



UNILASALLE
CENTRO UNIVERSITÁRIO LA SALLE



JOSÉ JUAREZ OLIVEIRA DIAS

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE COAGULANTES NO EFLUENTE DE
UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**

CANOAS, 2013

JOSÉ JUAREZ OLIVEIRA DIAS

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE COAGULANTES NO EFLUENTE DE
UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**

Dissertação de mestrado apresentada para a banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Avaliação de Impactos Ambientais do Centro Universitário La Salle - UNILASALLE, como exigência para a obtenção do título de Mestre em Avaliação de Impactos Ambientais.

Orientação: Prof. Dr. Silvio Roberto Taffarel e
Prof. Dr. Marcos Leandro Silva Oliveira

CANOAS, 2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D541a Dias, José Juarez Oliveira.

Avaliação técnica e econômica de coagulantes no efluente de uma indústria de celulose e papel [manuscrito] / José Juarez Oliveira Dias. – 2013.

119f.: il.; 30 cm.

Dissertação (mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) – Centro Universitário La Salle, Canoas, 2013.

“Orientação: Prof. Dr. Silvio Roberto Taffarel”.

“Co-orientação: Prof. Dr. Marcos Leandro Silva Oliveira”.

1. Meio ambiente. 2. Água. 3. Tratamento de efluentes. 4. Controle ambiental. 5. Impacto ambiental. I. Taffarel, Silvio Roberto. II. Oliveira, Marcos Leandro Silva. III. Título.

CDU: 628.541

JOSÉ JUAREZ OLIVEIRA DIAS

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE COAGULANTES NO EFLUENTE DE
UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**

Dissertação de mestrado apresentada para a banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Avaliação de Impactos Ambientais do Centro Universitário La Salle - UNILASALLE, como exigência para a obtenção do título de Mestre em Avaliação de Impactos Ambientais.

Aprovado pela banca examinadora em 07 de novembro de 2013.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Cristiane Oliveira Rodrigues
UNILASALLE

Prof^a. Dr^a. Guelsa Soarez
UNILASALLE

Prof. Dr. Luis Felipe Oliveira
UNILASALLE

Prof. Dr. José Vicente Lima Robaina
ULBRA

Dedico esta dissertação de Mestrado primeiramente à minha família que sempre me deu apoio nos momentos difíceis e aos meus colegas de trabalho pela torcida, incentivo e colaboração nos mais diversos aspectos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar o meu caminho, fazendo com que eu suba mais este degrau na vida, aproximando-me Dele cada vez mais.

Ao professor Dr. Silvio Roberto Taffarel pelas orientações na realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Marcos Oliveira pelos conselhos e orientações na realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Humberto Batista pela possibilidade de desenvolvimento deste trabalho.

À CMPC – Celulose Riograndense, pelo apoio fundamental na realização da pesquisa, conciliando as atividades de minhas tarefas funcionais com as atividades acadêmicas.

À empresa Guaíba Química, pela disponibilidade dos coagulantes.

Agradecer a todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização desta pesquisa: professores, colegas, amigos e familiares.

RESUMO

A utilização de água na indústria de celulose e papel é considerada intensiva e todo este volume de água utilizado forma um efluente que precisa ser tratado de modo que o corpo receptor possa absorver e não alterar as suas características. O uso de coagulantes para o tratamento do efluente é uma solução físico-química utilizada para a redução e ou eliminação de compostos que geram, principalmente, cor, turbidez e DQO. Para viabilizar a produção industrial, o controle ambiental através de somente técnicas de controle não é suficiente, é preciso uma busca incessante em novos produtos e tecnologias que atendam a eficiência industrial aliada a uma eficiência ambientalmente correta. Tratar adequadamente os efluentes gerados no processo industrial agrega custos ao processo produtivo e na medida do possível, deve-se constantemente buscar redução deste impacto. Esta Dissertação visa à avaliação do coagulante ideal para o tratamento do efluente gerado no processo de produção de celulose e papel, levando em conta a possibilidade de utilização de produtos e subprodutos utilizados no processo de produção, na redução de custos com coagulantes para o tratamento de efluentes, na menor geração de lodo químico na ETE e ainda a possibilidade de ampliação do empreendimento com um custo menor da ETE. O método escolhido para as avaliações foram testes de bancadas (jar-test) que forneceram as indicações do melhor coagulante, da dosagem de substâncias utilizadas para o controle de pH, da capacidade de corrosão do melhor coagulante clorado. Os coagulantes avaliados nesta Dissertação foram o Sulfato Ferroso Oxidado, Cloreto Férrico e o Policloreto de Alumínio (PAC) que apresentou os melhores resultados entre os coagulantes clorados, sendo um produto capaz de absorver parte do cloro excedente da produção de cloro e soda. Com os resultados obtidos nos ensaios de bancada, fez-se uma estimativa de todos os ganhos envolvidos no processo de produção de celulose e papel e a partir disto, os equipamentos para dosagem do PAC foram instalados para um teste em planta em um período de 30 dias. A sua produção e comercialização dentro do sítio do empreendimento esta sendo avaliado juntamente com outra empresa parceira do empreendimento, o que torna o preço do coagulante extremamente competitivo. Foi observado, durante o teste em planta, um aumento médio de 17% na geração de cloretos no efluente tratado, não foi necessário a utilização de agente alcalino para a correção do pH do efluente tratado, a redução na geração de lodo químico não foi

conclusiva e a economia alcançada no teste em planta foi de 332 917,7 R\$/mês, sendo assim, um valor superior ao que foi encontrado durante os testes de bancada (278 594,6 R\$/mês). Os resultados encontrados foram agrupados em tabelas e gráficos e apresentados à direção da fábrica que esta avaliando a possibilidade da instalação de uma unidade de produção de PAC no sítio deste empreendimento.

Palavras-chave: Efluente industrial. Controle ambiental. Coagulante. Subprodutos.

ABSTRACT

The use of water in the pulp and paper industry is considered intensive and all the volume of water used to form an effluent to be treated so that the body can absorb and receiver do not change their characteristics. The use of coagulants for treatment of wastewater is a physical- chemical solution used for the elimination or reduction of compounds and to produce mainly, color, turbidity and COD. To facilitate industrial production, environmental control through only control techniques is not enough, it takes a relentless search for new products and technologies to meet industrial efficiency coupled with an environmentally friendly efficiency. Adequately treat the effluent generated in the manufacturing process adds costs to the production process and to the extent possible, should seek constantly reducing this impact. This thesis aims to assess the ideal for the treatment of wastewater generated in the pulp and paper process, taking into account the possible use of products and by-products used in the production process, reducing costs coagulants for the treatment of coagulant effluent in less generation of chemical sludge in the WWTP and the possibility of expanding the project with a lower cost of TEE. The method chosen for the evaluations were Bench (jar-test) that provided the best indication of the coagulant dosage of substances used for pH control, the ability to better corrosion of chlorinated coagulant tests. Coagulants were evaluated in this dissertation Rusty Ferrous Sulfate, Ferric Chloride and Poly Aluminium (PAC) that showed the best results among the chlorinated coagulants, being a product capable of absorbing part of the surplus production of chlorine from chlorine and caustic soda. With the results obtained in bench tests, made an estimate of all gains involved in the production of pulp and paper process and from this, the PAC dosing equipment were installed for a test plan for a period of 30 days. Its production and marketing within the site of the project is being evaluated along with another business partner of the venture, which makes the price extremely competitive coagulant. During the test plan, there was a mean increase of 17 % in the generation of chlorides in the treated effluent, the use of alkali to correct the pH of the treated effluent was not necessary to reduce the generation of chemical sludge was inconclusive and the savings achieved in the test plan was 332 917, 7 R\$ / month, so, with a value higher than what was found during the bench tests (278 594, 6 R\$ / month). The results were grouped in tables and

graphs and presented to the direction of the factory that is evaluating the possibility of installing a production unit PAC website this venture.

