m^3/s ;

t_n = tempo de detenção na câmara n, em s.

O somatório de todos os volumes resulta no volume total do floculador:

$$V_{\text{total}} = \sum V_n \quad (\text{fórmula 22})$$

Onde:

V_{total} = volume total do floculador, em m^3 .

6.1.5 Área superficial do floculador

De acordo com Leme (1979), a determinação da área superficial do floculador, anotada como A_f , é definida pela divisão do volume total do sistema pela altura da lâmina de água:

$$A_f = V_{\text{total}}/H_{\text{lâmina}} \quad (\text{fórmula 23})$$

Onde:

A_f = área superficial total, em m^2 ;

V_{total} = volume total de água no floculador, em m^3 ;

$H_{\text{lâmina}}$ = altura da lâmina de água, em m.

Pode-se também definir a área superficial pelo produto do comprimento pela largura do floculador:

$$A_f = B_f \times L_f \quad (\text{fórmula 24})$$

Onde:

B_f = largura do floculador, em m;

L_f = comprimento do floculador, em m.

Entende-se que a área superficial torna-se um parâmetro econômico muito importante no dimensionamento dos floculadores, visto que, a aquisição do terreno compõe um custo significativo no valor total do empreendimento.

6.1.6 Número de chicanas

Segundo Leme (1979), a determinação do número de chicanas por câmara, anotado como N , é definida pela equação:

$$N_n = (L_f/a_n) - 1 \quad (\text{fórmula 25})$$

Onde:

N_n = número de chicanas na câmara n ;

L_f = comprimento do floculador, em m;

a_n = espaçamento entre chicanas, em m.

A partir da afirmação do autor, entende-se que o número de chicanas está diretamente vinculado ao espaçamento entre elas adotado. Assim, conclui-se que menor espaçamento entre chicanas garante um maior percurso de água e uma maior agitação da mesma, porém um valor excessivo pode significar uma inviabilidade técnica ou financeira, principalmente devido a questões construtivas já que chicanas muito próximas podem ser de difícil construção ou ainda que, utilizadas chicanas removíveis, de alto custo. A seleção de um espaçamento igual ou suavemente superior ao indicado como mínimo da NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), de sessenta centímetros, de forma geral, garante a viabilidade do projeto.

6.1.7 Velocidade de escoamento nas câmaras

De acordo com Vianna (2002), a velocidade do escoamento nas câmaras, anotada como v_n , representa a distância que o escoamento percorre em determinado intervalo de tempo em determinada câmara. Sendo a mesma definida pela divisão da vazão do sistema pela área transversal do escoamento, tem-se:

$$v_n = Q_{\text{sistema}} / (a_n \times H_{\text{lâmina}}) \quad (\text{fórmula 26})$$

Onde:

v_n = velocidade do escoamento na câmara n, em m/s;

Q_{sistema} = vazão de água do sistema, em m³/s;

a_n = espaçamento entre chicanas, em m;

$H_{\text{lâmina}}$ = altura da lâmina de água, em m.

A NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), recomenda que a velocidade seja mantida entre dez e sessenta centímetros por segundo. Vianna (2002) reforça esta afirmação, citando que é desejável que as velocidades nas câmaras

sejam mantidas com valores não inferiores a dez centímetros por segundo, como forma de evitar que os flocos se depositem no interior das câmaras. Richter e Netto (1991) afirmam que velocidades excessivas podem ocasionar em rompimento dos flocos. Por consequência, a observação da velocidade do escoamento nas câmaras constitui-se essencial para garantir que a formação dos flocos seja adequada para que estes, no decantador, sejam submetidos à sedimentação em condições adequadas.

6.1.8 Percurso total do escoamento

Segundo Leme (1979), a determinação do percurso total da água no floculador, anotado como L , envolve a obtenção dos valores percorridos por câmara de floculação que é definido pelo produto da velocidade do escoamento na câmara pelo tempo de detenção da mesma, então:

$$L_n = v_n \times t_n \quad (\text{fórmula 27})$$

Onde:

L_n = percurso percorrido pelo escoamento na câmara n , em m;

v_n = velocidade do escoamento na câmara n , em m/s;

t_n = tempo de detenção na câmara n , em s.

Obtidos os valores individuais do percurso para cada câmara, somam-se os valores para obter-se o percurso total do escoamento:

$$L_e = \sum L_n \quad (\text{fórmula 28})$$

Onde:

L_e = percurso total percorrido pelo escoamento no floculador, em m.

O valor percurso total do escoamento consiste em um parâmetro importante para a determinação da perda de carga no sistema. Este, por sua vez, é parâmetro para a determinação do gradiente de velocidade, que é parâmetro fundamental no dimensionamento

de flocculadores. Portanto, o valor do percurso total é parâmetro indireto do gradiente de velocidade.

6.1.9 Perda de carga

Segundo Vianna (2002), a perda de carga, anotada como h_f , representa a energia dispersa durante o escoamento principalmente pelo atrito e pela mudança de direção de fluxo. De acordo com Castro (2008b), a perda de carga é definida pelo somatório das perdas ocorridas nos trechos retos e trechos curvos, então:

$$h_{fn} = h_{1n} + h_{2n} \quad (\text{fórmula 29})$$

Sendo h_1 e h_2 dados por:

$$h_{1n} = (k \times N_n \times v_n^2) / 2 \times g \quad (\text{fórmula 30})$$

$$h_{2n} = (v \times n)^2 \times L_n / R_H^{4/3} \quad (\text{fórmula 31})$$

Onde:

h_{fn} = perda de carga na câmara n, em m;

h_{1n} = perda de carga na câmara n nas curvas, em m;

h_{2n} = perda de carga na câmara n nos trechos retos, em m;

k = constante em função das propriedades das chicanas, usualmente igual a 3,0;

N_n = número de chicanas na câmara n;

v_n = velocidade do escoamento na câmara n, em m/s;

g = aceleração da gravidade, em m/s^2 ;

n = constante de rugosidade da chicana;

L_n = distância do percurso da câmara n, em m;

R_H = raio hidráulico, em m.

Portanto entende-se a perda de carga como a energia dissipada pelas forças hidráulicas na qual o escoamento é submetido e representa, indiretamente, um parâmetro de avaliação sobre a eficiência do sistema adotado. Constitui-se como parâmetro fundamental para o cálculo do gradiente de velocidade da unidade.

6.1.10 Gradiente de velocidade

Conforme apresentado no capítulo sobre flocladores, o gradiente de velocidade, anotado como G , é definido pela fórmula 9, então para cada câmara de floclação tem-se:

$$G_n = ((\gamma \times h_{fn}) / (\mu \times t_n))^{1/2} \quad (\text{fórmula 32})$$

Onde:

G_n = gradiente de velocidade na câmara n , em s^{-1} ;

γ = peso específico da água, em kgf / m^3 ;

h_{fn} = perda de carga na câmara n , em m;

μ = viscosidade dinâmica da água, em $Pa \times s$;

t_n = tempo de detenção na câmara n , em s.

A NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), recomenda que o gradiente de velocidade esteja entre o intervalo de dez a setenta, por s^{-1} . Intervalo que, visa garantir tanto a eficiência da floclação quanto a qualidade do floco formado.

Entende-se o gradiente de velocidade, como fator chave no dimensionamento dos flocladores, já que, seu valor indica o nível de agitação obtida no escoamento. Esta agitação representa a oportunidade que as partículas de impurezas e as coagulantes, terão de chocar-se e assim formar os flocos. Valores muito baixos podem significar baixa oportunidade de aglomeração e muito altos poderão ocasionar a quebra dos flocos já formados.

6.1.11 Número de Camp

Conforme apresentado no capítulo sobre flocladores, o número de Camp, anotado como NC, é definido pela fórmula 11, então para cada câmara de floclação tem-se:

$$NC_n = G_n \times t_n \quad (\text{fórmula 33})$$

Onde:

NC_n = número de Camp na câmara n;

G_n = gradiente de velocidade na câmara n, em s^{-1} ;

t_n = tempo de detenção na câmara n, em s.

É aconselhável que a variação do NC entre câmaras consecutivas não ultrapasse dez por cento, evitando grandes forças sobre os flocos formados que poderiam causar a quebra dos mesmos (CASTRO, 2008b). Entende-se, com base na afirmação da autora, que o ideal seria variação de zero por cento entre câmaras consecutivas e que, o gradiente de velocidade pelo tempo de detenção nas câmaras, deveriam ser constantes em toda unidade, o que garante a integridade dos flocos.

6.2 FLOCULADOR MECÂNICO DE PALETAS DE EIXO VERTICAL

Segundo Castro (2008b), o dimensionamento de floclador mecânico de paletas de eixo vertical é composto pelas seguintes etapas, que são detalhados a seguir:

- a) definição da vazão do sistema (Q_{sistema});
- b) definição do número de câmaras de floclação;
- c) definição da capacidade útil dos agitadores (V_u) e tempo de detenção nas câmaras (t_n);
- d) cálculo do número de agitadores nas câmaras (N_n);
- e) cálculo das dimensões do agitador;

- f) seleção do agitador;
- g) cálculo do fator forma (ϵ);
- h) cálculo do gradiente de velocidade (G_n);
- i) cálculo do número de Camp (NC_n).

6.2.1 Vazão de instalação

A determinação da vazão do sistema para flocladores mecânicos, anotada como Q_{sistema} , segundo Leme (1979), faz-se conforme foi apresentado no item sobre dimensionamento de flocladores hidráulicos e é dada de acordo com a população atendida pela ETA e com o potencial hídrico do manancial. Ainda segundo o autor, é usual o dimensionamento deste dado através de estudos de estimativa de população para um determinado tempo de projeto em relação ao consumo de água *per capita* identificado como adequado para aquela região.

Assim como no dimensionamento de flocladores hidráulicos, a vazão do sistema é o principal parâmetro a ser considerado, pois tem como princípio atender a população para a qual a ETA será projetada. Da mesma forma, a variação deste valor interfere diretamente em todos outros parâmetros envolvidos no dimensionamento da unidade. Grandes vazões geralmente induzem a grandes ETA, o que geralmente não é aceitável economicamente, então para o atendimento de grandes populações, geralmente as cidades são divididas em zonas e cada uma destas possui uma ETA responsável por seu fornecimento. A unidade para fins de cálculo é m^3/s .

6.2.2 Número de câmaras de floclação

A determinação do número de câmaras para flocladores mecânicos, faz-se conforme foi apresentado no item de flocladores hidráulicos referente a determinação do número de câmaras de floclação.

6.2.3 Capacidade útil e tempo de detenção em câmaras de flocação

A capacidade útil do agitador, anotada como V_u , é definida com base no volume total de água que será tratado na ETA. Este volume deve ser compartilhado igualmente entre as câmaras adotadas na unidade, e tendo o volume por câmara, verifica-se a compatibilidade destes valores com os agitadores disponíveis, que são apresentados no anexo A (entre 10 m^3 e 81 m^3). O tempo de detenção, anotado como t_n , deve ser definido com base nas recomendações da NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Neste, a Norma sugere a adoção de valores entre trinta e quarenta minutos para tempo de detenção total da unidade.

