

## **II-203 - DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES FÍSICO-QUÍMICAS PARA TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE POLPA CELULÓSICA KRAFT**

**Juliano Rezende Mudadu Silva** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Lavras. Mestrando em Agroecologia pela Universidade Federal de Viçosa.

**Ronaldo Fia** <sup>(2)</sup>

Graduado em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2004). Doutor em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela UFV (2008), Atualmente é Professor Associado do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Cláudio Manoel, 524 - Inconfidentes - Viçosa - MG - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: (31) 98504-1303 - e-mail: [julianomudadu@gmail.com](mailto:julianomudadu@gmail.com)

### **RESUMO**

A indústria de polpa celulósica kraft caracteriza-se por gerar grandes volumes de efluentes líquidos com elevada carga orgânica e presença de cor. Para adequação aos padrões legais de lançamento, o tratamento de efluentes é condição obrigatória. A sequência de tratamento mais comum nesta tipologia tem sido a etapa primária por sedimentação, seguida por tratamento secundário biológico aeróbio, como lodos ativados ou lagoas aeradas. O tratamento terciário, quando adotado, tem por objetivo remover a matéria orgânica recalcitrante ou pouco biodegradável, quantificada pela demanda química de oxigênio, e a cor não removida nos tratamentos anteriores. Entre os tipos de tratamento terciário adotados na indústria destacam-se os processos físico-químicos. Este trabalho objetivou apresentar um projeto de dimensionamento do tratamento terciário, especificamente por processo físico-químico, para tratamento de efluente de uma indústria de celulose brasileira. Foram previstas unidades de mistura rápida, floculação e decantação considerando a caracterização qualitativa e quantitativa do efluente da estação de tratamento estudada. Por meio de ensaios laboratoriais, no teste de jarros, estabeleceram-se os parâmetros adotados no dimensionamento e dados operacionais, como: dosagem ótima do coagulante, em 1000 mg L<sup>-1</sup> de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> e concentração de lodo gerado de 616 mg L<sup>-1</sup>. Para o dimensionamento das unidades de tratamento foi empregada a NBR 12216, norma técnica que define as condições para a elaboração de projeto de uma estação de tratamento de água. Foram aplicadas e testadas no BioWin, software que realiza simulações dos processos de tratamento de efluentes, as condições da planta de tratamento terciário concebida, demonstrando ser uma interessante ferramenta de projeto e monitoramento em uma estação de tratamento de efluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento físico-químico, Sulfato de alumínio, Teste de jarros, Efluente industrial, BioWin.

### **INTRODUÇÃO**

A indústria de polpa celulósica gera grandes volumes de efluentes líquidos, com elevada carga orgânica e presença de cor. Para adequação aos padrões legais de lançamento, o tratamento de efluentes tem sido exigido. Além do cumprimento a legislação ambiental, outros aspectos importantes são considerados pelas empresas, como: a opinião pública quanto à imagem dos empreendimentos e clientes cada vez mais atentos e exigentes quanto às questões ambientais.

A grande quantidade de água consumida pela indústria de polpa celulósica ocorre nas etapas do processo industrial, além de ser utilizada na lavagem de equipamentos, tubulações e máquinas. O consumo médio da água nas indústrias de polpa celulósica brasileiras varia aproximadamente de 25 a 60 m<sup>3</sup> tsa<sup>-1</sup> (tonelada de polpa seca ao ar), representando, portanto, elevados volumes de efluente a serem tratados antes de serem dispostos nos corpos d'água receptores (MIELI, 2007).

Com a instituição de políticas que estabelecem os padrões de lançamento dos efluentes em corpos d'água, como as Resoluções CONAMA nº 357 e 430 (BRASIL, 2005; 2011), o gerenciamento de efluentes líquidos passou a ser considerado um assunto de importância nas empresas, levando a pautar sobre o meio ambiente em suas decisões.

A estação de tratamento de efluentes (ETE) das fábricas de polpa celulósica brasileiras, normalmente, é composta por uma sequência de tratamentos comumente divididos em: preliminar, primário e secundário. O tratamento terciário ainda é pouco contemplado nessas fábricas, sendo adotado, quando necessário, principalmente para a remoção da demanda química de oxigênio (DQO) recalcitrante e cor (ARAUJO, 2013).