Keywords: Industrial effluent, environmental control, coagulant, byproducts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Energia potencial entre as partículas coloidais.....	27
Figura 2 – Diagrama de coagulação com sulfato de alumínio.....	29
Figura 3 – Configuração da dupla camada elétrica.....	31
Figura 4 – Esquema indicativo da mistura rápida e floculação.....	35
Figura 5 – Fluxograma de Produção de Celulose e Papel.....	38
Figura 6 – Fluxograma Ilustrativo de uma ETE e os Produtos Químicos Característicos.....	39
Figura 7 – Equipamentos no Pré-Tratamento.....	40
Figura 8 – Fluxograma de uma ETE com Tratamento Primário, Secundário e terciário.....	43
Figura 9 – Processo de Tecnologias Limpas.....	47
Figura 10 – Mangote e tubulação.....	78
Figura 11 – Bomba e válvulas revestidas.....	78
Figura 12 – Adaptações nas tubulações.....	78
Figura 13 – Medidor de fluxo e válvula.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros legislados pela FEPAM para o efluente tratado.....	50
Tabela 2 – Características físico-químicas do efluente no transbordo do Decantador Secundário.....	59
Tabela 3 – Escolha do melhor coagulante.....	60
Tabela 4 – Comparação entre o S.A. e PAC.....	63
Tabela 5 – Avaliação da quantidade de sólidos gerados entre os coagulantes S.A e PAC.....	66
Tabela 6 – Produção atual e futura de cloro e soda.....	69
Tabela 7 – Produção de HCl para venda e para a produção de PAC.....	69
Tabela 8 – Previsão de consumo de PAC atual e futura.....	70
Tabela 9 – Consumo de HCl para a produção de PAC.....	70
Tabela 10 – Produção atual e futura de NaOH.....	72
Tabela 11 – Consumo atual e futuro de NaOH.....	72
Tabela 12 – Custos com a compra de NaOH no mercado externo.....	73
Tabela 13 – Ganhos com a menor compra de NaOH.....	73
Tabela 14 – Custo com o Coagulante Sulfato de Alumínio na ETE.....	74
Tabela 15 – Custo com o Coagulante Policloreto de Alumínio na ETE.....	74
Tabela 16 – Ganhos Totais com a Troca do Coagulante S.A por PAC.....	75
Tabela 17 – Avaliação da corrosão entre S.A e PAC no aço inox.....	76
Tabela 18 – Ensaio de Jar-test para iniciar o teste em planta do PAC na ETE.....	79
Tabela 19 – Custo de Produção do PAC junto ao Sítio do Empreendimento.....	83
Tabela 20 – Custo de Coagulantes no Mercado Externo.....	84
Tabela 21 – Custo do S.A. e do PAC praticados durante o teste em planta na ETE.....	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Dosagens dos coagulantes em ppm no efluente.....	61
Gráfico 2 – Cor aparente do efluente tratado em mg L-1 verificada após a dosagem de cada coagulante.....	61
Gráfico 3 – Turbidez do efluente tratado em NTU verificada após a dosagem de cada coagulante.....	62
Gráfico 4 – DQO do efluente tratado em ppm verificado após a dosagem dos coagulantes.....	62
Gráfico 5 – Variação da dosagem de S.A e PAC e resultados de cor e DQO.....	64
Gráfico 6 – Variação da dosagem de S.A e PAC e resultados de turbidez.....	65
Gráfico 7 – Quantidade de sólidos formada durante o processo de coagulação versus a quantidade de sólidos formada após a decantação.....	67
Gráfico 8 – Acompanhamento da eficiência da ETE.....	80
Gráfico 9 – Consumo específico de coagulante na ETE durante o teste.....	81
Gráfico 10 – Geração de lodo com o uso do PAC.....	82
Gráfico 11 – Custo da ETE com coagulante durante o teste do PAC.....	85
Gráfico 12 – Concentração de Cloretos em mg L-1.....	87
Gráfico 13 – Carga de Cloretos em t dia-1.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de coagulantes.....	36
Quadro 2 – Sequências de providencias para o controle da geração de resíduos	48

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

ADMT	Air Dry Metric ton
$Al_2(SO_4)_3$	Sulfato de Alumínio
°C	Graus Celsius
Cl_2NaOH	Cloro-soda
CMPC	Companhia Manufactureira de Papéis e Cartões
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CO_2	Dióxido de Carbono
COT	Carbono Orgânico Total
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxigênio- 5dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
Fe^{3+}	Íon Férrico
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
$FeSO_4$	Sulfato de Ferro
$FeCl_3$	Cloreto Férrico
HCl	Ácido Clorídrico
L	Litro
L.O	Licença Operacional
m^3	Metro Cúbico
$mgPt/Co L^{-1}$	Miligrama de Platina Cobalto por Litro
mm	Milímetro
mL	Mililitro
$mg L^{-1}$	Miligramas por Litro
NaOH	Hidróxido de Sódio
PA	Para Análise
PAC	Policloreto de Alumínio ou Hidroxicloreto de Alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico
P.A.	Para Análise
SFO	Sulfato Ferroso Oxidado

rpm	Rotações por minuto
S ²⁻	Íon Sulfeto
S.A	Sulfato de Alumínio
t/db.s	Tonelada de lodo base seca

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	22
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	22
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	Tratamento de Efluentes Industriais	24
2.2	Teoria da Coagulação	25
2.2.1	<i>Mecanismos de coagulação</i>	26
2.2.1.1	Coagulação Eletrostática.....	26
2.2.1.2	Coagulação seguida por Adsorção.....	26
2.2.1.3	Coagulação de Precipitação.....	28
2.2.1.4	Interação e atração entre partículas.....	30
2.2.2	<i>Reações Químicas Características dos Coagulantes</i>	31
2.2.2.1	Sulfato de Alumínio.....	32
2.2.2.2	Cloreto Férrico.....	32
2.2.2.3	Sulfato Ferroso Oxidado.....	33
2.2.2.4	Policloreto de Alumínio (PAC).....	34
2.3	O Processo da Floculação	34
2.3.1	<i>Classificação dos Floculantes</i>	35
2.4	Tipos de Tratamento de Efluentes na Indústria de Celulose e Papel	37
2.4.1	<i>Pré-Tratamento</i>	39
2.4.2	<i>Tratamento Primário</i>	40
2.4.3	<i>Tratamento secundário</i>	42
2.4.4	<i>Tratamento Terciário</i>	44
2.4.5	<i>Tratamento e Manuseio de Lodos em uma ETE</i>	46
2.5	O Uso de Coagulantes e a Redução da Geração de Lodo	46
2.6	Geração de resíduos para o meio ambiente	46
2.7	Características e Usos do Lodo Gerado em Uma ETE Para Aplicação em Solos	48
3	EXPERIMENTAL	50
3.1	Estudo 1: Testes de Bancada	51

3.1.1	<i>Materiais.....</i>	51
3.1.2	<i>Reagentes.....</i>	51
3.1.3	<i>Metodologia.....</i>	52
3.1.3.1	<i>Caracterização da Amostra de Efluente.....</i>	52
3.1.3.2	<i>Ensaio de Jar-Test.....</i>	53
3.1.4	<i>Avaliação econômica do uso do PAC no tratamento de efluentes do processo de produção de celulose e papel.....</i>	55
3.1.5	<i>Teste para determinar a ação corrosiva do PAC em equipamentos de aço inox mediante ensaio de imersão.....</i>	56
3.2	Estudo 2: Testes em planta industrial.....	56
3.2.1	<i>Determinação da dosagem inicial de PAC na ETE.....</i>	57
3.2.2	<i>Avaliação dos parâmetros verificados durante o teste em planta.....</i>	58
4	RESULTADOS.....	59
4.1	Estudo 1 - Testes de Bancada.....	59
4.1.1	<i>Caracterização do efluente.....</i>	59
4.1.2	<i>Avaliação dos coagulantes.....</i>	60
4.1.3	<i>Avaliação e comparação entre o S.A e PAC.....</i>	63
4.1.4	<i>Geração de Lodo no Sistema Terciário Comparando a Dosagem de Sulfato de Alumínio com a Dosagem de PAC.....</i>	65
4.1.5	<i>Avaliação Econômica do Uso do PAC no Tratamento de Efluentes do Processo de Produção de Celulose e Papel.....</i>	68
4.1.5.1	<i>Projeções da produção de cloro e soda.....</i>	68
4.1.5.2	<i>Projeção de Consumo de PAC.....</i>	70
4.1.5.3	<i>Previsão de ganhos financeiros com a troca do coagulante S.A pelo PAC.....</i>	71
4.1.5.3.1	<i>Ganhos com a menor compra de NaOH.....</i>	71
4.1.5.3.2	<i>Ganhos com a troca do Sulfato de Alumínio (S.A) por Policloreto de Alumínio (PAC).....</i>	74
4.1.6	<i>Teste para determinar a ação corrosiva do PAC em equipamentos de aço inox.....</i>	76
4.2	Estudo 2 - Testes em Planta Industrial.....	77
4.2.1	<i>Modificações nos equipamentos para uso do PAC no teste em planta industrial.....</i>	77

4.2.2	<i>Controle durante o teste em Planta.....</i>	79
4.2.3	<i>Determinação da dosagem inicial de PAC na ETE.....</i>	79
4.2.4	<i>Avaliação dos parâmetros verificados durante o teste em planta.....</i>	80
4.2.4.1	Eficiência da ETE durante o teste com PAC.....	80
4.2.4.2	Consumo específico de Coagulante no teste em planta.....	81
4.2.4.3	Geração de Lodo durante o uso com PAC.....	82
4.2.4.4	Custo com coagulante durante o teste com PAC.....	83
4.2.4.5	Avaliação da Presença de Cloretos no Efluente Tratado durante o teste em planta com PAC.....	86
5	CONCLUSÕES.....	89
5.1	Sugestões.....	90
	REFERÊNCIAS.....	91
	ANEXO A – Planilha de acompanhamento diário do teste em planta do PAC.....	97
	ANEXO B – Cálculo do Custo de Produção do PAC.....	98
	ANEXO C – Fragmento da Planilha de Controle da ETE Durante o Teste em Planta do PAC.....	99
	ANEXO D – Acompanhamento da concentração de cloretos antes e durante a dosagem de PAC.....	100
	ANEXO E – Características do Efluente que Esta Sendo Gerado no Processo de Produção de Celulose e Papel (Sistema EXCEED).....	101
	ANEXO F – ANEXO F – Características do Efluente Neutralizado	102
	ANEXO G – Características do Efluente que chega ao Reator Biológico.....	103
	ANEXO H – Características do Efluente que saí do Sistema secundário.....	104
	ANEXO I – Características do Efluente que saí do Sistema Terciário.....	105
	ANEXO J – Dosagem de Produtos Químicos no Sistema Terciário.....	106

ANEXO K – L.O. Licença Operacional Para o Empreendimento (08 páginas).....	107
ANEXO L – Imagens dos Ensaios de Jar-Test Realizadas durante a Pesquisa.....	115
ANEXO M – Amostra do Cloreto Férrico.....	116

1 INTRODUÇÃO

Uma Estação de Tratamento de Efluentes utiliza coagulantes para a remoção das impurezas presentes. Diversos coagulantes apresentam-se como opções de uso. O coagulante mais utilizado é o sulfato de alumínio devido ao seu baixo custo. No entanto, é extremamente ácido e sua presença pode baixar drasticamente o pH de uma solução, sendo necessário usar outros insumos químicos que possam compensar a diminuição do pH (NUNES, 2004). O sulfato de alumínio em solução é de fácil manipulação, onde as tubulações de fibra de vidro ou aço inox apresentam boa resistência e durabilidade. As bombas e medidores de fluxo, normalmente são confeccionados em aço inox.