Portanto, tendo sido escolhido um modelo de agitador que se adéque aos volumes tratados pela unidade, verifica-se se este é compatível tanto com o espaço disponibilizado para tal, quanto economicamente. Além disto, agitadores com capacidades volumétricas maiores também são mais potentes e, portanto, maiores consumidores de energia. Assim como nos flocladores hidráulicos, tempos de detenção da unidade inferiores a trinta ou superiores a quarenta minutos, podem submeter os flocos em formação, ao depósito no interior das câmaras ou excessivas forças cisalhantes, respectivamente.

As unidades para fins de cálculo são:

- a) tempo de detenção, em s;
- b) capacidade útil do agitador, em m^3 .

6.2.4 Número de agitadores

Segundo Leme (1979), o número de agitadores por câmara é definido pela divisão do volume total da câmara pela capacidade útil do agitador, então:

$$N_n = V_n / V_u \quad (\text{fórmula 34})$$

Onde:

N_n = número de agitadores na câmara n;

V_n = volume de água na câmara n, em m^3 ;

V_u = capacidade útil do agitador, em m^3 .

Como foi citado no item anterior, o número de agitadores está ligado diretamente ao volume de água que será tratado na unidade, portanto indiretamente a vazão do sistema. Vazões extremas podem exigir grandes números de agitadores, que na maioria dos casos, inviáveis financeiramente por consumirem muita energia. Não é adequado definir um valor que possa servir como valor ideal para o número de agitadores, em geral, a questão é definida através da disponibilidade de área pelo custo do agitador.

6.2.5 Dimensões do agitador

De acordo com Leme (1979), a definição das dimensões do agitador se dá através da área superficial, anotada como A_f , que é resultante da divisão da capacidade útil do agitador pela altura da lâmina de água, então:

$$A_f = V_u / H_{\text{lâmina}} \quad (\text{fórmula 35})$$

Admitindo a utilização de tanques quadrados para cada agitador e com base no valor da área superficial A_f obtida, tem-se:

$$b = A_f^{1/2} \quad (\text{fórmula 36})$$

Onde:

A_f = área superficial total, em m^2 ;

V_u = capacidade útil do agitador, em m^3 ;

$H_{\text{lâmina}}$ = altura da lâmina de água, em m;

b = aresta do tanque em, m.

6.2.6 Escolha do agitador

A escolha do agitador mecânico é definida de acordo com os modelos, como por exemplo, os apresentados no anexo A, de acordo com o volume de água tratado em cada câmara e das características geométricas e funcionais do mesmo. A aresta do tanque deve ser igual ou maior a dimensão ao raio do agitador acrescentado 20 centímetros de folga, então:

$$b \geq A_a + 0,2 \quad (\text{fórmula 37})$$

Onde:

b = aresta do tanque, em m;

A_a = dimensão básica (anexo A).

6.2.7 Fator forma

Segundo Castro (2008b), o fator forma, anotado como ϵ , é dependente da geometria do agitador em relação volume do tanque e é definido pela equação:

$$\epsilon = (\alpha \times \sum (A_p \times r^3)) / V_u \quad (\text{fórmula 38})$$

Onde:

ϵ = fator forma do agitador;

α = número adimensional, adota-se como padrão igual a 8000;

A_p = área da paleta do agitador, em m^2 ;

r = distância entre o eixo de cada paleta ao eixo do agitador, em m;

V_u = capacidade útil do agitador em m^3 .

6.2.8 Gradiente de velocidade

Conforme apresentado no capítulo sobre flocladores, o gradiente de velocidade, anotado como G , é definido pela fórmula 6 e admitindo que a potência total é dada pelo produto da potência unitária pelo volume do agitador, tem-se:

$$P_t = P_u \times V_u \quad (\text{fórmula 39})$$

Segundo Castro (2008b), substituindo a fórmula 36 na 6, tem-se:

$$G_n = (P_u / \mu)^{1/2} \quad (\text{fórmula 40})$$

Sendo a potencia unitária dada pela fórmula (CASTRO, 2008b):

$$P_u = C \times n^3 \quad (\text{fórmula 41})$$

Segundo Castro (2008b), substituindo a fórmula 38 na 37, finalmente tem-se:

$$G_n = ((P_u) / \mu)^{1/2} \quad (\text{fórmula 42})$$

Onde:

P_t = potência total, em $\text{kgf} \times \text{m} / \text{s}$;

P_u = potência unitária, em $\text{kgf} \times \text{m} / (\text{s} \times \text{m}^3)$;

V_u = capacidade útil do agitador, em m^3 ;

C = fator forma do agitador;

n = velocidade de rotação das paletas, em RPS;

G_n = gradiente de velocidade do agitador na câmara n , em s^{-1} ;

μ = viscosidade dinâmica da água em $\text{Pa} \times \text{s}$.

Conforme foi citado no item sobre gradientes de velocidade no dimensionamento de flocladores hidráulicos, a NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), recomenda que o gradiente de velocidade esteja entre o intervalo de dez a

setenta, por s^{-1} . Também foi citado que, o gradiente de velocidade, assume papel de fator chave também para flocladores mecânicos, já que valores muito baixos podem significar baixa oportunidade de aglomeração e muito altos poderão ocasionar a quebra dos flocos já formados.

6.2.9 Número de Camp

Conforme apresentado no item sobre flocladores hidráulicos, o número de Camp, anotado como NC, é definido pela fórmula 11, então para cada câmara de floclação tem-se:

$$NC_n = G_n \times t_n \quad (\text{fórmula 43})$$

Onde:

NC_n = número de Camp na câmara n;

G_n = gradiente de velocidade na câmara n, em s^{-1} ;

t_n = tempo de detenção na câmara n, em s.

A recomendação de Castro (2008b), mencionada no capítulo sobre flocladores hidráulicos, demonstra-se também importante nas unidades mecânicas, sugerindo que a variação do NC entre câmaras consecutivas não ultrapasse dez por cento, evitando grandes forças sobre os flocos formados que poderiam causar a quebra dos mesmos. Disto, conclui-se, que o ideal seria variação de zero por cento entre câmaras consecutivas e que, o gradiente de velocidade pelo tempo de detenção nas câmaras, deveriam ser constantes em toda unidade, garantindo a integridade e boa formação dos flocos.

7 DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES

Neste capítulo será apresentado o procedimento de dimensionamento adotado para as unidades de decantação. O software que foi desenvolvido neste trabalho implementa o método de cálculo que será apresentado.

O tipo de decantador adotado é denominado retangular de fluxo horizontal, caracterizado com detalhes no capítulo 4. Segundo Castro (2008c), o dimensionamento deste decantador é composto pelas seguintes etapas, detalhadas nos próximos itens:

- a) definição da vazão do sistema (Q_{sistema});
- b) definição da taxa de aplicação superficial;
- c) definição do tempo de detenção (t);
- d) definição da relação L/B ;
- e) cálculo da velocidade de sedimentação (v_{sc});
- f) cálculo da área superficial (A_s);
- g) cálculo da largura (B), comprimento (L) e altura de água (H);
- h) cálculo da velocidade horizontal de escoamento (v_o);
- i) cálculo do número total de orifícios na cortina distribuidora ($N_{\text{total}\Phi}$);
- j) cálculo do diâmetro dos orifícios na cortina distribuidora (D_{Φ});
- k) cálculo do gradiente de velocidade dos orifícios na cortina distribuidora (G_{Φ}).

7.1 VAZÃO DO SISTEMA

A definição da vazão de instalação, anotada como Q_{sistema} , segue o mesmo critério estabelecido no item Vazão do Sistema, no capítulo sobre flocladores, o qual cita que este é um dado de entrada. A unidade para fins de cálculo é m^3/s .

7.2 TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL

A taxa de aplicação superficial pode ser definida de acordo com as recomendações da NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Esta Norma, cita que, na incapacidade de proceder-se ensaios laboratoriais, estações com capacidade até 1000 m³/dia adotem 25 m³/(m² × dia), para capacidades entre 1000 m³/dia e 10000 m³/dia o valor de 35 m³/(m² × dia) e para capacidades superiores a 10000 m³/dia, 40 m³/(m² × dia). A unidade para fins de cálculo é m³/(m² × dia).

7.3 TEMPO DE DETENÇÃO

O tempo de detenção, anotado como t, deve assegurar a permanência para a água no decantador e é recomendada a adoção do seguinte intervalo de valores (CASTRO, 2008c):

$$2,0 \text{ h} \leq t \leq 4,0 \text{ h}$$

Onde:

t = tempo de detenção, em s.

7.4 RELAÇÃO L/B

A relação L/B deve garantir uma velocidade de sedimentação v_{sc} adequada e é, geralmente, aceita a adoção do seguinte intervalo de valores (RICHTER; NETTO, 1991):

$$2,50 \leq L/B \leq 10$$

Entretanto, segundo Richter e Netto (1991), recomenda-se adotar valores entre o intervalo:

$$3,00 \leq L/B \leq 4,00$$

Onde:

L = comprimento do decantador, em m;

B = largura do decantador, em m.

7.5 VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

Segundo Richter e Netto (1991), a velocidade de sedimentação, anotada como v_{sc} , é diretamente definida pela taxa de aplicação superficial e está sujeita as recomendações delineadas pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) apresentadas no item 7.1.2:

$$v_{sc} = (\text{taxa de aplicação superficial})/24 \quad (\text{fórmula 44})$$

Onde:

v_{sc} = velocidade de sedimentação, em m / h.

A taxa de aplicação é inserida com a unidade $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \times \text{dia})$.

De acordo com Gehling (1994), com monitoramento diário ao longo de um ano, com amostras tomadas com amostradores contínuos, foi explicitada a variação no rendimento da decantação em função da temperatura da água. Dito isto então, através da fórmula 19, considerando a temperatura base como 20 °C realiza-se o ajuste na velocidade de sedimentação em função da temperatura da água:

$$v_{sc,t} = (v_{sc} \times v_{20})/v_t \quad (\text{fórmula 45})$$

Onde:

$v_{sc,t}$ = velocidade de sedimentação ajustada em função de v_t , em m/h;

v_{sc} = velocidade de sedimentação inicial, em m/h;

v_{20} = viscosidade cinemática da água a 20 °C;

v_t = viscosidade cinemática da água a T °C.

7.6 ÁREA SUPERFICIAL

De acordo com Leme (1979), a área superficial, anotada como A_s , é definida pela resultante da divisão da vazão de sistema pela velocidade de sedimentação, então:

$$A_s = Q_{\text{sistema}} / v_{sc} \quad (\text{fórmula 46})$$

Onde:

A_s = área superficial do decantador, em m^2 ;

Q_{sistema} = vazão do sistema, em m^3/s ;

v_{sc} = velocidade de sedimentação, em m/h .

7.7 LARGURA, COMPRIMENTO E ALTURA DE ÁGUA

A definição da largura, anotada como B , e do comprimento de decantador, anotado como L , é obtida através da relação L/B e da área superficial do decantador. Geralmente os valores resultantes de L e B não são números inteiros, sendo usual o arredondamento destes valores. É importante alertar que tendo sido feito o arredondamento, a área superficial A_s deverá ser recalculada, assim como verificada a nova velocidade de sedimentação v_{sc} .