Os efluentes gerados caracterizam-se, entre outros fatores, por possuírem alta carga orgânica, sendo comum a utilização de uma etapa biológica para o tratamento. Dos sistemas biológicos mais utilizados por essa tipologia industrial destacam-se os sistemas de lodos ativados ou os de lagoas aeradas. Esses sistemas são baseados na utilização de microrganismos aeróbios para conversão de matéria orgânica afluyente em gases e lodo biológico, que é retido e retirado do sistema (ARAUJO, 2013).

O tratamento terciário tem por objetivo refinar o tratamento, removendo poluentes remanescentes dos sistemas anteriores. Nesse tipo de tratamento, destacam-se os processos de coagulação, floculação, decantação e flotação.

Na maior parte das estações de tratamento de efluentes da indústria de celulose, o tratamento secundário é suficiente para atender aos padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental, sendo o tratamento terciário raramente empregado, devido ao seu elevado custo, decorrente da utilização de coagulantes e da grande geração de lodo. No entanto, faz-se necessário o seu uso quando existe a preocupação da empresa ou se há exigência legal para a remoção da DQO recalcitrante e cor dos efluentes.

O objetivo do trabalho foi realizar um estudo de concepção e dimensionar uma estação de tratamento terciário de efluente de uma fábrica de polpa celulósica kraft branqueada brasileira. O projeto de concepção foi proposto utilizando os princípios de processos físico-químicos, investigando a aplicabilidade do efluente no tratamento e dimensionamento das unidades de mistura rápida, floculação e decantação.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O efluente foi coletado em uma fábrica integrada de polpa celulósica e papel brasileira. Que produz cerca de 1,5 milhão de toneladas de celulose kraft branqueada ao ano e 300 mil toneladas de papel offset. O sistema de tratamento de efluentes adotado nesta fábrica é composto por tratamento preliminar, com unidades de gradeamento e resfriamento; primário, com um sistema de decantação; e secundário, composto por lagoa aeróbia, seguida por um reator de leito móvel (MBBR) e por duas lagoas de decantação. A vazão média de efluentes da fábrica é de  $5.500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e a carga orgânica de entrada varia entre 140 e 175 mil toneladas de DQO total e entre 60 e 80 mil toneladas DBO total por dia, em dias de operação normal.

O efluente da saída do sistema de tratamento biológico foi caracterizado considerando as seguintes variáveis: DQO total e solúvel, pelo método do refluxo fechado e colorimétrico, cor verdadeira, em espectrofotômetro, condutividade elétrica e pH, por potenciometria, sólidos suspensos totais (SST), por gravimetria, e turbidez pelo método nefelométrico. As análises químicas e físicas realizadas seguiram as metodologias recomendadas por APHA, AWWA e WEF (2017). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Caracterização físico-química dos efluentes do tratamento secundário de uma indústria de polpa celulósica e papel.**

Variáveis	Efluente tratado
Demanda Química de Oxigênio total (mg L <sup>-1</sup> )	375
Demanda Química de Oxigênio solúvel (mg L <sup>-1</sup> )	236
Cor verdadeira (uC)	928
Condutividade Elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	2,98
pH	6,9
Sólidos Suspensos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	42
Turbidez (UNT)	13,5

Para avaliar a aplicabilidade do tratamento físico-químico do efluente em unidades flocladoras, realizou-se os testes de jarros. O sulfato de alumínio (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) foi adotado como coagulante. Para definir uma faixa de doses de sulfato de alumínio para a utilização no teste de jarros, procedeu-se um teste simplificado com seis béqueres contendo 200 mL de amostra em cada e doses entre 400 mg L<sup>-1</sup> e 1.400 mg L<sup>-1</sup>. Visualmente os ensaios que apresentaram os melhores resultados foram aqueles que receberam 800 mg L<sup>-1</sup> e 1.000 mg L<sup>-1</sup> de sulfato de alumínio. Com os resultados obtidos iniciou-se o teste de jarros com o sulfato de alumínio com concentrações entre 600 mg L<sup>-1</sup> e 1.100 mg L<sup>-1</sup> com incrementos de 100 mg L<sup>-1</sup>. Os testes foram realizados com os efluentes e simulando os processos de coagulação com a mistura rápida, com gradiente de velocidade igual a 1.100 s<sup>-1</sup> e duração de 5 s. Seguido por três gradientes de floclação distintos, de 70, 45 e 20 s<sup>-1</sup>, com duração de 1 hora cada. Por fim, manteve-se o sistema em repouso por 1 hora para a decantação do material floclado. Coletou-se o sobrenadante para a realização a caracterização físico-química e avaliação da dose ótima de coagulante. As análises químicas e físicas realizadas seguiram as metodologias recomendadas por APHA, AWWA e WEF (2017). Os resultados encontrados nas análises do sobrenadante de cada jarro são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2. Resultados do teste do jarro de coagulação – floclação – decantação de efluentes de indústria de polpa celulósica, utilizando sulfato de alumínio como coagulante.**