O cloreto férrico é muito utilizado para tratamento de efluentes que apresentam na sua constituição íons fosfatos, atuando em uma ampla faixa de pH. Um dos inconvenientes do uso da substância está na redução do pH do efluente após a coagulação, o que torna necessário a dosagem de uma quantidade fora do normal de agente alcalino para um pH próximo a 6,0. Outra desvantagem está relacionada aos desgastes dos equipamentos, principalmente do aço inox, promovido pelo íon cloreto (DALASSO et al., 2006).

O sulfato ferroso oxidado, segundo Pavanelli (2001) precipita hidróxidos férricos no efluente a ser tratado levando à diminuição da eficiência do produto. Ainda, de acordo com Letterman et al. (1999) a melhor faixa de pH para a atuação desse coagulante é em pH de 4 a 6, possuindo uma boa aplicação para efluentes com uma carga orgânica alta. A presença do íon cloreto afeta drasticamente as tubulações e equipamentos que possuem a sua confecção em aço inox e aço carbono. Experiências e testes em planta demonstraram uma eficiente atuação para efluentes com DQO recalcitrantes. Segundo Moutinho (2004), em testes comparativos entre o SFO (sulfato ferroso oxidado) e sulfato de alumínio constatou-se que para o tratamento de efluentes com este coagulante o custo do tratamento aumenta em aproximadamente 54%. No entanto, o SFO apresenta uma capacidade de 20 a 25 % maior na remoção da DQO em uma etapa de tratamento terciário do efluente.

Para VICTORINO (2008), o policloreto de alumínio (PAC) apresenta-se como um coagulante moderno, reunindo na sua constituição duas funções químicas (coagulação e floculação), fundamentais para a remoção de compostos orgânicos e

inorgânicos no efluente industrial e para o tratamento da água necessário ao processo produtivo, refere-se a uma classe de produtos solúveis de alumínio em misturas de polieletrólitos catiônicos e as propriedades do produto vão depender do grau médio de polimerização e da proporção entre cloreto e hidróxido. O uso deste coagulante apresenta os mesmos inconvenientes entre os coagulantes clorados no que se refere ao ataque corrosivo dos equipamentos confeccionados em aço carbono, inox e tanques que não tenham o devido revestimento com fibra de vidro.

Uma estação de tratamento de efluentes industriais, entre as suas etapas, o tratamento terciário é responsável pela redução da cor, da turbidez e do DQO remanescente do tratamento secundário (biológico). O uso de coagulantes é feito juntamente com floculantes (polieletrólitos), sendo misturado com o efluente em um tanque de mistura, onde, geralmente é necessário a adição de alcalinizantes ou acidificantes para a obtenção do pH ideal de floculação, em seguida, este efluente é conduzido aos clarificadores terciários, onde se completa a floculação, ocorrendo a clarificação e decantação da maioria das partículas e substâncias dissolvidas no efluente (DEGRÉMONT, 1979).

O volume de coagulante utilizado no tratamento físico químico do efluente é um fator de preocupação constante, primeiramente de ordem econômica, pois é o insumo mais consumido em uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes). Em segundo plano, porém não menos importante esta no volume de lodo gerado. Este lodo químico quando disposto no meio ambiente ou misturado a lodos orgânicos, apresenta dificuldades nos processos de compostagem e estabilização das substâncias presentes. Fazendo-se necessário o emprego de agentes neutralizantes destas substâncias, principalmente o residual de alumínio presente no lodo.

O correto tratamento e disposição do lodo de esgoto devem fazer parte de todo o programa de tratamento de efluentes urbanos e industriais, para que os objetivos do saneamento sejam efetivamente atingidos. Os custos destas operações podem alcançar 60% dos custos operacionais destas estações e, portanto não pode ser negligenciado (ANDREOLI et al., 1998).

Uma ETE dentro do processo industrial agrega ao produto final um custo de operação, de energia, de manutenção e conservação de equipamentos e principalmente com o custo de insumos químicos necessários ao tratamento. Encontrar um coagulante que utilize subprodutos do processo industrial, que não necessite de alcalizantes ou acidificantes para a obtenção do pH de floculação e que

seja eficiente com uma dosagem pequena, gerando assim um volume menor de lodo químico, é fundamental para reduzir os custos de condução de uma ETE e contribuir com o meio ambiente através de uma menor geração de resíduos a serem dispostos.

De acordo com Teixeira (2011), é considerada uma boa alternativa a circulação de matéria prima entre unidades de um processo produtivo, onde a redução do envio de resíduos ao meio ambiente torna-se uma oportunidade de negócios, reduzindo o custo de produção. A transformação de resíduos em produtos é uma resposta ao meio ambiente, gerando nos produtos um maior valor agregado (PEREIRA et al., 2002).

Assim, para ser competitiva no mercado de celulose e papel, uma indústria deste segmento precisa produzir a maioria dos insumos utilizados no processo de produção. Entre estes insumos, a produção de cloro e soda apresenta-se como uma grande fonte geradora de recursos financeiros ao empreendimento. Enquanto que a soda encontra um mercado consumidor competitivo e ávido pelo produto que apresenta pureza para uso na indústria alimentícia, tendo assim, uma vasta utilização nas mais diferentes cadeias da economia. Porém, o cloro que é produzido juntamente com a soda, encontra um mercado consumidor em declínio, necessitando ser transformado em HCl (ácido clorídrico) para somente assim, encontrar uma forma de colocação dentro das cadeias produtivas que envolvam o uso deste produto. Desta forma, encontrar um coagulante que utilize em sua composição o elemento cloro, reduz o custo deste coagulante uma vez que parte da matéria prima necessária para a sua composição esta dentro do processo produtivo deste segmento industrial. Além disso, o uso de um menor volume de coagulante reduz a geração de lodo no tratamento terciário, reduzindo a proporção inorgânica presente no volume total de lodo gerado na ETE.

Reduzir os custos com eliminação de desperdícios, desenvolver alternativas tecnológicas limpas e baratas, reciclar insumos não são apenas princípios de gestão ambiental, mas condição de sobrevivência. Mais do que economia e vantagem competitiva, a preservação ambiental é um desafio à manutenção das condições de sobrevivência para uma sociedade sustentável (COUTINHO et al., 2009).

A pesquisa foi realizada CMPC Celulose Riograndense na cidade de Guaíba. É uma fabrica com capacidade atual de produção de 46 500 t/ano de celulose, com

uma geração máxima de efluente de 46 400 m³/dia, consumindo uma média de 40 t/dia de sulfato de alumínio como coagulante para o tratamento de efluentes. O empreendimento encontra-se em processo de expansão passando para uma produção de 1 400 000 t/ano de celulose. Devido a isto, ocorrerá um aumento na geração de efluentes que não será proporcional ao aumento de produção devido ao uso de novas tecnologias. Porém, há uma previsão de um fluxo de efluente de aproximadamente 100 000 m³/dia, elevando o consumo de sulfato de alumínio como coagulante para aproximadamente 80 t/dia. Para reduzir o volume de coagulante necessário para o tratamento de efluentes, reduzir o volume de lodo químico gerado, utilizar subprodutos do processo de produção de celulose, reduzir a logística de transporte de produtos químicos, utilização de um coagulante de maior eficiência e consequentemente gerar uma economia no processo de produção de celulose, esta pesquisa de um coagulante ideal para este cenário industrial, contribui com o meio ambiente aliada aos ganhos econômicos obtidos no processo produtivo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa foi determinar o melhor coagulante clorado, produzido a partir de subprodutos gerados no processo de produção de celulose e papel que quando comparado ao Sulfato de Alumínio, apresente resultados semelhantes atendendo aos padrões de lançamento do efluente exigidos pelo órgão ambiental para a disposição no estuário do Guaíba, reduzindo o custo com coagulantes na ETE e a geração de lodo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o efluente de uma indústria de celulose e papel;
- Avaliar a eficiência dos coagulantes clorados (Cloreto Férrico, Policloreto de Alumínio – PAC e Sulfato Ferroso Oxidado) na coagulação dos compostos presentes no efluente da indústria de celulose e papel;
- Determinar a melhor dosagem do coagulante clorado;
- Determinar o coagulante clorado que utiliza uma quantidade menor de

agentes neutralizantes para uma coagulação eficiente;

- Determinar o volume de lodo gerado pelo melhor coagulante clorado;
- Verificar os ganhos indiretos pelo uso de subprodutos do processo de produção de celulose e papel para uma avaliação econômica de um coagulante clorado no tratamento de efluentes deste segmento industrial;
- Realizar testes em planta industrial para comprovar os resultados obtidos nos ensaios de bancada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tratamento de Efluentes Industriais

O tratamento de efluentes industriais e outras águas residuais, cada vez mais necessitam de um gerenciamento que leve a minimização dos problemas associados ao recurso natural água. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), através da resolução N° 54/2005, regulament a o destino das águas de reuso, a pesquisa, desenvolvimento e inovação no gerenciamento de água como um tema estratégico, onde Ciminelli et al. (2006), considera que neste contexto, estudos que minimizem os problemas ambientais pela maioria das indústrias tem sido incentivados, visando o tratamento e a reutilização da água.

Para Wang et al. (2002), a técnica mais antiga e de custo baixo, para o tratamento de água e efluentes se encontra na precipitação química, que consiste na adição de agente químico para a formação de precipitados, que são separados por sedimentação, flotação ou filtração.

A utilização de água na indústria de celulose e papel é considerada intensiva e ocorre de diversas formas, tais como: lavagem de máquinas, tubulações e pisos; águas de sistema de resfriamento e geradores de vapor; águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporadas aos produtos e esgoto sanitário dos funcionários.