De acordo com Richter e Netto (1991), a altura de água do decantador, anotada como H , é definida pela resultante do produto do tempo de detenção pela velocidade de sedimentação, então:

$$H = t \times v_{sc} \quad (\text{fórmula 47})$$

Onde:

H = altura da água, em m ;

t = tempo de detenção, em s ;

v_{sc} = velocidade de sedimentação, em m/h .

De acordo com Castro (2008c), usualmente são aceitos os valores de H entre o intervalo estabelecido por:

$$3,00 \text{ m} \leq H \leq 5,00 \text{ m}$$

Obtido e verificado o valor de H, é recomendado verificar a relação L/H, de forma que (RICHTER; NETTO, 1991):

$$4 \leq L / H \leq 25$$

Onde:

L = comprimento do decantador, em m;

H = altura da água, em m.

7.8 VELOCIDADE HORIZONTAL DE ESCOAMENTO

A velocidade horizontal de escoamento na unidade de decantação, anotada como v_o , representa a velocidade média da água no tanque e deve se manter sempre muito inferior a velocidade de sedimentação (v_{sc}) para evitar o arraste das partículas depositadas no fundo do tanque. É recomendável adotar os critérios apresentados pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Nesta Norma, sugere-se que, na inviabilidade de determinação da v_{sc} por ensaios em laboratório, deve adotar, para estações com capacidade de até 10000 m³/dia, 0,50 cm/s e para capacidades superiores a 10000 m³/dia, onde é possível garantir um bom controle operacional, o valor de 0,75 cm/s, caso ainda haja remoção contínua do lodo chega-se a 1 cm/s. Obtêm-se v_o pela resultante da divisão entre a vazão pela área da seção transversal (CASTRO, 2008c):

$$v_o = Q/S \quad \text{(fórmula 48)}$$

De acordo com Castro (2008c), sendo a área transversal o produto da largura B pela altura H, tem-se:

$$S = B \times H \quad (\text{fórmula 49})$$

Combinando as fórmulas 44 e 43, tem-se (CASTRO, 2008c):

$$v_o = Q/(B \times H) \quad (\text{fórmula 50})$$

Onde:

v_o = velocidade horizontal de escoamento, em m/s;

Q = vazão do sistema, em m³/s;

S = área da seção transversal do decantador, em m².

B = largura do decantador, em m;

H = profundidade da água, em m.

7.9 NÚMERO TOTAL DE ORIFÍCIOS

O número de orifícios no eixo horizontal, anotado como N_x , e no eixo vertical, anotado como N_y , é definido inicialmente obtendo os valores de espaçamentos entre borda-orifício, sendo recomendado adotar 1/5 de H tanto para a face superior quanto para a inferior. De acordo com Castro (2008c), para distância entre orifícios, é recomendada a distância de 0,50 m, conforme limite estabelecido pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992):

$$N_x = ((B - 2 \times 0,5) / 0,5) + 1 \quad (\text{fórmula 51})$$

$$N_y = ((B - 2 \times (H/5)) / 0,5) + 1 \quad (\text{fórmula 52})$$

$$N_{\text{total}\Phi} = N_x \times N_y \quad (\text{fórmula 53})$$

Onde:

N_x = número de orifícios na direção horizontal;

N_y = número de orifícios na direção vertical;

$N_{total\Phi}$ = número total de orifícios;

B = largura do decantador, em m;

H = altura de água, em m.

7.10 DIÂMETRO DOS ORIFÍCIOS

Segundo Castro (2008c), o diâmetro dos orifícios, anotado como D_Φ , é definido através da área unitária dos orifícios. A partir então da velocidade de entrada, anotada como v_Φ , e da vazão do sistema $Q_{sistema}$, obtêm-se a área total do conjunto de orifícios, então:

$$A_{total\ \Phi} = Q_{sistema} / v_\Phi \quad (\text{fórmula 54})$$

$$A_{unit.\ \Phi} = A_{total\ \Phi} / N_{total\Phi} \quad (\text{fórmula 55})$$

Sendo a área do círculo igual a $(\pi \times D^2) / 4$, tem-se:

$$D_\Phi = ((4 \times A_{unit.\ \Phi}) / \pi)^{1/2} \quad (\text{fórmula 56})$$

Onde:

D_Φ = diâmetro do orifício, em m;

$A_{unit.\ \Phi}$ = área unitária de orifício, em m^2 ;

$A_{total\ \Phi}$ = área total dos orifícios, em m^2 ;

$N_{total\Phi}$ = número total de orifícios;

$Q_{sistema}$ = vazão do sistema, em m^3/s ;

v_Φ = velocidade de entrada, em m/s.

De acordo com Castro (2008c), geralmente é adotado v_Φ no valor de 0,15 m/s.

7.11 GRADIENTE DE VELOCIDADE DOS ORIFÍCIOS

É ideal que o gradiente de velocidade dos orifícios, anotado como G_{ϕ} , tenha seu valor controlado a fim de não agitar excessivamente a água e prejudicar a sedimentação. Recomenda-se adotar o limites apresentado pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), de 20 s^{-1} . Segundo Vianna (2002) o gradiente de velocidade para orifícios é definido pela equação:

$$G_{\phi} = (D_{\phi} / S_{\phi}) \times ((\pi \times v_{\phi}^3) / (8 \times C_d^2 \times v \times x))^{1/2} \quad (\text{fórmula 57})$$

Onde:

G_{ϕ} = gradiente de velocidade do orifício, em s^{-1} ;

D_{ϕ} = diâmetro do orifício, em m;

S_{ϕ} = espaçamento entre eixos de dois orifícios adjacentes, em m;

v_{ϕ} = velocidade de entrada, em m/s;

C_d = coeficiente de descarga;

v = viscosidade cinemática da água, em m^2/s ;

x = distância limite percorrida do jato até que sofra interferência de outros jatos.

De acordo com Castro (2008c), geralmente é adotado como coeficiente de descarga C_d o valor de 0,61.

8 DIMENSIONAMENTO DE FILTROS

Neste capítulo será apresentado o procedimento de dimensionamento adotado para as unidades de filtração. O software que foi desenvolvido neste trabalho implementa o método de cálculo que será apresentado.

O tipo de filtro adotado é denominado rápido de camada simples, caracterizado com detalhes no capítulo 5. Segundo Castro (2008d), o dimensionamento deste filtro é composto pelas seguintes etapas, que são detalhadas a seguir:

- a) definição da vazão do sistema (Q_{sistema});
- b) definição das propriedades físicas do leito filtrante e da camada suporte;
- c) definição da área máxima superficial (A_f);
- d) definição da taxa de aplicação;
- e) cálculo da área superficial total (A_t);
- f) cálculo do número de filtros (N);
- g) cálculo do comprimento (L) e da largura (B);
- h) cálculo da vazão de lavagem (Q_l);
- i) cálculo do volume de reservação (V_r);
- j) cálculo do número e geometria das calhas de lavagem;
- k) cálculo do número e vazão dos bocais aspersores;
- l) cálculo da lâmina de água mínima sobre leito filtrante.

8.1 VAZÃO DO SISTEMA

A definição da vazão de instalação, anotada como Q_{sistema} , segue o mesmo critério estabelecido no item vazão do sistema dos capítulos 6 e 7, os quais citam que este é um dado de entrada de projeto. A unidade para fins de cálculo é m^3/s .

8.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO LEITO FILTRANTE E DA CAMADA SUPORTE

Segundo Richter e Netto (1991), é no leito filtrante que de fato há a filtração das impurezas presentes na água e as propriedades físicas do leito filtrante em filtros rápidos com camada simples são:

- a) espessura (h_{if}): usualmente em torno de 0,70 m;
- b) diâmetro efetivo (Φ_e): entre 0,5 e 1,00 mm;
- c) coeficiente de uniformidade (U): entre 1,3 e 1,6.

A camada suporte consiste em uma camada de seixos rolados colocados sobre o fundo falso com a função principal de reter os grãos do leito filtrante impedindo-os de se perderem nas áreas de saída de água. Castro (2008d) sugere uma composição para camada suporte, apresentada no quadro 1.

Tamanho do pedregulho (mm)	Espessura (cm)
4,8 - 2,4	7,5
12,5 - 4,8	7,5
19,0 - 12,5	10
38,0 - 19,0	10
63,0 - 38,0	15
Total	50

Quadro 1: sugestão de composição de camada suporte (CASTRO, 2008d)

8.3 ÁREA MÁXIMA SUPERFICIAL

A determinação da área máxima superficial, anotada como A_f , é um dado de entrada de projeto. Seu valor está diretamente ligado ao número de unidades filtrantes. A área máxima não é absolutamente necessária para o dimensionamento, caso o projetista ainda não tenha conhecimento da área disponível é oferecida outra solução no item Área superficial total, deste capítulo. A unidade para fins de cálculo é m^2 . Segundo Richter e Netto (1991),

geralmente os filtros simples tem uma área inferior a 70 m^2 e a utilização de um valor de A_f próximo a 70 m^2 é vantajoso economicamente para o projeto.

8.4 TAXA DE APLICAÇÃO

Segundo Richter e Netto (1991), a taxa de aplicação deve ser fixada com muito cuidado, analisando as:

- a) condições ambientais (qualidade da água, qualificação operacional de funcionários, etc.);
- b) características do meio filtrante;
- c) carga hidráulica.

O limite para filtro de camada simples estabelecido pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) é de $180 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{dia})$.

8.5 ÁREA SUPERFICIAL TOTAL

Segundo Castro (2008d), a área superficial total, anotada como A_t , representa o valor total de área necessária para filtrar a vazão do sistema. É definida pela divisão desta vazão pela taxa de aplicação, então:

$$A_t = Q/(\text{taxa de aplicação}) \quad (\text{fórmula 58})$$

Onde:

A_t = área superficial total dos filtros, em m^2 .

8.6 NÚMERO DE FILTROS

Segundo Castro (2008d), o número de filtros representa a quantidade de unidades individuais filtrantes necessárias para a vazão do sistema indicada. É definida pela divisão da área superficial total pela área máxima superficial do filtro, então:

$$N = A_t/A_f \quad (\text{fórmula 59})$$

Onde:

N = número de filtros;

A_t = área superficial total dos filtros, em m^2 ;

A_f = área superficial máxima do filtro, em m^2 .

Leme (1979) disponibiliza uma equação caso o projetista não possua a área superficial máxima A_f definida, porém vale ressaltar que esta possibilidade opta por uma quantidade superior de filtros com áreas bem inferiores aos $70 m^2$, recomendados por Richter e Netto (1991), por ser mais vantajoso economicamente, como foi citado anteriormente:

$$N_{\text{filtros}} = 1,4 \times (Q_{\text{sistema}}/1000)^2 \quad (\text{fórmula 60})$$

Onde:

N_{filtros} = número de filtros;

Q = vazão do sistema, em m^3/dia .