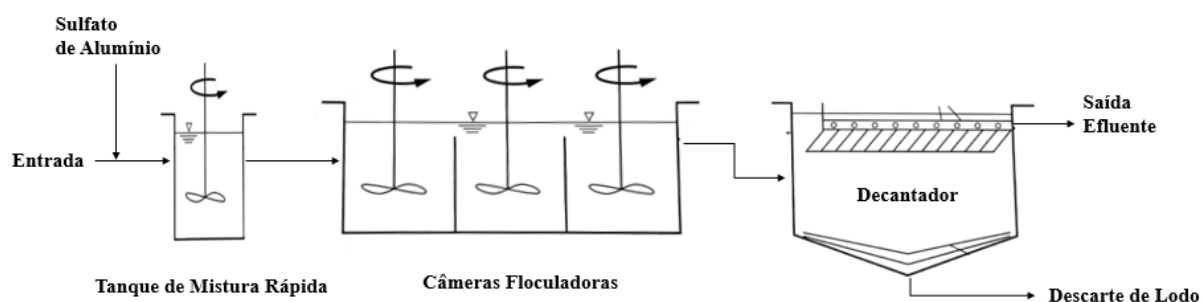
Variáveis	Testes de Jarros					
	1	2	3	4	5	6
Concentração Sulfato de Alumínio (mg L <sup>-1</sup> )	600	700	800	900	<b>1.000</b>	1.100
Turbidez (UNT)	53,7	51	34	20	<b>19,9</b>	26,6
pH	6,4	6,0	5,9	5,6	<b>4,8</b>	4,4
Cor (uC)	114	86	75	63	<b>55</b>	59
Condutividade Elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	3,04	3,05	3,05	3,07	<b>3,11</b>	3,13
DQO solúvel (mg L <sup>-1</sup> )	158	142	103	91	<b>87</b>	72
DQO total (mg L <sup>-1</sup> )	214	163	146	160	<b>130</b>	138
Sólidos Suspensos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	143	101	72	62	<b>44</b>	58
Sólidos Suspensos Totais no lodo (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	<b>616</b>	-

Os melhores resultados obtidos na dose de 1000 mg L<sup>-1</sup> de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> foram evidenciados pelas elevadas remoções de cor (94%) e DQO total (65,3%). Vale ressaltar que a geração de lodo foi muito relevante, por apresentar uma concentração de 616 mg L<sup>-1</sup> de sólidos suspensos totais. Considerando uma vazão de 1.53 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> tratado na ETE da indústria de polpa celulósica em estudo, haverá, portanto, um consumo de 132 t de coagulante por dia e uma geração de 81,312 t de lodo por dia.

Baseado nos resultados encontrados no teste de jarros, optou-se por projetar um sistema composto por um tanque de mistura rápida, seguido de três câmaras floculadoras com diferentes gradientes de velocidade e, ao final, um decantador laminar de placas planas paralelas. Os dimensionamentos foram baseados nas recomendações da NBR 12.216, norma que estabelece condições na elaboração de projeto de estação de tratamento de água destinada ao abastecimento (ABNT, 1987). O fluxograma esquemático do sistema proposto é apresentado na Figura 1.

**Figura 1. Fluxograma do sistema de tratamento terciário proposto para o efluente da indústria de polpa celulósica.**



No sistema de mistura rápida definiu-se projetar um tanque com misturadores mecanizados constituídos por uma turbina de seis pás. Para o dimensionamento adotou-se as relações geométricas estudadas por Parlatores (VIANNA, 2014), apresentados na Figura 2.