Todo este volume de água utilizado irá formar um efluente que precisa ser tratado de modo que o corpo receptor possa absorver e não altere as suas características de modo a manter o ecossistema equilibrado sem consequências para a fauna e a flora do sistema hídrico. A Resolução CONAMA 357 (2005), capítulo IV, determina que o efluente tratado precisa atender as normas do órgão ambiental. O uso de coagulantes para o tratamento do efluente é uma solução físico-química utilizada para a redução e ou eliminação de compostos que geram cor, turbidez e DQO. Ainda, segundo Cadorin (2007), muitas pesquisas estão direcionadas para a seleção de novos reagentes químicos que apresente uma boa remoção de impurezas aliada a uma baixa geração de lodos. O pH do meio define as concentrações mínimas de espécies metálicas para a coagulação, floculação e precipitação de substâncias e íons presentes em uma água. Assim, um agente

químico que tenha uma boa atuação em uma maior faixa de pH leva a uma maior economia do processo de tratamento da água ou do efluente (FENG et al., 2000).

2.2 Teoria da Coagulação

A coagulação é uma etapa do processo de tratamento de efluentes, que se destina a aglomerar as impurezas e a força da gravidade promove a separação sólido-líquido ou a sedimentação, onde a interação entre as partículas ocorrem em quatro formas distintas: discreta, onde há uma baixa concentração de sólidos em suspensão; floculante é onde a suspensão diluída coalesce ou flocula durante a sedimentação; zonal ocorre em concentração intermediária de sólidos em suspensão promovidas por forças interparticulares que se unem para decantar em um único bloco; e por fim as de compressão, que se referem à sedimentação por alta concentração de partículas que promovem a compressão da estrutura (CADORIN, 2007). Para estas separações sólido-líquido, a atuação do coagulante deve ser capaz de formar flocos com tamanhos e densidades adequadas a uma boa separação dos sólidos onde a velocidade de decantação assume um papel importante na determinação da escolha do melhor coagulante.

Segundo MWH (2005), para a remoção das partículas presentes na água, estas devem ser incorporadas em flocos, os quais se formam após a dosagem do coagulante específico. Coagulação é o processo pelo qual um sistema é transformado de estável para um estado instável, a desestabilização depende do sistema emparticular, no caso de suspensões ou soluções, ocorre a formação de flocos visíveis dispersos ou a formação de precipitados. A floculação é o processo pelo qual a manifestação de desestabilização, do sistema, acelera a formação de flocos, influenciada pelas características físicas dos flocos formados (por exemplo, a sua força de atração eletrostática, o tamanho e densidade). A floculação é um complemento necessário para desestabilização, aglomerando as partículas através do transporte no fluido, formando partículas maiores, melhorando a sedimentação (BRATBY, 2006). Assim, segundo afirma Furtunato et al. (2008), o tratamento de efluentes industriais ou urbanos é realizado em decantadores que promovem a mistura entre agentes químicos, onde a clarificação é um processo físico químico realizada em quatro etapas: neutralização de cargas eletrostáticas, coagulação, floculação e sedimentação.

2.2.1 Mecanismos de coagulação

A coagulação pode ser induzida por diferentes mecanismos, como descrito abaixo:

- Coagulação eletrostática.
- Coagulação de adsorção.
- Coagulação de precipitação.

2.2.1.1 Coagulação Eletrostática

Na coagulação eletrostática, os íons carregados positivamente aproximam-se dos colóides carregados negativamente, formando uma camada difusa em torno do colóide, estes íons carregados positivamente, desestabilizam o colóide.

A Coagulação eletrostática ocorre após a dosagem $0,025 \text{ mol m}^{-3}$ de íons trivalentes. Estas concentrações não são encontradas nos tratamentos de águas de superfície e, assim, a coagulação eletrostática não desempenha um papel importante no tratamento deste tipo de água. Já para o tratamento de efluentes industriais ou de esgotos de cidades, a formação da camada difusora, carregada positivamente, é fundamental para uma boa coagulação que atua sobre o material finamente dividido, estes processos de coagulação-floculação possibilitam agregar partículas altamente carregadas via redução do potencial de repulsão a partir da adição de eletrólitos à suspensão. Assim, as partículas inicialmente desestabilizadas pela coagulação adsorvem com mais facilidade as cadeias poliméricas e proporcionam maior eficiência de floculação (OLIVEIRA; RUBIO, 2007).

2.2.1.2 Coagulação seguida por Adsorção

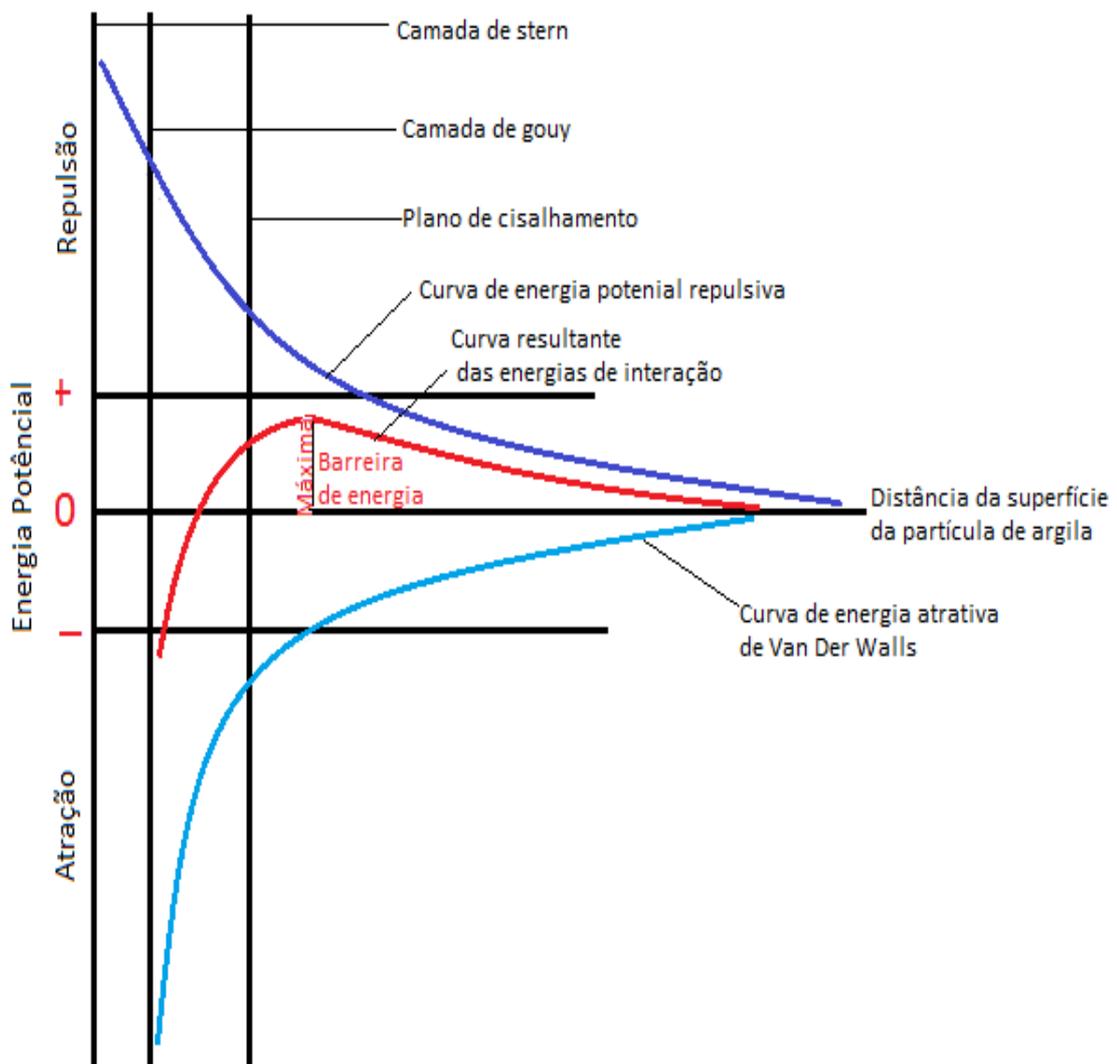
Na coagulação de adsorção, as partículas são adsorvidas aos íons carregados positivamente, principalmente a partir da hidrólise de complexos como FeOH^{2+} , AlOH^{2+} . Estes produtos ocorrem principalmente em pH baixo (entre 4,0 e 5,0).

A faixa de pH ótimo para a coagulação de adsorção com sais de ferro situa-se entre 6 e 8, com os sais de alumínio, esta entre 5 e 7.

A característica da coagulação por adsorção esta relacionada à dosagem, que

é proporcional à remoção da matéria orgânica, onde uma sobre-dosagem de coagulante, carrega positivamente o floco, reestabiliza o coloide e estabiliza a partícula através da repulsão. A coagulação de adsorção é um processo rápido. Em um segundo, os produtos carregados positivamente pelas hidrólises são formados e são adsorvidos nas partículas de carga negativa (MASSCHELEIN, 1992). Ainda, de acordo com Pavanelli (2001), uma suspensão é estável quando as forças de interação repulsivas são maiores que as forças de atração de van der Waals, e a distância pequena ou grande entre as partículas é sempre um sistema de atração, porém na distância “d” (Figura 1), há uma predominância da repulsão em um certo intervalo de tempo.