8.7 COMPRIMENTO E LARGURA

Os filtros usualmente têm formato quadrado ou retangular, e no caso de filtros em paralelo, segundo Richter e Netto (1991), o custo mínimo corresponde à fórmula:

$$B/L = (N + 1)/2 \times N_{\text{filtros}} \quad (\text{fórmula 61})$$

Onde:

B = comprimento do filtro, em m;

L = largura do filtro, em m;

N_{filtros} = número de filtros.

8.8 VAZÃO DE LAVAGEM

A vazão de lavagem, anotada como (Q_1), representa a vazão de água, com fluxo inverso, para o processo de lavagem do filtro. Esta vazão deve ser capaz de assegurar uma expansão adequada para o leito filtrante. A NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) define como intervalo de 20 a 30% de expansão. A vazão de lavagem é definida pela resultante do produto da área superficial do filtro pela velocidade ascensional da água (CASTRO, 2008d):

$$Q_1 = v_{\text{asc}} \times A \quad (\text{fórmula 62})$$

Onde:

Q_1 = vazão de lavagem, em $\text{m}^3/\text{min}.$;

v_{asc} = velocidade ascensional, em $\text{m}/\text{min}.$;

A = área superficial do filtro, em m^2 .

O quadro 2 apresenta os valores da velocidade ascensional relacionada com o tamanho efetivo e com a expansão da areia.

%	Tamanhos efetivos					
	0,35mm	0,40mm	0,45mm	0,50mm	0,55mm	0,60mm
20	0,20 - 0,40	0,35 - 0,55	0,45 - 0,57	0,55 - 0,60	0,65 - 0,70	0,75 - 0,80
25	0,25 - 0,45	0,38 - 0,63	0,50 - 0,66	0,63 - 0,70	0,70 - 0,80	0,80 - 1,00
30	0,30 - 0,50	0,40 - 0,70	0,55 - 0,75	0,70 - 0,80	0,75 - 0,90	0,85 - 1,05
35	0,33 - 0,55	0,45 - 0,78	0,60 - 0,83	0,75 - 0,90	0,83 - 1,00	0,95 - 1,15
40	0,35 - 0,60	0,50 - 0,85	0,65 - 0,90	0,80 - 1,00	0,90 - 1,10	1,05 - 1,30
45	0,38 - 0,68	0,55 - 0,93	0,70 - 0,98	0,85 - 1,08	0,95 - 1,18	1,10 - 1,38
50	0,40 - 0,75	0,60 - 1,00	0,75 - 1,05	0,90 - 1,15	1,00 - 1,25	1,15 - 1,45
55	0,45 - 0,85	0,65 - 1,10	0,85 - 1,25	0,95 - 1,33	1,05 - 1,40	1,20 - 1,55

Quadro 2: velocidade ascensional em m/min (RICHTER; NETTO, 1991)

8.9 VOLUME DE RESERVAÇÃO

Segundo Castro (2008d), o volume de reservação, anotado como V_r , representa o volume de água em reservatório para a execução do processo de lavagem. A NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) define como volume mínimo o equivalente a dois filtros por um período não inferior a 10 min:

$$V_r = Q_1 \times t \quad (\text{fórmula 63})$$

Onde:

V_r = volume de reservação, em m^3 ;

Q_1 = vazão de lavagem, em m^3/min ;

t = período de lavagem, em min.

8.10 NÚMERO E GEOMETRIA DAS CALHAS DE LAVAGEM

A definição do número e da geometria das calhas é de responsabilidade do projetista e existem diversas possibilidades de configuração. Na figura 17 são apresentadas três possibilidades de geometria de calhas. Na figura 18 é mostrada a configuração completa para um filtro com calhas de coleta de geometria retangular e uma calha principal, também retangular, centralizada em relação à largura do filtro e paralela ao comprimento do mesmo.

Geralmente é adotado como padrão o intervalo de distância aceitável calha-calha de 1,4 a 2,0 m e calha-borda de 0,8 a 1,00 m.

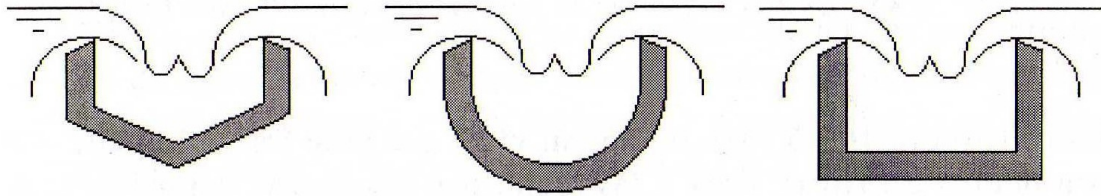


Figura 17: três geometrias possíveis para calhas (VIANNA, 2002)

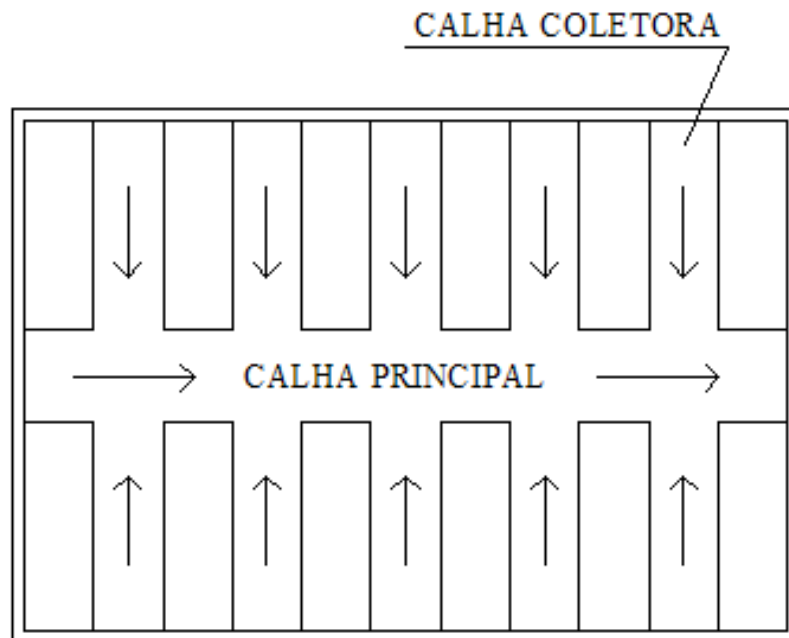


Figura 18: planta baixa de um sistema de calhas coletoras desaguando em calha central

Segundo Richter e Netto (1991) as calhas são dimensionadas pela fórmula:

$$q_c = 1,3 \times b \times H^{3/2} \quad (\text{fórmula 64})$$

Onde:

q_c = vazão em cada calha, em m^3/s ;

b = largura útil, em m;

H = altura máxima da água, em m.

Segundo Castro (2008d), é recomendado que a altura final de projeto da calha seja igual a H mais 10 cm de folga.

8.11 NÚMERO E VAZÃO DOS BOCAIS ASPERSORES

O fundo falso adotado nesta pesquisa utiliza distribuição da vazão de lavagem através de bocais aspersores simples. O número de bocais total é calculado através da fórmula (CASTRO, 2008d):

$$n_x = ((L - 0,2)/0,2) + 1 \quad (\text{fórmula 65})$$

$$n_y = ((B - 0,2)/0,2) + 1 \quad (\text{fórmula 66})$$

$$n_{\text{total}} = n_x \times n_y \quad (\text{fórmula 67})$$

Onde:

n_{total} = número total de bocais aspersores;

n_x = número de bocais aspersores ao longo do comprimento do filtro;

n_y = número de bocais aspersores ao longo da largura do filtro;

B = comprimento do filtro, em m;

L = largura do filtro, em m.

Segundo Castro (2008d), a vazão de cada bocal aspersor é dada pela divisão da vazão de lavagem pelo número total de aspersores, então:

$$q_f = Q_l/n_{\text{total}} \quad (\text{fórmula 68})$$

Onde:

q_f = vazão em um bocal aspersor, em m^3/s ;

Q_l = vazão de lavagem, em $m^3/min.$;

n_{total} = número total de bocais aspersores.

8.12 LÂMINA DE ÁGUA MÍNIMA SOBRE LEITO FILTRANTE

De acordo com Leme (1979), a lâmina de água mínima sobre o leito filtrante, anotada como $h_{lâmina}$, é definida pela diferença do valor da perda de carga máxima aceitável $h_{pmáx}$, com o somatório das espessuras do leito filtrante e da camada suporte, então:

$$h_{lâmina} = h_{pmáx} - (h_{lf} + h_{ls}) \quad (\text{fórmula 69})$$

Onde:

$h_{lâmina}$ = altura máxima da lâmina de água, em m;

h_{lf} = espessura do leito filtrante, em m;

h_{ls} = espessura da camada suporte, em m.

A perda de carga máxima, a fim de evitar pressões negativas, usualmente está no intervalo de 2,40 a 2,70 (LEME, 1979).

9 ETASYSTEM

O sistema desenvolvido para o pré-dimensionamento das unidades de tratamento de água abordadas neste trabalho foi intitulado **ETASYSTEM**, o logotipo é apresentado na Figura 19. Este foi desenvolvido sobre a plataforma Java Enterprise Edition (J2EE), em conjunto com outras tecnologias para o desenvolvimento de aplicações web. Na figura A1 do apêndice A, é apresentada a tela de entrada do sistema. As principais funcionalidades oferecidas pelo sistema são o pré-dimensionamento das unidades de:

- a) floculação hidráulica com chicanas;
- b) floculação mecânica de paletas de eixo vertical da fabricante Degrémont modelos SL-02-01 à SL-02-06;
- b) decantação retangular de fluxo horizontal, sem calhas de coleta;
- c) filtração rápida de fluxo descendente com camada simples.

Nos próximos itens serão detalhadas as funcionalidades apresentadas acima abordando suas capacidades e limitações disponibilizadas pelo sistema ETASYSTEM, assim como instruções de operação. Faz-se importante mencionar, que o sistema adota por padrão, o sistema americano de formatação de valores numéricos, ou seja, o separador de milhar é representado pelo caractere vírgula e o decimal, pelo caractere ponto.



Figura 19: logotipo do ETASYSTEM.

9.1 TECNOLOGIAS ADOTADAS

Para o desenvolvimento do sistema as principais tecnologias utilizadas foram:

- a) Linguagem de programação Java;
- b) Struts MVC Framework;
- c) JSP e Servlets;
- d) Javascript e JQuery Framework;
- e) XML;
- f) IDE Eclipse;
- g) JUnit Framework.
- h) Apache Tomcat Server

9.2 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUXO HORIZONTAL COM CHICANAS

Para o dimensionamento de uma unidade de floculador hidráulico são requisitos do sistema os seguintes parâmetros:

- a) vazão do sistema, em m^3 ;
- b) comprimento da unidade, em m;
- c) altura de água, em m;
- d) coeficiente de rugosidade;
- e) espaçamento entre chicanas por câmara, em m;
- f) tempo de detenção por câmara, em min.