Optou-se para a etapa de floculação em adotar, sequencialmente, três câmaras floculadoras mecanizadas do tipo turbina. Definiu-se os parâmetros para a aplicação no dimensionamento baseado nos ensaios do teste do jarro, como os respectivos gradientes de velocidade  $70 \text{ s}^{-1}$ ,  $45 \text{ s}^{-1}$  e  $20 \text{ s}^{-1}$ , e o tempo de detenção hidráulico por câmara floculadora, de 1 hora. Adotou-se, inicialmente, as relações geométricas estudadas por Parlatores (1974), para definir as dimensões das câmaras (VIANNA, 2014). Apresentados na Figura 3.

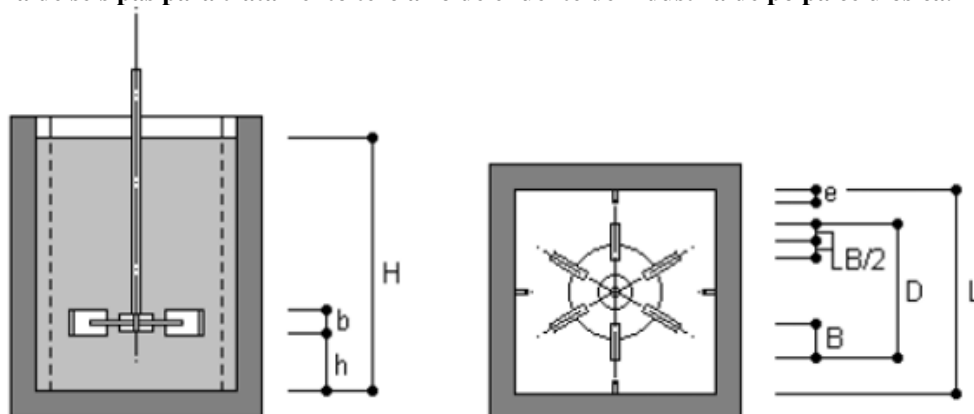
Para garantir que as condições, estabelecidas por Parlatores, sejam atendidas, admitiu-se que o sistema de floculação composto por 6 linhas com 3 tanques.

Satisfazendo as relações geométricas fixadas para turbina, o tanque de mistura rápida e as câmaras floculadora, as expressões de potência, gradiente de velocidade, tempo de detenção hidráulica e número de potência, descritas por Vianna (2014), são aplicáveis para o dimensionamento, pode ser observado na Tabela 3.

Optou-se na etapa de decantação por uma unidade de decantador laminar de fluxo ascendente de placas planas em paralelo. Para o dimensionamento foram considerados os procedimentos propostos pela NBR 12.216. Por questões construtivas, na composição do projeto optou-se em 6 unidades decantadoras iguais, significando uma vazão de  $916,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  por unidade. Definindo a velocidade de sedimentação ( $V_s$ ) igual a  $2,8 \text{ cm min}^{-1}$ , e a taxa de aplicação ( $T_a$ ) nos decantadores de  $40 \text{ m}^3 (\text{m}^2 \text{ d})^{-1}$ , como apresentado na norma técnica. Para o dimensionamento adotou-se as equações apresentadas na Tabela 4 (PIVELI, 2018).

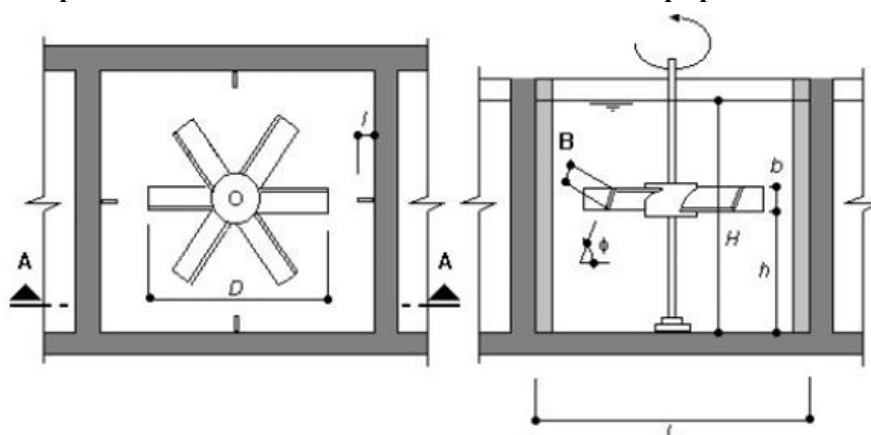
A configuração do sistema terciário de tratamento proposto foi inserida no Programa BioWin, um simulador de processos de tratamento de efluentes, usado para projetar, otimizar e avaliar plantas de tratamento de água residuária (YANG, 2014), com as variáveis e as dimensões das unidades de tratamento de efluentes encontradas nos cálculos dimensionais de projeto, bem como as características qualitativas e quantitativas do efluente e dosagem do coagulante, encontrados em laboratório.