Figura 1 – Energia potencial entre as partículas coloidais

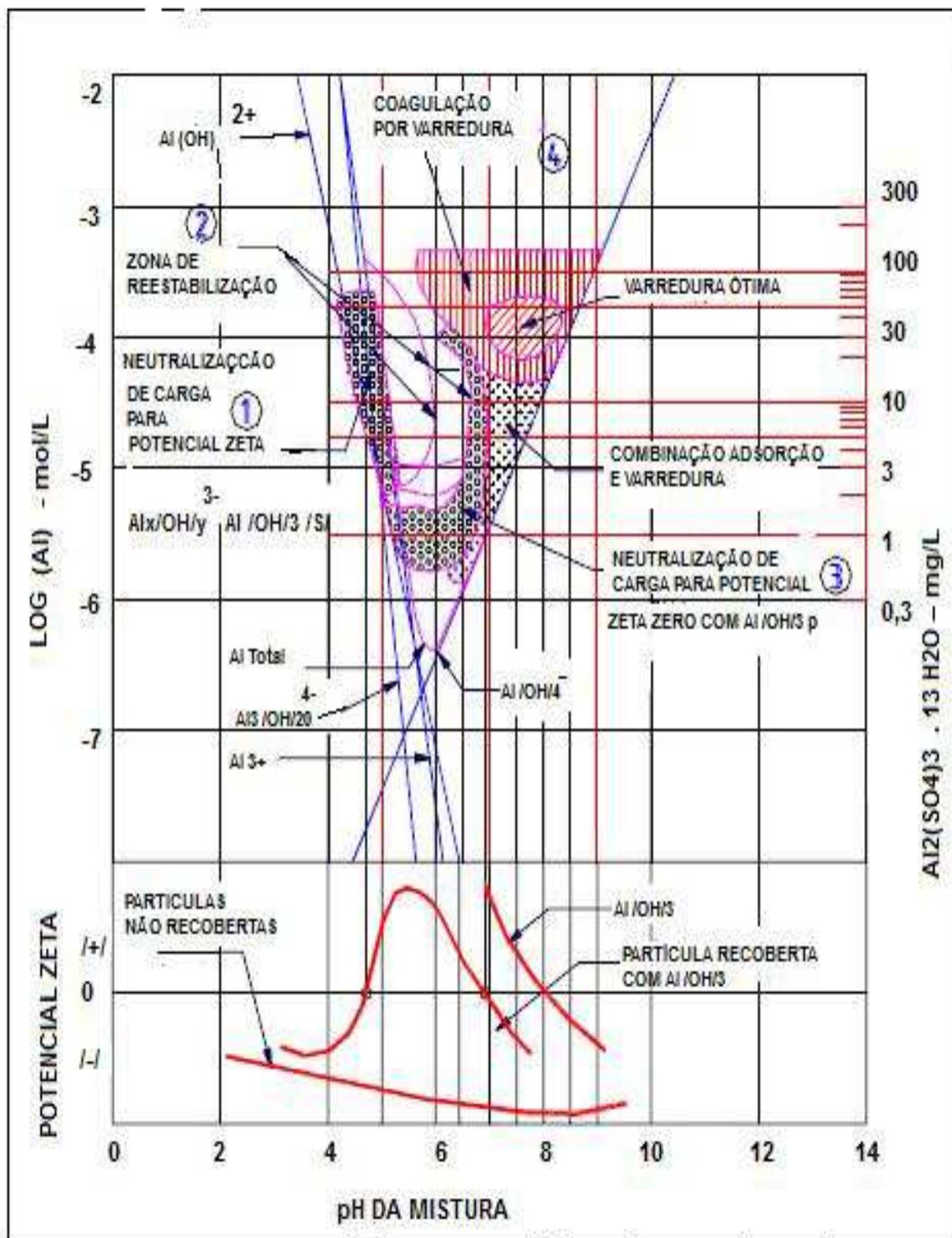


2.2.1.3 Coagulação de Precipitação

Na coagulação de precipitação ou coagulação da varredura, coloides são incorporados aos flocos neutros de hidróxido de ferro ou de alumínio. Este mecanismo ocorre, principalmente, em águas com baixo teor de sólidos em suspensão (10 mg L^{-1}) (GUEDES et al., 2004). De modo a formar flocos de hidróxido, o coagulante deve ser dosado até a coagulação de adsorção. A formação de flocos densos que precipitam rapidamente em um pH ótimo de floculação próximo a 4,7, formando regiões distintas para a coagulação por adsorção e por neutralização de cargas (CONSTANTINO; YAMAMURA, 2009).

Da mesma forma Pavanelli (2001) cita Amirtharajah & Mill (1982), que a coagulação por varredura e neutralização de cargas ou na combinação de ambas, é mais comum, principalmente quando observamos uma canaleta de floculação, onde temos formas semelhantes a nuvens de flocos, separados em fases distintas, após uma rápida mistura de coagulantes e floculantes em uma ETA. Para isto, foi elaborado pelo autor citado, um diagrama de coagulação que pode ser observado na Figura 2 a seguir, onde o mesmo foi dividido por regiões para melhor entendimento dos fenômenos e suas melhores interações.

Figura 2 – Diagrama de coagulação com sulfato de alumínio



Fonte: AMIRTHARAJAH; MILL apud PAVANELLI, 2001, p. 21.

Região 1:

Com uma dosagem de sulfato de alumínio entre 5 e 70 ppm, o potencial Zeta aproxima-se de zero pois, as partículas coloidais são neutralizadas pelas espécies hidrolisadas de alumínio.

Região 2:

É a região de reestabilização, onde o pH maior que 4,7 apresenta o potencial Zeta e os coloides com valor positivo. A presença de íons SO_4^+ aprisionam os coloides em forma de complexos do tipo $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})\text{SO}_4^+$, delimitando esta região (DI BERNARDO, 1993).

Região 3:

Para o autor do diagrama, esta região é denominada de “corona”, com dosagens de 3 a 30 ppm, ideal para sistemas com filtração direta, com um pH próximo a 6,9, com uma dosagem de 10 ppm, o potencial Zeta aproxima-se do zero.

Região 4:

É a região predominada pelo mecanismo de varredura, onde o pH varia entre 5,5 e 9,0 em dosagens do coagulante acima de 30 ppm em que os precipitados de hidróxido de alumínio formados, aprisionam as partículas coloidais. Esta região apresenta a tecnologia para estações completa de tratamento da água, onde decantadores antecedem o sistema de filtragem, devido ao tamanho dos flocos.

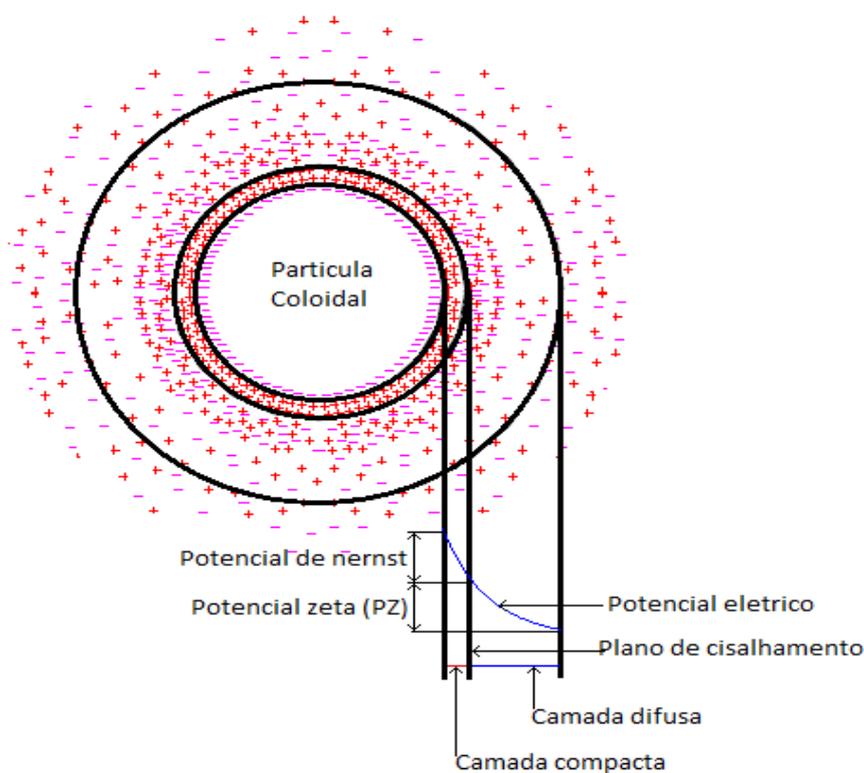
2.2.1.3 Interação e atração entre partículas

A coagulação de partículas finamente divididas é afetada por propriedades da água, tais como a temperatura, alcalinidade, COT (carbono orgânico total), pH, parâmetros hidrodinâmicos e o agente coagulante com a sua dosagem. Fatores como os mecanismos de transporte, força da gravidade e correntes de convecção; afetam a agregação e formação dos flocos (GUEDES et al., 2004).

Em um sistema sólido-líquido com concentração elevada de partículas coloidais a aproximação e o choque desordenado entre elas, permite uma interação entre as camadas difusas, ocorrendo a atração por forças de van der Waals e repulsão por força eletrostática ou dupla camada elétrica. A força de van der Waals resulta em uma energia de atuação inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as superfícies das partículas. A força da dupla camada ocorre devido à adsorção e dessorção de íons entre o sólido e a solução. Partículas coloidais

possuem cargas negativas que atraem as cargas positivas da solução, porém, de forma limitada devido às dimensões das partículas, esta limitação de adsorção forma uma camada rígida na superfície da partícula, originando uma camada compacta ou camada de Stern que atrai íons negativos que carregam íons positivos, formando a camada difusa (PAVANELI, 2001).

Figura 3 – Configuração da dupla camada elétrica



Fonte: AWWA apud DI BERNARDO, 1993, p. 164.