Após o acesso ao sistema ETASYSTEM, obtêm-se o dimensionamento de floculador hidráulico através das seguintes etapas:

- a) na tela inicial, clicar sobre a aba <Floculador>, usuário é direcionado para seção de floculadores;
- b) após a visualização da introdução sobre floculadores são apresentados as subseções para o dimensionamento de floculadores hidráulicos ou mecânicos, na subseção sobre floculadores hidráulicos, clicar em <Dimensionar>;

- c) é apresentado o formulário com os campos correspondentes aos dados necessários para o dimensionamento desta unidade, conforme figura A2, apêndice A;
- d) após definidos os valores do formulário, clica-se em <Calcular>. O sistema retorna com os valores calculados para flocladores hidráulicos, conforme figura A3, apêndice A.

O resultado do dimensionamento de flocladores hidráulicos limita-se ao retorno dos seguintes parâmetros:

- a) volume de água por câmara e total, em m^3 ;
- b) largura e comprimento da unidade, em m;
- c) área da unidade, em m^2 ;
- d) número de chicanas por câmara;
- e) velocidade do escoamento por câmara, em m/s;
- f) percurso do escoamento por câmara, em m;
- g) perda de carga por câmara, em m;
- h) gradiente de velocidade por câmara, em s^{-1} ;
- i) número de Camp por câmara.

9.3 FLOCULADOR MECÂNICO DE PALETAS DE EIXO VERTICAL

Para o dimensionamento de uma unidade de floclador mecânico são requisitos do sistema os seguintes parâmetros:

- a) capacidade útil do tanque por agitador, em m^3 ;
- b) modelo do agitador;
- c) vazão do sistema, em m^3 ;
- d) número de braços do agitador;
- e) coeficiente alpha;

f) tempo de detenção por câmara, em min.

Após o acesso ao sistema ETASYSTEM, obtêm-se o dimensionamento de flocculador mecânico através das seguintes etapas:

- a) na tela inicial, clicar sobre a aba <Flocculador>, usuário é direcionado para seção de flocculadores;
- b) após a visualização da introdução sobre flocculadores são apresentados as subseções para o dimensionamento de flocculadores hidráulicos ou mecânicos, na subseção sobre flocculadores mecânicos, clicar em <Dimensionar>;
- c) é apresentado o formulário com os campos correspondentes aos dados necessários para o dimensionamento desta unidade, conforme figura A4, apêndice A;
- d) para prosseguir, faz-se necessário inicialmente inserir a capacidade útil do agitador, posteriormente clicando em <Mostrar agitadores compatíveis>, são apresentadas os modelos de agitadores que são compatíveis;
- e) após definidos os valores do formulário, clica-se em <Calcular>. O sistema retorna com os valores calculados para flocculadores mecânicos, com exceção do número de Camp para cada câmara;
- f) para concluir o dimensionamento, é necessário escolher, em ordem sequencial, os gradientes de velocidade desejados para cada câmara da unidade, estes são apresentados para cada velocidade de rotação que o agitador disponibiliza;
- g) por fim, o sistema calcula os números de Camp e o resultado final é apresentado, conforme figura A5, apêndice A.

O resultado do dimensionamento de flocculadores mecânicos limita-se ao retorno dos seguintes parâmetros:

- a) volume de água por câmara e total, em m^3 ;
- b) largura do flocculador, em m;
- c) altura de água, em m;
- d) fator forma;
- e) número de agitadores;
- e) gradientes de velocidade para cada velocidade de rotação do agitador, em s^{-1} ;
- f) número de Camp por câmara.

9.4 DECANTADOR RETANGULAR DE FLUXO HORIZONTAL

Para o dimensionamento de uma unidade de decantador sem cortina distribuidora, são requisitos do sistema os seguintes parâmetros:

- a) vazão do sistema, em m^3 ;
- b) taxa de aplicação, em m^3/m^2 ;
- c) tempo de detenção, em h;
- d) relação L/B.

Caso o dimensionamento inclua a cortina distribuidora, são requisitos do sistema, além dos citados acima, os seguintes parâmetros:

- a) velocidade de entrada da cortina, em m/s;
- b) distância orifícios-borda, em m;
- c) distância entre orifícios, em m;
- d) viscosidade cinemática, em m^2/s ;
- e) coeficiente de descarga.

Após o acesso ao sistema ETASYSTEM, obtêm-se o dimensionamento de decantador através das seguintes etapas:

- a) na tela inicial, clicar sobre a aba <Decantador>, usuário é direcionado para seção de decantadores;
- b) após a visualização da introdução sobre decantadores, é disponibilizada uma caixa de marcação, para incluir o dimensionamento da cortina de distribuição junto ao decantador, após, clicar em <Dimensionar>;
- c) é apresentado o formulário com os campos correspondentes aos dados necessários para o dimensionamento desta unidade, conforme figura A6, apêndice A;
- d) após definidos os valores do formulário, clica-se em <Calcular>. O sistema retorna com os valores calculados conforme figura A7, apêndice A.

O resultado do dimensionamento de decantadores sem cortina distribuidora limita-se ao retorno dos seguintes parâmetros:

- a) volume diário de água tratado, em m^3 ;
- b) taxa de aplicação ajustada, em m^3/m^2 ;
- c) velocidade de sedimentação, em m/s;
- d) área do decantador, em m^2 ;
- e) largura do decantador, em m;
- f) comprimento de decantador, em m;
- g) altura de água, em m;
- h) velocidade horizontal, em m/s;
- i) relação L/H.

Caso se opte também por dimensionar a cortina distribuidora, além dos resultados acima, são também apresentadas as seguintes variáveis:

- a) número de orifícios no eixo horizontal;
- b) número de orifícios no eixo vertical;
- c) total de orifícios;
- d) vazão de orifício, em m^3/s ;
- e) área total dos orifícios, em m^2 ;
- f) diâmetro de orifício, em m;
- g) gradiente de velocidade de orifício, em s^{-1} ;
- h) distância de posicionamento da entrada, em m;
- i) relação a/A.

9.5 FILTRO RÁPIDO DE CAMADA SIMPLES

Para o dimensionamento de uma unidade de filtro sem calhas coletaras e sem aspersores, são requisitos do sistema os seguintes parâmetros:

- a) vazão do sistema, em m^3 ;
- b) número de orifícios no eixo vertical;
- c) área máxima, em m^2 ;
- d) diâmetro efetivo, em mm;
- e) altura do leito filtrante, em m;
- f) altura da camada suporte, em m;
- g) perda de carga máxima, em m;
- h) tempo de lavagem, em min;
- i) altura de segurança para expansão da areia, em m;
- j) expansão do leito, em %;
- l) velocidade ascensional em m/min.

Caso se opte também por dimensionar as calhas coletoras, além dos resultados acima, são também apresentadas as seguintes variáveis:

- a) largura da calha, em m;
- b) altura de segurança da calha, em m;
- c) espaçamento entre calhas, em m;
- d) espaçamento entre calha-borda, em m.

Caso se opte também por dimensionar os aspersores, além dos resultados acima, são também apresentadas as seguintes variáveis:

- a) espaçamento entre aspersores, em m;
- b) espaçamento entre aspersor-borda, em m.

Após o acesso ao sistema ETASYSYSTEM, obtêm-se o dimensionamento de filtro através das seguintes etapas:

- a) na tela inicial, clicar sobre a aba <Filtro>, usuário é direcionado para seção de filtros;
- b) após a visualização da introdução sobre filtros, são disponibilizadas duas caixas de marcação, para incluir o dimensionamento das calhas coletoras e/ou de aspersores junto ao filtro, após, clicar em <Dimensionar>;
- c) é apresentado o formulário com os campos correspondentes aos dados necessários para o dimensionamento desta unidade, conforme figura A8, apêndice A;
- d) após definidos os valores do formulário, clica-se em <Calcular>. O sistema retorna com os valores calculados conforme figura A9, apêndice A.

O resultado do dimensionamento sem cortina distribuidora e sem aspersores limita-se ao retorno dos seguintes parâmetros:

- a) volume diário de água tratado, em m^3 ;
- b) taxa de aplicação real, em m^3/m^2 ;
- c) número de filtros;
- d) largura do filtro, em m;
- e) comprimento do filtro, em m;
- f) área real, em m^2 ;
- g) área total, em m^2 ;
- h) vazão de lavagem, em m^3/s ;
- i) volume de reservação por filtro, em m^3 ;
- j) altura de expansão, em m;
- l) lâmina de água máxima sobre leito filtrante, em m;
- m) relação volume tratado por volume gasto;

Caso se opte também por dimensionar a cortina distribuidora, além dos resultados acima, são também apresentadas as seguintes variáveis:

- a) número de calhas;
- b) vazão das calhas, em m^3/s ;
- c) altura das calhas, em m.

Caso se opte também por dimensionar a cortina distribuidora, além dos resultados acima, são também apresentadas as seguintes variáveis:

- a) número de aspersores eixo horizontal;
- b) número de aspersores eixo vertical;
- c) número total de aspersores;
- d) vazão dos aspersores, em m^3/s .

9.6 AUXÍLIO AO PROJETISTA

O ETASYSYSTEM possui funcionalidades, tanto para garantir o bom funcionamento do mesmo, como para auxiliar o usuário:

- a) introdução sobre a unidade, conforme Figura 20;
- a) apresentação dos dados de entrada requeridos para dimensionar a unidade, conforme Figura 21;
- b) todos os dados de entrada possuem um botão de ajuda que descreve o campo, conforme Figura 22;
- c) validação dos dados, conforme Figura 23;
- c) não conformidade com a NBR 12216, conforme Figura 24.

FLOCULADOR

O que é?

O floculador hidráulico é uma unidade que pode compor uma Estação de Tratamento de Água (ETA). Geralmente faz parte do tratamento chamado Tratamento Convencional, que engloba as seguintes etapas:

- Coagulação
- **Floculação**
- Decantação
- Filtração
- Outros processos químicos

Seu principal objetivo é, tendo sido as partículas desestabilizadas de impurezas contidas na água no processo anterior, de coagulação, promover a oportunidade de choque entre estas partículas para que se aglomerem formando os flocos, para posterior decantação.

Como funciona?

O **floculador hidráulico** é composto por dois tipos, de fluxo horizontal ou de fluxo vertical, neste trabalho foi estudo de fluxo horizontal. Composto por câmaras com diversas chicanas (pode-se entender como paredes) no sentido ortogonal ao fluxo da água, oferecem a água obstáculo forçando-a agitar-se oportunizando o desejado choque entre as partículas de impurezas.

Já o **floculador mecânico** de paletas de eixo vertical é composto por turbinas localizadas ao longo das câmaras que promovem a agitação conforme necessidade. A agitação é garantida pela rotação das paletas.

Clique [aqui](#) para ver imagens de floculadores.

Figura 20: introdução de floculadores hidráulicos no ETASYSTEM.

Dimensionamento

Para dimensionar um **floculador hidráulico**, através do EtaSystem são necessários os seguintes dados de entrada:

- Vazão
- Comprimento da unidade
- Altura de água da unidade
- Coeficiente de rugosidade do material
- Espaçamento entre chicanas por câmara
- Tempo de detenção por câmara

Obs.: Maiores detalhes sobre os dados são oportunizados na página de dimensionamento.