**Figura 2. Corte transversal e vista superior com as dimensões do tanque de mistura rápida composto por turbina de seis pás para tratamento terciário de efluente de indústria de polpa celulósica.**



Relações geométricas da turbina de seis pás estudadas por Parlato, adaptado de Vianna (2014):  $2,7 \leq L/D \leq 3,3$ ;  $2,7 \leq H/D \leq 3,9$ ;  $0,75 \leq h/D \leq 1,3$ ;  $B = B/4$ ;  $b = D/5$ ;  $e/D = 0,10$ .

**Figura 3. Corte transversal e vista superior com as dimensões do flocculador mecanizado do tipo turbina para tratamento terciário de efluente de indústria de polpa celulósica.**



Relações geométricas da turbina de seis pás estudadas por Parlato, adaptado de Vianna (2014):  $2,0 \leq L/D \leq 6,6$ ;  $0,9 \leq h/D \leq 1,1$ ;  $2,7 \leq H/D \leq 3,9$ ;  $D/I = 12$ ;  $D/B = 8$ ;  $B = b\sqrt{2}$ ;  $\phi = 45^\circ$ .

**Tabela 3. Variáveis aplicáveis para o dimensionamento do tanque de mistura rápida composto por turbina de seis pás para tratamento terciário de efluente de indústria de polpa celulósica.**

Equação	$P = \frac{N^3 D^5}{423}$	$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$	$T = \frac{V}{Q}$	$Np = \frac{P}{n^3 \rho D^3}$
Variáveis	P = Potência, kgf m s <sup>-1</sup> ; N = número de rotação da turbina por minuto, em RPM; D = diâmetro da turbina, m; G = gradiente de velocidade, s <sup>-1</sup> ; μ = viscosidade absoluta da água (a 20°C = 10 <sup>-4</sup> kgf m <sup>-2</sup> s); V = volume do tanque, m <sup>3</sup> ; T = tempo de detenção, s; Q = vazão, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ; Np = número de potência.			

**Tabela 4. Variáveis aplicáveis para o dimensionamento do decantador laminar de fluxo ascendente que comporá o tratamento terciário do efluente de indústria de polpa celulósica.**

Equação	$V_o = V_s(L\cos\theta + \sin\theta)$ $N_e = \frac{L_u}{w}$ $X = 2b + 0,5$ $N_c = \frac{L_v}{2L_c}$	$A_u = \frac{Q}{V_o}$ $N_p = (N_e + 1)$ $A_{\text{poço}} = x^2$ $Esp = \frac{B}{N_c}$	$A_{su} = \frac{A_u}{\sin 60^\circ}$ $L_p = N_e w + N_p Esp$ $N_{\text{poços}} = \frac{A_t}{A_{\text{poço}}}$	$A_{su} = BL_d$ $L_h = x + L_d$ $L_v = \frac{Q}{q_l}$
Variáveis	<p> <math>V_o</math> = velocidade de escoamento, <math>\text{m d}^{-1}</math>;  <math>V_s</math> = velocidade de sedimentação, <math>\text{m d}^{-1}</math>;  <math>L</math> = relação <math>l/w</math>;  <math>A_u</math> = área útil entre as placas, <math>\text{m}^2</math>;  <math>A_{su}</math> = área superficial útil entre as placas, <math>\text{m}^2</math>;  <math>B</math> = comprimento do decantador, m;  <math>L_d</math> = largura decantador, m;  <math>N_e</math> = número de espaçamentos entre as placas;  <math>L_u</math> = largura útil, m;  <math>w</math> = espessura entre as placas, m;  <math>N_p</math> = número de placas;  <math>L_p</math> = comprimento do decantador perpendicular as placas, m;  <math>L_h</math> = comprimento do decantador relativo ao plano horizontal, m;  <math>x</math> = largura do poço de lodo, m;  <math>A_{\text{poço}}</math> = área do poço de lodo, <math>\text{m}^2</math>;  <math>N_{\text{poços}}</math> = número de poços;  <math>A_t</math> = área total do decantador, <math>\text{m}^2</math>;  <math>L_v</math> = comprimento total de vertedor, m;  <math>q_l</math> = vazão linear por metro de calha, <math>\text{L s}^{-1} \text{m}^{-1}</math>;  <math>N_c</math> = número de calhas;  <math>L_c</math> = comprimento de cada calha, m;  <math>Esp</math> = espaçamento entre as calhas, m; </p>			