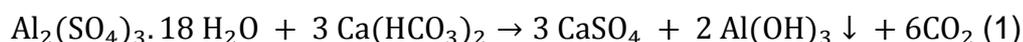
2.2.2 Reações Químicas Características dos Coagulantes

Atualmente, os coagulantes químicos mais empregados no tratamento de água são sais de ferro, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (sulfato de ferro) e FeCl_3 (cloreto férrico) ou alumínio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (alúmen), WAC (cloro-sulfato de alumínio parcialmente hidrolisado) conhecido entre as empresas fornecedoras de coagulantes com a sigla SFO (sulfato ferroso oxidado), onde em muitas citações literárias, também é citado com esta nomenclatura. O coagulante mais amplamente utilizado é o PAC (policloreto de alumínio) (GUEDES, et al., 2004).

A resistência e a densidade dos coágulos podem ser influenciadas pelo tipo e dosagem de coagulante utilizado no tratamento, assim como pelas condições dos equipamentos de coagulação e floculação (DALASSO et al., 2006).

2.2.2.1 Sulfato de Alumínio

O sulfato de Alumínio reage com agentes que proporcionam a alcalinidade do líquido a ser clarificado sofrendo uma reação de hidrólise que possui uma ação coagulante sobre as partículas dissolvidas na água. Na hidrólise do íon alumínio, com pH entre 4,8 e 5,5 a forma iônica predominante é o Al^{+3} . No efluente de uma indústria, com uma carga elevada de íons, após um tratamento biológico, a formação do íon Al^{+3} é fundamental para uma coagulação eficiente, sendo na maioria os casos, desnecessário a adição de cal ou carbonato de cálcio, para completar a reação. O que se observa depois de decorrido o tempo de decantação, principalmente em decantadores, onde o tempo de retenção é superior a seis horas é um acréscimo no valor de pH em aproximadamente 0,2 a 0,3 pontos, devido a formação do $\text{Al}(\text{OH})_3$ reação 1, reduzindo assim, a interferência na formação de ácidos pela presença do CO_2 .



Apesar do sulfato de alumínio ser o coagulante mais utilizado no processo do tratamento de águas e efluentes, pois, possui uma boa reatividade aliada a um baixo custo, o PAC atua com maior eficiência em dosagens menores, dispensando o uso de agentes acidificantes e alcalinizantes durante o processo de coagulação e para a correção do pH para uso da água tratada ou para a disposição do efluente no corpo receptor (CONSTANTINO; YAMAMURA, 2009 e PRATI, et al., 2005).

2.2.2.2 Cloreto Férrico

O Cloreto Férrico reagem com agentes que proporcionam a alcalinidade presente no líquido formando o hidróxido de ferro, que precipita e adsorve partículas sólidas presente no meio. O uso de cloreto férrico não é muito difundido devido as suas propriedades corrosivas que requerem uma série de cuidados especiais na manipulação, armazenamento e uso de equipamentos de segurança. Na hidrólise do cloreto férrico, os complexos de ferro formados, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ na reação (2), e que geram

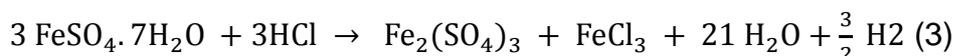
a floculação, são resultados da neutralização de cargas negativas das partículas presentes na água e também da reação de hidróxidos resultantes da reação entre o cloreto férrico e a alcalinidade do bicarbonato presente na água (Franco E. S, 2009).



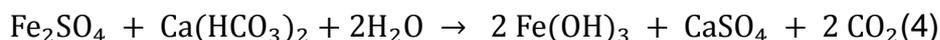
Segundo Foelkel C.E et al, 1994, O cloreto férrico, em uma concentração de 350 mgL⁻¹ é eficiente para a redução de AOX em efluentes da indústria de celulose e papel isto, esta aliado a possibilidade de produção deste coagulante na própria indústria, aproveitando o cloro excedente. Desta forma, o cloreto férrico apresenta-se como uma boa opção de coagulante para os efluentes gerados neste tipo de indústria.

2.2.2.3 Sulfato Ferroso Oxidado

O Sulfato Ferroso é oxidado na presença de HCl reação (3), através da seguinte reação:



O Sulfato Ferroso oxidado reage com agentes que proporcionam a alcalinidade para formação de hidróxido de Ferro +3 através da seguinte reação:



No processo de coagulação e floculação com o sulfato ferroso oxidado a variável de maior importância é o pH, uma vez que, os limites de solubilidade dos carbonatos, hidróxidos, etc., dependem do pH da água. Como a precipitação engloba a formação de soluções com sólidos e a adsorção na superfície da partícula do floco, a carga elétrica das suas superfícies depende do pH do meio. O Fe(OH)₃, por exemplo, em pH > 8,5 adquire carga elétrica negativa, em pH < 8,5 adquire carga positiva e o processo é inverso, isto pode levar em muitos casos, de acordo com os íons dissolvidos no efluente a uma liberação do Fe³⁺ reação (4), ocasionando uma variação da cor da água após as correções de pH (VIEIRA, 1981).

Para o tratamento de águas com cores elevadas, ocorre um maior consumo de coagulante e conseqüentemente a geração de um pH baixo. Como o sulfato ferroso oxidado gera flocos mais densos, sobrepondo-se em termos de eficiência sobre os coagulantes testados, porém é menos eficiente que o sulfato de alumínio para a redução da cor (LIBÂNIO; LEAL, 2002).

2.2.2.4 Policloreto de Alumínio (PAC)

O policloreto de alumínio é um sal de alumínio pré-polimerizado, de fórmula bruta $Al_n(OH)_nCl_{3n-m}$. Durante a hidrólise o Policloreto de Alumínio libera uma quantidade menor de íons H^+ que os demais coagulantes metálicos (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA, 2005).

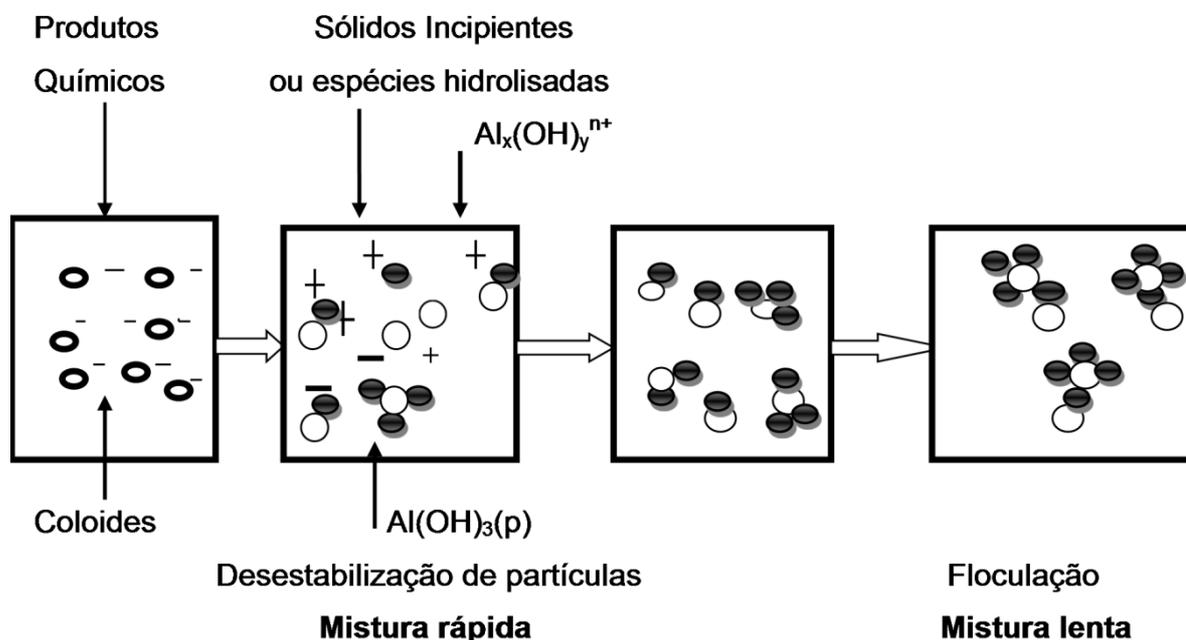
Devido a menor liberação de íons H^+ , durante a hidrólise do PAC, o pH da solução situa-se em uma faixa maior. Este evento está relacionado com a sua fórmula, onde a relação $m/3 Al_n(OH)_nCl_{3n-m}$. $n-100$ representa a basicidade do produto que, ao ser hidrolisado, libera seus íons metálicos em uma quantidade menor de ácido. Devido a estas propriedades, o uso de ácidos e bases para a correção do pH de floculação, durante o uso do PAC é consideravelmente menor (PAVANELLI, 2001).

A estrutura molecular do PAC com pontes de oxigênio entre os átomos de alumínio favorece a floculação devido a maior concentração do princípio ativo Al_2O_3 , tornando o PAC superior ao sulfato de alumínio e capaz de eliminar substâncias coloidais, em 2,5 vezes a mais, do que para uma mesma dosagem de outros sais de alumínio (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA, 2005).

2.3 O Processo da Floculação

A coagulação desestabiliza quimicamente todo o processo que envolve os coloides, formando flocos grandes e pequenos, enquanto que a floculação é a aglomeração destes coloides em forma de flocos como partículas descarregadas. Da mesma forma que os coagulantes modificam as características físico químicas das soluções pelo processo da hidrólise, alterando o pH e a condutividade e em doses elevadas provocando a geração de lodo químico, os floculantes, de origem orgânica ou mineral, promovem a ligação entre flocos grandes e pequenos, aumentando a velocidade de sedimentação em decantador ou clarificador do lodo gerado no processo de coagulação e floculação (FURTUNATO et al., 2008; DEGRÉMONT, 1979).

Figura 4 – Esquema indicativo da mistura rápida e floculação



Fonte: DI BERNARDO, 2005.