De posse destes dados clique abaixo para iniciar o dimensionamento.

Figura 21: dados de entrada para dimensionamento de floculadores hidráulicos no ETASYSTEM.

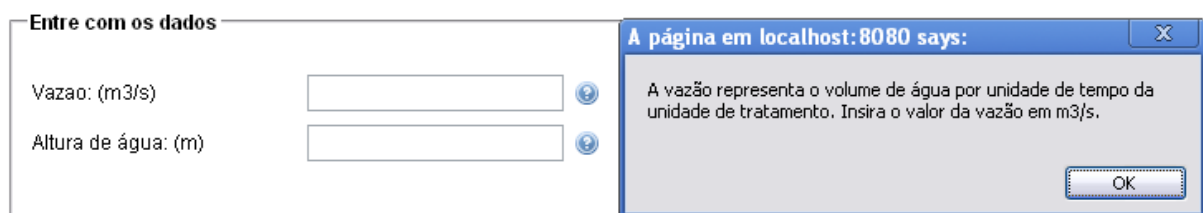



Figura 22: ajuda do campo Vazão em floculadores hidráulicos no ETASYSTEM.

Comprimento: (m)

*O campo comprimento é obrigatório.

n:

Figura 23: validação do campo Comprimento em flocladores hidráulicos no ETASYSTEM.

Volume: (m ³)	960
Número de chicanas:	15
Velocidade: (m/s)	1.667 
Percurso: (m)	800
Perda de carga:(m)	6.37

A página em localhost:8080 diz:

A velocidade recomendada pela NBR 12216 é entre 0.1 e 0.8 m/s.
Deseja redimensionar a unidade ?

Figura 24: velocidade não está de acordo com as recomendações de norma em flocladores hidráulicos no ETASYSTEM.

9.7 ANÁLISE SOBRE RESULTADOS

O ETASYSTEM, após efetuar o cálculo das variáveis, realiza uma avaliação sobre os resultados emitindo um alerta ao projetista caso alguma resultante não atenda as recomendações da NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), este alerta apresenta os valores citados pela Norma como adequados e oferece a possibilidade de voltar ao formulário para revisão dos valores inseridos. Os valores são obtidos de forma veloz e, diante destes, o projetista verifica de forma rápida se o projeto se adequa ao seu desejo. Além disto, o projetista evita pequenos erros de cálculo devido ao longo número de etapas de cálculo e equações e envolvidas no dimensionamento.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão descritas as conclusões sobre as atividades desenvolvidas assim como propostas de continuidade do trabalho.

10.1 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema computacional que automatizasse e avaliasse, sob as recomendações das NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), o processo de pré-dimensionamento das unidades de floculação, decantação e filtração, constituintes de uma estação de tratamento de água.

Como visão geral, a primeira etapa foi, através de uma extensa pesquisa bibliográfica, identificar e compreender os parâmetros fundamentais e secundários de projeto, analisar e dominar a metodologia de dimensionamento das unidades em questão. Feito isto e de posse da análise, o passo seguinte foi desenvolver, de maneira estruturada, um algoritmo adequado, do ponto de vista computacional. Adiante foi iniciado o processo de construção do sistema, com as ferramentas e tecnologias de já habitual uso pessoal, sendo estas a linguagem de programação Java sob a plataforma web. Tendo sido o processo inicial de desenvolvimento concluído, sucedeu-se a fase de testes e validação que, demandou um ciclo de correções de defeitos. Por fim, considerou-se o sistema concluído. Estas etapas serão agora analisadas com mais detalhes.

O capítulo 1 aborda, inicialmente, a importância da água nas atividades humanas e de forma geral para toda a vida no Planeta. O consumo crescente e a falta de investimentos em tratamento de esgotos, causando a contaminação das fontes de abastecimento, tornam o tratamento de água essencial para a manutenção da vida que nos é habitual. O trabalho ainda cita dados históricos mencionando, já milhares de anos atrás, havia indícios de metodologias primitivas de tratamento de água, como por exemplo, aquedutos construídos na Grécia há 2.500 anos.

Ainda no mesmo capítulo, foram descritos os estudos preliminares necessários para o projeto de uma ETA e a apresentação do modelo de tratamento mais usualmente adotado no Brasil, denominado tratamento convencional. Ao final, foi apresentada uma breve introdução sobre todos os capítulos apresentados neste trabalho. Este capítulo, de forma sucinta e breve, apresentou o tema de tratamento de água, vinculando-o claramente com a necessidade global de disponibilidade deste bem, de qualidade cada vez mais escassa por consumo não sustentável. Por todos os argumentos já apresentados, o autor projeta uma grande demanda de investimentos em unidades de ETA, sendo este o motivador principal deste trabalho.

Ao capítulo 2, é apresentada a metodologia de pesquisa adotada no trabalho. A questão de pesquisada proposta questiona qual seria uma rotina computacional adequada para o pré-dimensionamento das unidades de floculação, decantação e filtração, questionamento que como consequência determina o objetivo principal e secundário. O trabalho adotou como pressuposto que os critérios adotados pela NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) são adequados tanto quanto a qualidade da água a ser tratada nas unidades. Em delimitações foi apresentado o escopo abrangente sobre cada unidade pesquisada, assim como as limitações do trabalho. O delineamento seguiu os moldes apresentados anteriormente no parágrafo sobre visão a geral. Por fim, concluí-se que, tendo o ETASYSYSTEM sido concluído e de bom funcionamento operacional, foi possível satisfazer o objetivo principal e secundário propostos com sucesso e que, a questão de pesquisa foi plenamente respondida. Cabe ressaltar, porém, que muitas melhorias são aplicáveis e o sistema carece de testes mais exigentes.

No capítulo seguinte, de número 3, são apresentados os conceitos e as motivações dos floculadores, assim como descrito o processo todo do processo de formação do floco, objetivo principal da unidade. São também apresentados os parâmetros básicos de dimensionamento, com especial detalhamento para o gradiente de velocidade, pois diante do material explorado conclui-se sua importância pois fornece um indício claro sobre o nível de agitação da água, característica fundamental para a etapa de floculação. Ao longo do capítulo é citado também número de Camp, valor adimensional, produto do gradiente de velocidade pelo tempo de detenção, que é vital para determinar se as faixas de transição de agitação entre as câmaras da unidade estão adequadas. Ao final do capítulo são introduzidos os tipos de floculadores adotados no trabalho, floculadores hidráulicos de fluxo horizontal com chicanas e

floculadores mecânicos de paletas de eixo vertical. O primeiro, a agitação é garantida através de sucessivas mudanças de direção do fluxo da água, já o segundo, através de um movimento giratório de paletas, aceleradas por força mecânica. Através deste capítulo foi possível consolidar os fundamentos para o pré-dimensionamento das unidades de floculação aplicados no ETASYSTEM.

Já ao capítulo 4, são apresentados os conceitos e as motivações dos decantadores, assim como descrito o processo de sedimentação do floco. Através do estudo foi possível compreender que o tanque de decantação é constituído em 4 zonas, de entrada, de decantação, de acúmulo e de saída. Cada uma destas distintas responsabilidades nesta unidade que, segundo a bibliografia, é um dos processos mais comuns em tratamento de água e esgotos. Dentre os parâmetros básicos de projeto se associa diretamente com a eficácia do processo é a taxa de escoamento superficial, ou velocidade de sedimentação, que representa a velocidade que a partícula de impureza irá tender a depositar-se ao fundo do tanque, para posteriormente ser eliminada. Importante salientar também a grande influência da temperatura na eficiência dos decantadores, fator geralmente desconsiderado nos projetos e de comprovada influência por Gehling (1994). Através deste capítulo foi possível consolidar os fundamentos para o pré-dimensionamento das unidades de decantação aplicados no ETASYSTEM.

No capítulo 5, são apresentados os conceitos, as motivações dos filtros e descrito seu processo de retenção de impurezas. A unidade de filtração é fundamentalmente composta por camadas filtrantes e camadas suporte. A primeira é a responsável pela retenção das impurezas e a segunda por não permitir que a camada filtrante escoe junto da água. À medida que o filtro retém as impurezas faz-se necessário, como parte de sua manutenção, inverter o fluxo da água para a etapa de lavagem do leito filtrante, mantendo assim a eficiência da unidade. O estudo também menciona que, dentre os parâmetros básicos de dimensionamento, a taxa de filtração é responsável, em grande parte, pela eficiência da unidade. Através deste capítulo foi possível consolidar os fundamentos para o pré-dimensionamento das unidades de filtração aplicados no ETASYSTEM.

Os capítulos 6,7 e 8 apresentam as etapas de cálculo para o dimensionamento das unidades de floculadores hidráulicos com chicanas e mecânicos de paletas de eixo vertical, decantador retangular de fluxo horizontal e filtro rápido de fluxo descendente, respectivamente. É importante ressaltar que a metodologia adotada não é a rígida ou obrigatória, foi determinada

como resultado da pesquisa bibliográfica estudada para este trabalho. Os dados de entrada adotados foram os mais comumente utilizados em projetos de ETA, porém são rígidos e obrigatórios, o que pode não satisfazer a necessidade do projeto em determinada situação. Essa limitação será sugerida como melhoria no sistema, no item seguinte. Por fim, tendo sido esta etapa concluída o sistema pôde ser desenvolvido.

Finalmente, ao capítulo 9, foi apresentado o ETASYSTEM, o produto final e objetivo do trabalho. Conforme proposto, realiza o pré-dimensionamento das unidades de floculação hidráulica, decantação, filtração. É apresentado também, como operar o sistema para cada unidade, descrevendo todos os dados de entrada e resultantes do dimensionamento.

O resultado final demonstrou-se fiel ao que foi proposto, sistema de uso simples, rápido e informativo ao projetista, fornecendo resultados instantâneos e verificados perante a norma que rege o tema no Brasil. Estimou-se, sem comprovação estatística e apenas sob a ótica do autor deste trabalho, que o sistema, incluindo tempos estimados de cálculos e verificação de norma, comparados com a entrada de dados, forneça resultados confiáveis com redução do tempo de dimensionamento em cerca de 96%, se comparado com a metodologia tradicional (manual). O sistema, ainda, baseado no estudo de Gehling (1994), que de forma inédita comprovou a variação do rendimento da decantação em função da temperatura disponibiliza a temperatura da água como parâmetro de projeto.

A seção a seguir apresenta sugestões de trabalhos futuros com o objetivo de estimular a continuidade do trabalho desenvolvido.

10.2 TRABALHOS FUTUROS

O sistema, apesar de sua funcionalidade básica estar concluída, apresenta diversos itens com potencialidade de evolução. Abaixo são citadas algumas sugestões:

- a) suporte a cadastro de usuários, possibilitando que os dimensionamentos sejam armazenados para posterior utilização;
- b) evolução do atual modelo de dados de entrada no dimensionamento das unidades, aproximando-se mais a realidade do projetista que não

necessariamente possui os atuais dados de entrada requeridos pelo ETASYSTEM. Desta forma, permitir ao projetista, dentre todas as variáveis envolvidas nos cálculos, definir as que serão seus dados de entrada;

- c) inclusão de suporte a diferentes tipos de unidades, como por exemplo, decantadores circulares e filtros ascendentes;
- d) para flocoadores mecânicos, sugere-se suporte a inclusão, pelo projetista, de agitadores de fabricantes diversos.