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na caracterização do efluente de saída da lagoa aerada estão apresentados na Tabela 3. Pode-se notar que mesmo após o tratamento secundário o efluente ainda apresenta contingentes residuais remanescentes, principalmente se tratando da DQO remanescente e cor. Surgindo, portanto, o interesse em adotar um sistema terciário de tratamento.

Os resultados encontrados nas análises de caracterização físico-química do sobrenadante de cada jarro, dos testes de jarros, são apresentados na Tabela 4. Os melhores resultados obtidos na dose de  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  foram evidenciados pelas elevadas remoções de cor (94%) e DQO total (65,3%). Vale ressaltar que a geração de lodo foi muito relevante, por apresentar uma concentração de  $616 \text{ mg L}^{-1}$  de sólidos suspensos totais. Considerando uma vazão de  $1.53 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  tratado na ETE da indústria de polpa celulósica em estudo, haverá, portanto, um consumo de 132 t de coagulante por dia e uma geração de 81,312 t de lodo por dia.

Para satisfazer a relação geométrica proposta por Parlato, o tanque de mistura rápida apresentou as seguintes dimensões: largura: 2,0 m; comprimento: 2,0 m; altura: 1,9 m; diâmetro da turbina: 0,7 m. Para os misturadores rápidos é recomendado pela NBR 12216 o  $G$  igual à  $1.100 \text{ s}^{-1}$  e o tempo de detenção hidráulico de 5 s. O que corresponde a motores com uma potência de 12,5 CV e um tanque de  $7,65 \text{ m}^3$ .

No dimensionamento das câmeras floculadoras, optou-se em adotar a altura  $H$  igual a 5,5 metros. Para satisfazer a relação geométrica proposta por Parlato definiu-se as seguintes dimensões para a verificação das relações geométricas:  $L = 12,9$  m;  $H = 5,5$  m;  $D = 2$  m;  $B = 0,25$  m;  $h = 2$  m;  $b = 0,18$  m;  $I = 0,17$  m. Encontrando, dessa forma, dados dimensionais para as unidades floculadoras apresentados na Tabela 5.

Para o dimensionamento do decantador laminar de fluxo ascendente admitindo-se uma vazão linear por metro de calha igual a  $1,5 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$  (PIVELI, 2018). Após os cálculos, definiu-se os dados dimensionais para as unidades decantadoras, os quais estão apresentados na Tabela 6.

Após realizada a simulação no Programa BioWin, foram encontrados os resultados operacionais e comparados aos valores de projeto, apresentados na Tabela 7. A Tabela 8 apresenta a eficiência de remoção de DQO gerados pela simulação no Programa BioWin em comparação com os encontrados em laboratório, pelo teste do jarro. Evidenciando a similaridade de ambos os valores, o programa apresentou-se como uma interessante ferramenta de projeto do sistema de tratamento proposto.

**Tabela 5. Dados dimensionais das câmeras floculadoras para tratamento terciário de efluente de indústria de polpa celulósica.**

Variáveis	Câmera 1	Câmera 2	Câmera 3
Gradiente ( $\text{s}^{-1}$ )	70,0	45,0	20,0
Volume ( $\text{m}^3$ )	916,6	916,6	916,6
Potência (CV)	6,0	2,5	0,5
Diâmetro (m)	2,0	2,0	2,0
Rotação - N (RPM)	51,9	38,7	22,5

**Tabela 6. Dados dimensionais dos decantadores laminares de fluxo ascendente que comporá o tratamento terciário do efluente de indústria de polpa celulósica.**