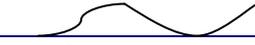
A floculação segue um mecanismo coerente de interação, para que ocorra a desestabilização das partículas, a interação dos coloides da água com os produtos químicos hidrolisados, passa por uma desestabilização das partículas e neutralização de cargas, levando ao processo da formação dos flocos (DI BERNARDO, 2005).

Para a correta aplicação do polímero, esta, deve ser fundamentada no teste experimental, assegurando uma combinação satisfatória do mecanismo de atuação do produto químico, aliado com as propriedades do coagulante e com as peculiaridades da amostra (DIAS; PEREIRA, 2005).

2.3.1 Classificação dos Floculantes

Os floculantes podem ser classificados segundo a sua origem, de acordo com a natureza, carga, hidrofobicidade, peso molecular e estrutura de acordo com o Quadro 1 (OLIVEIRA; RUBIO, 2011).

Quadro 1 – Classificação de coagulantes

CARACTERÍSTICA	CLASSIFICAÇÃO	EXEMPLOS
NATUREZA	Sintéticos	A maioria dos polímeros comerciais
	Naturais	Poliacrilamidas, amidos, biopolímeros (polifenóis)
CARGA	Catiônicos	Radical $-NH_3^+$ (poliaminas)
	Aniônicos	Radicais – COOH- Policarboxilatos
	Não iônicos	Polióxido de etileno, poliacrilamidas
	Anfóteros	Poliacrilamidas semi-hidrolisadas
HIDROFOBICIDADE	Hidrofóbicos, semi-hidrofóbicos	Polióxido de etileno, álcool polivinílico
	Hidrofílicos	A maioria dos polímeros
PESO MOLECULAR	Baixo	$< 10^5 \text{ g.mol}^{-1}$
	Médio	$< 10^5 \text{ g.mol}^{-1}$ e 10^6 g.mol^{-1}
	Alto	$>10^6 \text{ g.mol}^{-1}$
ESTRUTURA	Linear	
	Ramificada	

Fonte: BOLTO; GREGORY, 2007 apud OLIVEIRA; RUBIO, 2011, p. 15.

Os floculantes, também conhecidos como polímeros, são encontrados no mercado sob a forma de pó ou em emulsões. Para o uso correto destes floculantes no tratamento de efluentes, é necessária uma diluição adequada, em uma água tratada, com uma pureza próxima da potável. As principais vantagens na utilização de polímeros, aliados aos coagulantes, estão na menor geração de lodo químico, utilização do lodo para a incineração após desidratação, são fáceis de manusear e praticamente não apresentam problemas de operação. A maior parte dos compostos poluentes presentes nas águas possui carga negativa, desta forma, a carga polimérica mais utilizada é a catiônica. Porém, quando a utilização do polímero é combinada a um coagulante, é necessária uma boa pesquisa em ensaios de jar-test, onde muitas vezes, os polímeros aniônicos podem apresentar melhores resultados na redução de cor, de turbidez e até mesmo de DQO. Assim, a avaliação do projeto e equipamentos da ETE ou da ETA, aliado a produtos característicos e formas de operação, devem compor os testes para a seleção do melhor polímero (ANDREOLI, 2001).

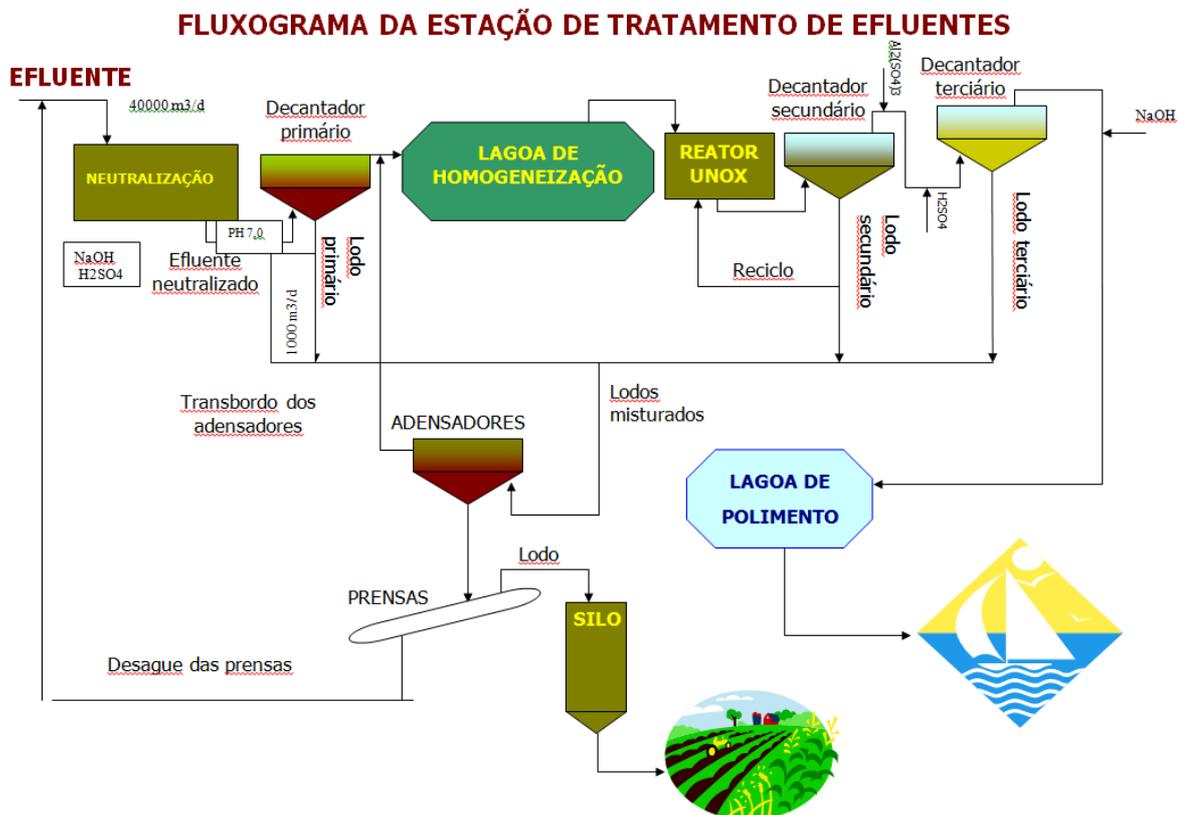
2.4 Tipos de Tratamento de Efluentes na Indústria de Celulose e Papel

O tipo de tratamento de efluentes ideal para a indústria de celulose e papel está relacionado com o espaço disponível para a ETE, com a capacidade de diluição do efluente gerado no corpo receptor (rio, mar, lago ou represa).

O tratamento de efluentes ideal neste tipo de atividade precisa ser realizado por etapas e uma das melhores formas de controle da ETE, no que se refere a uma previsão da sequência de operações no processo de tratar efluentes, está no conhecimento prévio das características do efluente que está sendo gerado em cada etapa do processo de produção de celulose e papel e que irão, desta forma, compor as características físico químicas do efluente. O ANEXO E é um exemplo de como o operador da ETE mantém atualizado o conhecimento das características do efluente que está sendo enviado à ETE (SILVA; CARVALHO, 2008).

A figura 5 indica quais são as etapas que mais geram efluentes dentro do processo de produção de celulose e papel, aliando o conhecimento das etapas do processo de produção de celulose e papel com as informações instantâneas de acordo com o ANEXO E, o operador tem base para as tomadas de decisões na melhor condução da ETE.

Figura 6 – Fluxograma Ilustrativo de uma ETE e os Produtos Químicos Característicos

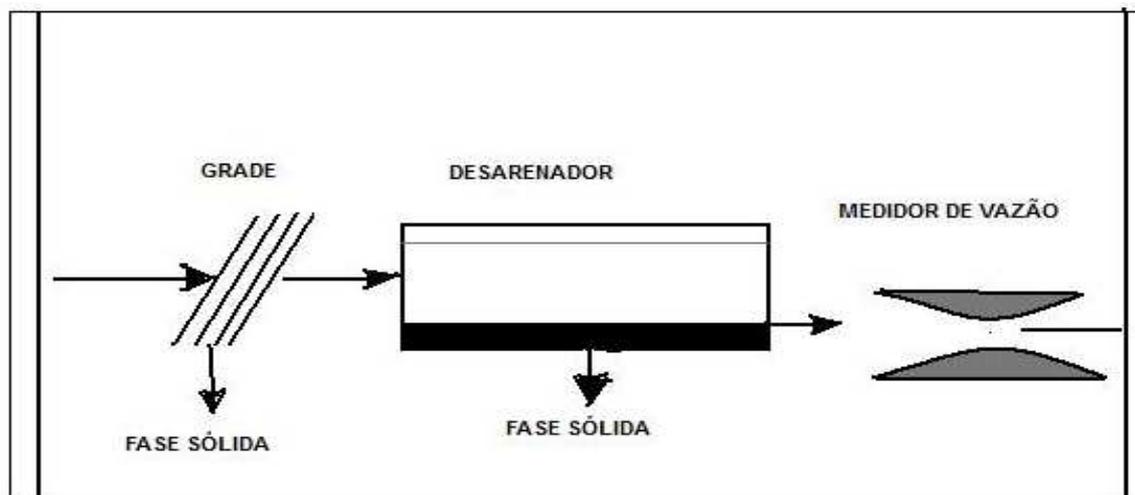


Fonte: CMPC, Manual de Operação, 2012.

2.4.1 Pré-Tratamento

Para Silva e Carvalho (2008) e Metcalf & Eddy (1991), um pré-tratamento é constituído por processos físicos como a remoção dos materiais em suspensão, através da utilização de grelhas e de crivos grossos (gradeamento), e a separação da água residual das areias a partir da utilização de um desarenador, onde a areia é removida pela injeção de ar comprimido em contra fluxo ao do efluente em um sistema de sifões. Uma rosca extratora de areia promove o deslocamento do material sólido, que além da areia, também é composto por pequenos pedaços de madeira que passaram pelo gradeamento e por fibras perdidas no processo de produção. O material sólido removido segue para compostagem junto com o lodo retirado da ETE.