REFERÊNCIAS

- ACQUASAN EQUIPAMENTOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES. **Desenho flocculador mecânico de paletas de eixo vertical**. Disponível em: <http://www.acquasan.com.br/site/equipamentos/flocculador/des_palhetas.html>. Acesso em: 1 jul. 2009
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216** – projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.
- CASTRO, Carmen Maria Barros de. **Ponto 1 – A Qualidade da Água / Ponto – 2 Introdução ao Tratamento da Água**. Porto Alegre: Gráfica UFRGS, 2008a.
- _____. **Ponto 3 – Coagulação e Flocculação**. Porto Alegre: Gráfica UFRGS, 2008b.
- _____. **Ponto 4 – Sedimentação/Decantação**. Porto Alegre: Gráfica UFRGS, 2008c.
- _____. **Ponto 5 – Filtração**. Porto Alegre: Gráfica UFRGS, 2008d.
- DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardi. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Paulo: Rima, 2005.
- GEHLING, Gino Roberto. **Desarrollo y Aplicación de Modelos Empíricos para la Operación de Clarificación Primaria de las EDAR**. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia) – Instituto de Tecnologia y Modelización Ambiental, Universidade Politécnica de Catalunya.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. **2008**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1>. Acesso em: 20 maio. 2011.
- LEME. Francílio Paes. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. São Paulo: Cetesb, 1979.
- MELO, Marcos José Vieira De. **Medidas Estruturais e Não-estruturais de Controle de Escoamento Superficial Aplicáveis na Bacia do Rio Frágoso na Cidade de Olinda**. 2007. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <http://www.bdtd.ufpe.br/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3018>. Acesso em: 25 jun. 2009.
- RICHTER, Carlos Augusto; NETTO, José Martiniano de Azevedo. **Tratamento de Água**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.
- VIANNA, Marcos Rocha. **Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. 4. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002.
- WATER RESEARCH COMMISSION. **History of Water Treatment**. Disponível em <<http://www.wrc.org.za/downloads/education/History%20of%20water%20treatment.pdf>>. Acesso em: 3 jul. 2009.

APÊNDICE A – Ilustrações do ETASYSYSTEM

Conforme mencionado anteriormente, o sistema adota por padrão, o sistema americano de formatação de valores numéricos, ou seja, o separador de milhar é representado pelo caractere vírgula e o decimal, pelo caractere ponto

Browser address bar: http://localhost:8080/EtaSystemWeb/principal.htm

ETASYSTEM

PRINCIPAL | INTRODUÇÃO | METODOLOGIA | FLOCULADOR | DECANTADOR | FILTRO

::EtaSystem::

O EtaSystem faz parte do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Sistema Computacional de Pré-dimensionamento das Unidades de Tratamento de Água: floculador, decantador e filtro", referente à graduação em Engenharia Civil, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

Este trabalho foi desenvolvido em 2009, orientado pelo Professor Gino Gehling, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O software foi desenvolvido para executar um dimensionamento preliminar das unidades de floculação, decantação e filtração, geralmente presentes em Estações de Tratamento de Água.

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos a todos que participaram diretamente ou indiretamente da elaboração deste trabalho, assim como o apoio recebido durante todo curso de graduação. Obrigado Deus por todas as ocasiões que vivi, tanto boas quanto ruins.

Gustavo Bauermann

::Momento zen::
A subtileza do pensamento consiste em descobrir a semelhança das coisas diferentes e a diferença das coisas semelhantes

Author: Gustavo Bauermann Sousa - GBauer Developer@2009 - [webmaster](#)

Meu Perfil

Gustavo Bauermann Sousa
:: Graduação em Engenharia Civil ::
:: Departamento de Engenharia ::
:: UFRGS ::

Links Interessantes

- [UFRGS](#)
- [Engenharia Civil - UFRGS](#)
- [CREA - RS](#)
- [ABNT](#)
- [Tratamento de Água](#)
- [Sun Microsystems](#)

Windows taskbar: Iniciar, formatacao_proj_pes..., ::ETASYSTEM:: - Goo..., Java EE - EtaSystem..., 00:41

Figura A1: tela inicial do ETASYSTEM

ETASYSYSTEM

PRINCIPAL INTRODUÇÃO METODOLOGIA **FLOCULADOR** DECANTADOR FILTRO

FLOCULADOR HIDRÁULICO

Entre com os dados

Vazão: (m³/s) Comprimento: (m)

Altura de água: (m) n:

Câmara Espaçamento Chicanas (m) Tempo de Detenção (min)

Meu Perfil

Gustavo Bauermann Sousa
 :: Graduação em Engenharia Civil ::
 :: Departamento de Engenharia ::
 :: UFRGS ::

Links Interessantes

[UFRGS](#)
[Engenharia Civil - UFRGS](#)
[CREA - RS](#)
[ABNT](#)
[Tratamento de Água](#)
[Sun Microsystems](#)

::Momento zen::
 A sutileza do pensamento consiste em descobrir a semelhança das coisas diferentes e a diferença das coisas semelhantes
 Autor: Gustavo Bauermann Sousa - GBauer Developer@2009 - webmaster

Windows taskbar: Iniciar, Formatacao_proj_pes..., ::ETASYSYSTEM - Flocu..., Java EE - EtaSystem..., PT, 00:45

Figura A2: formulário para dimensionamento de floculador hidráulico no ETASYSYSTEM

ETASYSYSTEM

PRINCIPAL INTRODUÇÃO METODOLOGIA **FLOCULADOR** DECANTADOR FILTRO

FLOCULADOR HIDRÁULICO

	Câmara 1	Câmara 2
Espaçamento entre chicanas: (m)	0,72	0,8
Tempo de detenção: (min)	10	20
Volume: (m ³)	1,200	2,400
Número de chicanas:	12	11
Velocidade: (m/s)	0,926	0,833
Percurso: (m)	555,56	1,000
Perda de carga: (m)	1,57	1,17
Gradiente de velocidade: (s ⁻¹)	159,66	97,28
Número de Camp:	95,795,76	116,736,02

Floculador	
Vazão: (m ³ /s)	2
Volume total: (m ³)	3,600
Largura: (m)	120
Comprimento: (m)	10
Área: (m ²)	1,200
Altura de água: (m)	3
Tempo total de detenção: (min)	30
Coefficiente de Rugosidade:	0,012

Relatório

Redimensionar

::Momento zen::
 Quem quer colher rosas deve suportar os espinhos.
 Autor: Gustavo Bauermann Sousa - GBauer Developer@2009 - webmaster

Meu Perfil

Gustavo Bauermann Sousa
 :: Graduação em Engenharia Civil ::
 :: Departamento de Engenharia ::
 :: UFRGS ::

Links Interessantes

[UFRGS](#)
[Engenharia Civil - UFRGS](#)
[CREA - RS](#)
[ABNT](#)
[Tratamento de Água](#)
[Sun Microsystems](#)

Windows taskbar: Iniciar, Formatacao_proj_pes..., ::ETASYSYSTEM - Flocu..., Java EE - EtaSystem..., PT, 00:46

Figura A3: exemplo de resultados para dimensionamento de floculador hidráulico no ETASYSYSTEM

ETASYSYSTEM

PRINCIPAL INTRODUÇÃO METODOLOGIA **FLOCULADOR** DECANTADOR FILTRO

FLOCULADOR MECÂNICO

Entre com os dados

Capacidade útil: (m3)

Selecione o agitador:

Vazão: (m3/s)

Número de braços:

Alpha:

Câmara Tempo de Detenção (min)

Meu Perfil

Gustavo Bauermann Sousa
 :: Graduação em Engenharia Civil ::
 :: Departamento de Engenharia ::
 :: UFRGS ::

Links Interessantes

[UFRGS](#)
[Engenharia Civil - UFRGS](#)
[CREA - RS](#)
[ABNT](#)
[Tratamento de Água](#)
[Sun Microsystems](#)

::Momento zen::
 Todas as flores do futuro estão nas sementes de hoje.
 Author: Gustavo Bauermann Sousa - GBauer Developer@,2009 - webmaster

Windows Taskbar: Iniciar, Formatacao_proj_pes..., ::ETASYSYSTEM - Flocu..., Java EE - EtaSystem..., PT, 00:48

Figura A4: formulário para dimensionamento de floculador mecânico no ETASYSYSTEM

ETASYSYSTEM

PRINCIPAL INTRODUÇÃO METODOLOGIA **FLOCULADOR** DECANTADOR FILTRO

FLOCULADOR MECÂNICO

	Câmara 1	Câmara 2
Tempo de detenção: (min)	10	20
Volume: (m3)	1,200	2,400
Número de agitadores:	30	60

Gradiente de velocidade: (s-1)	
Eixo com rotação N1=1.8rpm (s-1)	20.4
Eixo com rotação N2=3.0rpm (s-1)	43.89
Eixo com rotação N3=4.3rpm (s-1)	75.32

Número de Camp	Câmara 1	Câmara 2
Número de camp:	Gradiente não selecionado	Gradiente não selecionado

Floculador	
Agitador:	SL-02-04
Vazão: (m3/s)	2
Capacidade útil: (m3)	40
Volume total: (m3)	3,600
Largura do agitador: (m)	3,26
Altura de água: (m)	3,76
Tempo total de detenção: (min)	30
Número de braços:	4
Fator forma:	1,585.93
Alpha:	8,000

Redimensionar

::Momento zen::
 Jamais se desespere em meio à s mais sombrias aflições de sua vida, pois das nuvens mais negras cai a gua limpa e fecunda.
 Author: Gustavo Bauermann Sousa - GBauer Developer@,2009 - webmaster

Windows Taskbar: Iniciar, Formatacao_proj_pes..., ::ETASYSYSTEM - Flocu..., Java EE - EtaSystem..., PT, 00:49

Figura A5: exemplo de resultados para dimensionamento de floculador mecânico no ETASYSYSTEM

ETASYSYSTEM

PRINCIPAL INTRODUÇÃO METODOLOGIA FLOCULADOR **DECANTADOR** FILTRO

DECANTADOR

Entre com os dados

Vazão: (m³/s) Taxa de aplicação: (m³/m².dia)

Tempo de detenção: (h) Relação L/B:

Arredondar L e B para valores múltiplos de 5 metros Arredondar L e B para valores inteiros

Velocidade de entrada: (m/s) Distância orifícios-borda:

Distância entre orifícios: (m) Viscosidade cinemática: (m²/s) 0,00000101

Coefficiente de descarga: 0,61

Meu Perfil

Gustavo Bauermann Sousa
 :: Graduação em Engenharia Civil ::
 :: Departamento de Engenharia ::
 :: UFRGS ::

Links Interessantes

[UFRGS](#)
[Engenharia Civil - UFRGS](#)
[CREA - RS](#)
[ABNT](#)
[Tratamento de Água](#)
[Sun Microsystems](#)