Variáveis	Valores
$N_p$	127
$V_o$ ( $\text{cm s}^{-1}$ )	0,44
$At$ ( $\text{m}^2$ )	75
$H$ (m)	4,2
$N_{\text{poços}}$	12
$A_{\text{poço}}$ ( $\text{m}^2$ )	6,25
$N_{\text{calha}}$	9
$L_c$ (m)	10

**Tabela 7. Valores de gradientes de velocidades obtidos por simulação no Programa BioWin, e adotados no projeto do sistema de tratamento terciário com processo de coagulação, floculação e decantação de efluente de indústria de polpa celulósica, utilizando como coagulante o sulfato de alumínio.**

Unidade	Gradiente de velocidade ( $\text{s}^{-1}$ )	
	Projeto	BioWin
Mistura Rápida	1.100	1.094
Floculador G1	70	69,4
Floculador G2	45	45,3
Floculador G3	20	21,9



**Tabela 8. Eficiência de remoção de DQO total obtida por simulação no Programa BioWin, e adotada no projeto do sistema de tratamento terciário com processo de coagulação, floculação e decantação de efluente de indústria de polpa celulósica, utilizando como coagulante o sulfato de alumínio.**

Parâmetro	Teste do Jarro	BioWin
DQO <sub>TOTAL</sub> removida (%)	65,3	64,4

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Os operadores da estação de tratamento de efluentes da indústria poderão incluir a operação da etapa terciária projetada no tratamento apenas quando julgarem necessário. Considerando a qualidade do efluente tratado nas unidades antecessoras quanto aos padrões legais de lançamento de efluentes. Contribuindo, dessa forma, para a redução de gastos com coagulante e gerenciamento do lodo gerado.

No presente projeto não foi considerado o dimensionamento do sistema de desaguamento de lodo, como apresentado na NBR 12.216, e não determinou um gerenciamento e manejo de descarte e destinação final dos resíduos gerados na unidade de decantação. Além disso, não foram determinadas as configurações dos canais de água coagulada e floculada. Ademais, ressaltando a importância do desenvolvimento dessas unidades para a correta disposição final do lodo e correto transporte de efluente entre as seções dimensionadas.

O volume das unidades floculadoras poderão ser reduzidos se adotados menores tempos de detenção hidráulica. Para tal faz-se necessário a realização de testes do jarro simulando os diferentes tempos de detenção nas etapas de floculação, para possíveis alterações dimensionais e, consequentemente, redução do custo construtivo das instalações.

Recomenda-se o controle contínuo do pH no efluente final do processo de tratamento para a adequação as condições e padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pela Resolução Conama nº430/2011. Uma vez que não houve adição de alcalinizante durante o tratamento e conhecendo as características acidificantes do coagulante utilizado no processo, o sulfato de alumínio.

Por fim, ressalta-se que o BioWin apresentou-se como um interessante instrumento de projeto, simulando do sistema de tratamento proposto. Podendo contribuir para futuras simulações na avaliação da tratabilidade e aplicabilidade do sistema proposto, considerando as diferentes composições efluentes diárias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23st.ed., Washington Washington, DC: American Public Health Association, 2017.
2. ARAUJO, J. E. Processos de tratamento terciário para redução da dco e cor dos efluentes de uma fábrica integrada de celulose kraft branqueada e papel. 2013. p. 55. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
3. ASHRAF, O.; YERUSHALMI, L.; HAGHIGHAT, F. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. Journal of Environmental Management, v. 158, p. 146-157, 2015.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: Projetos de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1992.
5. MENDES JÚNIOR, R. S. Teste respirométricos na predição efeitos adversos ao tratamento biológico em paradas gerais de fábricas de polpa celulósica e papel. 2015. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.



6. PIVELI, R. P.; FERREIRA, S. S.; SOUZA, T. S. O. Dimensionamento das unidades de decantação. São Paulo: EPUSP, 2018. Notas de aula da disciplina PHAD 3411 Saneamento. Disponível em: <[www.pha.poli.usp.br](http://www.pha.poli.usp.br)>. Acesso em 02 junho de 2018.
7. VIANNA, M. R. Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água. 5. ed. Nova Lima: Imprimatur, 2014.
8. YANG, W. Biowin modeling of the startup of an anaerobic digester used in wastewater treatment plants. Dissertação (Master of Applied Science in Environmental Systems Engineering) - University of Regina, Regina, 2014.