Momento zen:
 Melhor é acender uma vela do que amaldiçoar a escuridão.
 Autor: Gustavo Bauermann Sousa - GBauer Developer@,2009 - webmaster

Figura A6: formulário para dimensionamento de decantador no ETASYSYSTEM

ETASYSYSTEM

PRINCIPAL INTRODUÇÃO METODOLOGIA FLOCULADOR **DECANTADOR** FILTRO

DECANTADOR

Decantador	
Vazão: (m ³ /s)	2
Volume diário: (m ³)	172,800
Taxa de aplicação: (m ³ /m ² .dia)	30
Tempo de detenção (h)	3
Relação L/B:	3
Velocidade de sedimentação: (m/h)	1,25
Área: (m ²)	5,760
Largura: (m)	43,82
Comprimento: (m)	131,45
Altura de água: (m)	3,75
Velocidade horizontal: (m/s)	1,217
Relação L/H:	11,685

Cortina	
Velocidade de entrada: (m/s)	0,2
Distância orifícios-bordas eixo Y: (m)	0,5
Espaçamento entre orifícios: (m)	0,5
Viscosidade cinemática água: (m ² /s)	0,00000101
Coefficiente de descarga:	0,61
Número de orifícios eixo X:	87
Número de orifícios eixo Y:	7
Total de orifícios:	609
Vazão orifício: (L/s)	3,28
Área total orifício: (m ²)	10
Diâmetro orifício: (m)	0,14
Gradiente orifício: (s ⁻¹)	20,65
Distância da entrada: (m)	0,34
Relação a/A:	0,061

Meu Perfil

Gustavo Bauermann Sousa
 :: Graduação em Engenharia Civil ::
 :: Departamento de Engenharia ::
 :: UFRGS ::

Links Interessantes

[UFRGS](#)
[Engenharia Civil - UFRGS](#)
[CREA - RS](#)
[ABNT](#)
[Tratamento de Água](#)
[Sun Microsystems](#)

Redimensionar

Momento zen:
 Bondade em balde é devolvida em barril.
 Autor: Gustavo Bauermann Sousa - GBauer Developer@,2009 - webmaster

Figura A7: exemplo de resultados para dimensionamento de decantador no ETASYSYSTEM

Entre com os dados

Vazão: (m3/s) Taxa de aplicação: (m3/m2.dia)

Área máxima: (m2) Diâmetro efetivo: (m)

Altura leito filtrante: (m) Altura camada suporte: (m)

Perda de carga máxima: (m) Tempo de lavagem: (min)

Altura extra de segurança para expansão areia (m): Arredondar L e B para valores inteiros.

Expansão do leito: (%)

Velocidade Ascensional: (m)

Espaçamento entre aspersores: (m) Espaçamento entre aspersores-bordas: (m)

Largura da calha: (m) Altura de segurança na calha (m):

Espaçamento entre calhas: (m) Espaçamento entre calhas-bordas: (m2)

Meu Perfil



Gustavo Bauermann Sousa
 :: Graduação em Engenharia Civil ::
 :: Departamento de Engenharia ::
 :: UFRGS ::

Links Interessantes

[UFRGS](#)
[Engenharia Civil - UFRGS](#)
[CREA - RS](#)
[ABNT](#)
[Tratamento de Água](#)
[Sun Microsystems](#)

Figura A8: formulário para dimensionamento de filtro no ETASYSTEM

FILTRO RÁPIDO

Filtro

Vazão: (m3/s)	2
Área máxima unitária: (m2)	30
Expansão: (%)	20
Velocidade de ascensional: (m/min)	0.55
Altura leito filtrante: (m)	2
Altura camada suporte: (m)	3
Altura extra filtro de segurança: (m)	0.2
Perda de carga máxima: (m)	7
Volume diário: (m3)	172,800
Taxa de aplicação real: (m3/m2.dia)	20
Número de filtros:	288
Largura: (m)	3.88
Comprimento: (m)	7.73
Área real: (m2)	30
Área total: (m2)	8.640
Vazão de lavagem: (m3/s)	0.28
Tempo de lavagem: (min)	10
Volume de reservação por filtro: (m3)	165
Altura de expansão: (m)	0.6
Lâmina água máx. sob leito filt.: (m)	2
Relação vol. produzido / vol. gasto: (%)	27.5

Calhas

Largura calha: (m)	0.5
Altura extra de segurança calha: (m)	0.1
Espaçamento entre calhas: (m)	0.35
Espaçamento entre calhas-bordas: (m)	0.2
Número de calhas:	21
Vazão calhas: (m3/s)	0.0131
Altura da calha:	0.17

Aspersores

Espaçamento entre aspersores: (m)	0.2
Espaçamento entre aspersores-borda: (m)	0.5
Vazão aspersores: (m3/s)	2.1484
Número de aspersores X:	16
Número de aspersores Y:	8
Número de aspersores total:	128

Meu Perfil



Gustavo Bauermann Sousa
 :: Graduação em Engenharia Civil ::
 :: Departamento de Engenharia ::
 :: UFRGS ::

Links Interessantes

[UFRGS](#)
[Engenharia Civil - UFRGS](#)
[CREA - RS](#)
[ABNT](#)
[Tratamento de Água](#)
[Sun Microsystems](#)

Momento zen:
 O fracasso é a mãe do sucesso.

Author: Gustavo Bauermann Sousa - GBauer.Developer@2009 - webmaster

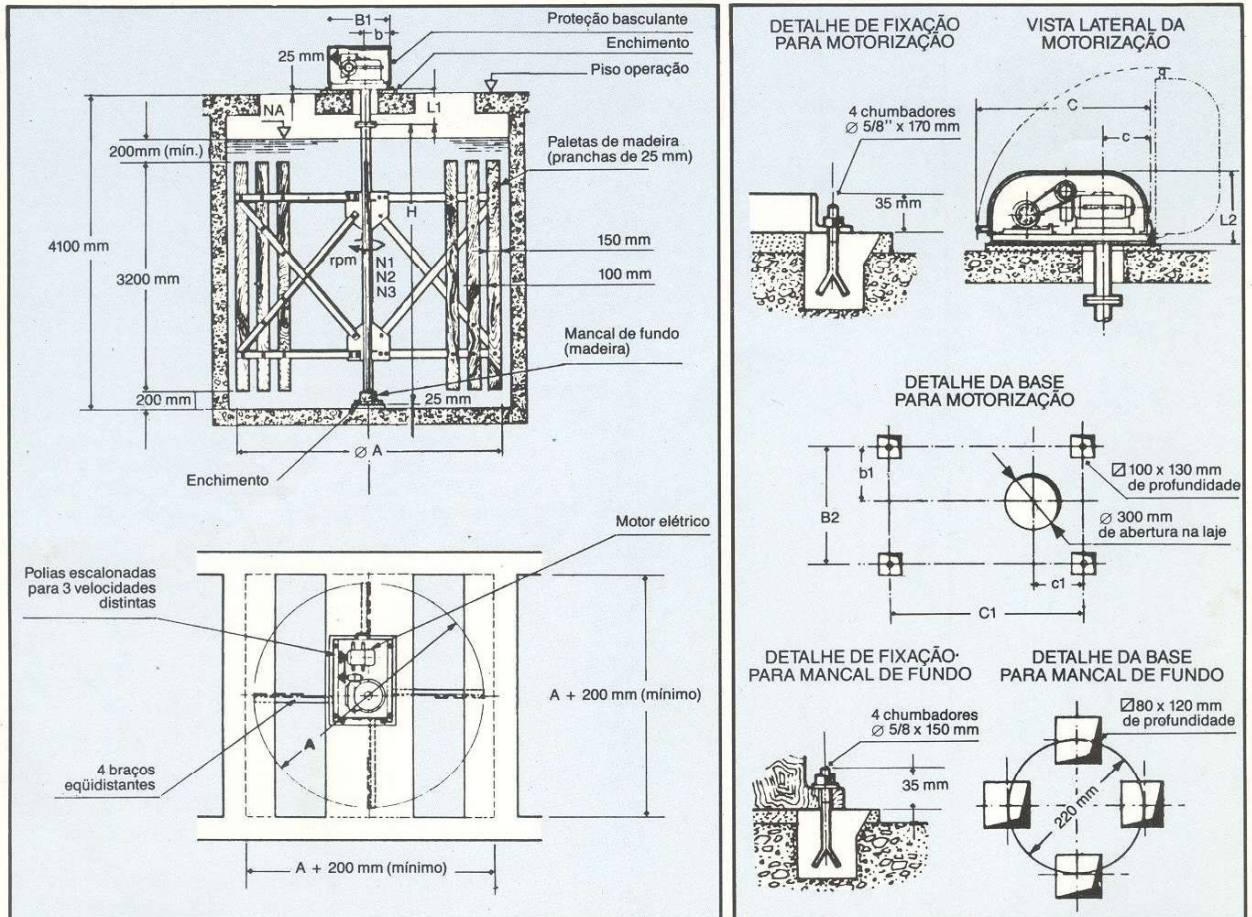
Figura A9: exemplo de resultados para dimensionamento de decantador no ETASYSTEM

**ANEXO A – Propriedades do Floculador Mecânico Vertical do Tipo
Paletas Vertical SL-02**



Floculador Mecânico Vertical do Tipo Paletas Modelo SL-02

DIMENSÕES BÁSICAS



MODELO		Dimensões Básicas			Dimensões Proteção Basculante					Dimensões para Chumbação			
		A	H	L1	B1	b	C	e	L2	B2	b1	C1	c1
DEGRÉMONT	CETESB	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
SL - 02 - 01	FV - 1,2	1600	3741	358	509	219	1052	237	435	526	227,5	874	215
SL - 02 - 02	FV - 2,2	2000	3746	353	543	235	1065	254	455	560	243,5	887	231
SL - 02 - 03	FV - 3,2	2400	3756	343	546	235	1103	262	465	563	243,5	925	240
SL - 02 - 04	FV - 4,3	2800	3756	343	700	280	1158	295	515	665	288,5	980	273
SL - 02 - 05	FV - 5,3	3200	3781	318	700	280	1158	295	515	665	288,5	980	273
SL - 02 - 06	FV - 6,4	3600	3786	313	700	280	1158	295	515	665	288,5	980	273

MODELO		Capacidade Útil do Tanque m ³	Paletas por Braço n.º	Velocidade do Eixo			Potência do Motor hp	Peso kg
				N1 rpm	N2 rpm	N3 rpm		
DEGRÉMONT	CETESB							
SL - 02 - 01	FV - 1,2	10 a 16	2	2,5	4,3	6,0	1/2	420
SL - 02 - 02	FV - 2,2	16 a 25	2	2,3	3,9	5,4	3/4	470
SL - 02 - 03	FV - 3,2	23 a 36	2	2,1	3,5	4,9	.1	540
SL - 02 - 04	FV - 4,3	31 a 49	3	1,8	3,0	4,3	1 1/2	600
SL - 02 - 05	FV - 5,3	40 a 64	3	1,6	2,7	4,0	1 1/2	680
SL - 02 - 06	FV - 6,4	51 a 81	4	1,5	2,5	3,7	2	860