Figura 7 – Equipamentos no Pré-Tratamento



Fonte: SAMAE Apostila, 2008.

Nesta etapa, também é providenciado o ajuste de pH para uma faixa próxima do neutro. O uso de cal hidratado é a substância mais comumente utilizada para a correção de efluentes com pH ácido, devido ao seu baixo custo e pela maior facilidade do tratamento da substância pelo meio ambiente. Em algumas vezes, dependendo da disponibilidade, o uso de hidróxido de sódio apresenta uma grande praticidade, porém com um custo elevado para o tratamento do efluente (DEGRÉMONT, 1979). Outra forma de ajuste no pH está no recebimento do efluente ácido proveniente do processo de branqueamento da celulose. Este efluente entra na parte selada do tanque de neutralização presente nesta etapa.

2.4.2 Tratamento Primário

O efluente deste tipo de indústria caracteriza-se por grandes volumes, compostos por substâncias como CaCO_3 , caulim, sílica, $\text{Al}(\text{OH})_3$, fibras da madeira, lodo da ETE/ETA, entre outros (DEGRÉMONT, 1979). O mesmo autor considera ainda a possibilidade do uso de coagulantes e floculantes nesta etapa do tratamento.

O processo de coagulação e floculação nesta etapa possibilita uma maior sedimentação de partículas em suspensão, usando, desta forma, sais inorgânicos de alumínio e ferro combinados com cal, formando coágulos coloidais com seus respectivos hidróxidos, considera também que a utilização de polieletrólitos aumenta

consideravelmente o rendimento desta etapa no tratamento (SHREVE; BRINK, 1997). No tratamento de efluentes da CMPC esta condição não apresenta vantagens, do ponto de vista econômico na condução da ETE, pois, os decantadores primários por serem de grande capacidade em sedimentar substância com a força da gravidade e o baixo escoamento da parte líquida, são fatores que garantem um bom desempenho desta etapa.

O lodo gerado nesta etapa é removido por bombas de deslocamento positivo para o sistema de adensamento.

Nesta etapa ainda existe a possibilidade de desviar o efluente para uma lagoa de emergência para o caso dos efluentes não apresentarem condições de tratamento. Posteriormente, este efluente é gradativamente incorporado ao processo inicial da ETE.

A temperatura dos efluentes primários é continuamente monitorada e controlada em trocadores de calor e em uma torre de resfriamento. O resfriamento do efluente em trocadores de calor tipo placa é realizado com água bruta (sem tratamento químico, apenas gradeada e peneirada) e com água quimicamente tratada, que é reaproveitada pelo processo de produção de celulose e papel. A torre de resfriamento auxilia na redução da temperatura de aproximadamente 60°C para 37°C (temperatura ideal para o tratamento biológico). O uso da torre de resfriamento para a redução de temperatura após a decantação primária apresenta vantagens em relação ao uso dos trocadores de calor. Pois, a torre de resfriamento utiliza o ar atmosférico, que é soprado por ventiladores, contra o fluxo de efluente aquecido, que, através de recheios específicos, para torres de resfriamento, espalha o fluxo de efluente na forma de gotas que entram em contato com o ar atmosférico, reduzindo a temperatura do efluente primário, com um consumo menor de energia e ainda, reduzindo a captação de água.

No tratamento primário, existe ainda, duas lagoas, uma de sedimentação e outra de homogeneização que promovem a estabilização de cargas (DQO e DBO), pH e temperatura, fundamentais para o bom rendimento do tratamento secundário. Estas duas lagoas, através da variação de nível, funcionam como amortecedores para os choques de vazão, estabilizando assim o volume de efluente fornecido ao reator biológico.

2.4.3 Tratamento secundário

Para Degrémont (1979), a depuração biológica aeróbia de efluentes consiste em desenvolver uma cultura de bactérias reunidas na forma de flocos, que por reações físico-químicas, retêm as contaminações orgânicas, alimentando-se delas, onde os flocos formados serão removidos por decantação.

De acordo com Silva e Carvalho (2008), é nesta etapa que ocorre a remoção da matéria orgânica, por meio de reações bioquímicas, onde os processos aeróbios simulam o processo natural de decomposição. O controle das condições do efluente que está sendo alimentado ao Reator Biológico é constantemente monitorada por análises de cor, turbidez, DQO e DBO₅; o fluxo, a temperatura e o pH do efluente também é monitorado, conforme o ANEXO G.

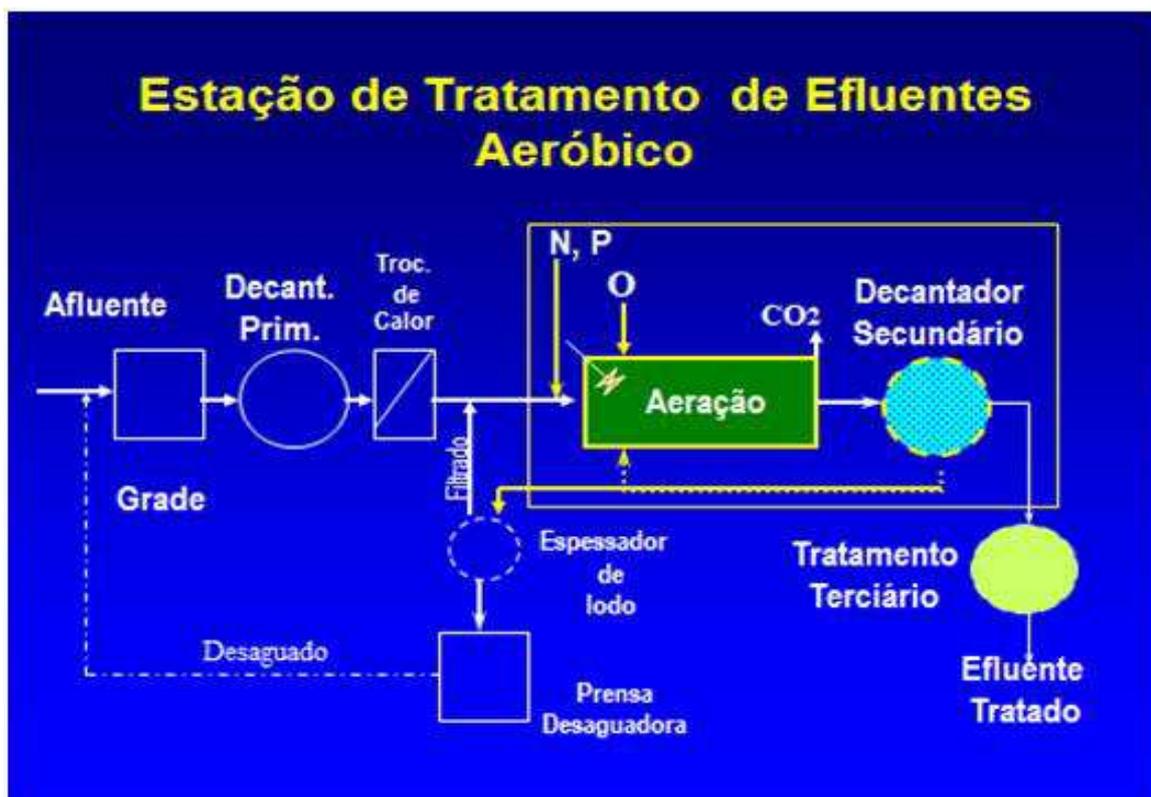
Na CMPC, o reator biológico, utilizado na degradação da matéria orgânica, possui suas condições controladas como: temperatura, nutrientes (nitrogênio, obtido a partir da ureia e fósforo, obtido do ácido fosfórico). O reator biológico também é pressurizado com oxigênio de elevado grau de pureza. Isto favorece a formação de flocos que serão decantados nos decantadores secundários a montante do reator e reduz o tempo necessário para a decomposição da matéria orgânica.

Para López et al. (2008), a estabilização dos parâmetros acima citados são fundamentais para o melhor rendimento desta etapa, que possui a capacidade de reduzir além da DBO, também o DQO. Fator fundamental para a próxima etapa (tratamento físico-químico), que resultará em uma dosagem menor tanto de coagulante quanto de floculante. O mesmo autor considera que para um perfeito equilíbrio no sistema biológico a recirculação da massa de microrganismo para a entrada do reator biológico deva ser o máximo possível, pois o maior contato das bactérias com as condições ideais de desenvolvimento e sobrevivência encontra-se dentro do reator, isto aumenta a eficiência do tratamento secundário. De acordo com as informações no ANEXO H, é possível monitorar as condições de operação do sistema secundário, prevendo-se desta forma, as condições para dosagens de produtos químicos no tratamento terciário.

Companhias produtoras de oxigênio desenvolveram processos para acelerar o tratamento aeróbio, entre elas a Union Carbide, com o sistema Unox, a Air Products and Chemicals, com o sistema Oases, a FMC, com o sistema Maron. Todos estes processos visam à aceleração de reações bioquímicas e a redução do

espaço para a instalação do sistema biológico (SHREVE; BRINK, 1997). A Figura 8 ilustra as principais etapas de uma ETE onde a etapa de tratamento secundário compreende um reator biológico (sistema Unox), onde, a dosagem de uréia como fonte de nitrogênio, o ácido fosfórico como fonte de fósforo, aliada a dosagem de oxigênio puro, propiciam as condições ideais para o desenvolvimento de uma cultura biológica, necessária à degradação da matéria orgânica presente no efluente que nestas condições libera para a atmosfera, através de um “vent”, principalmente, o gás CO_2 . O decantador secundário é o sistema que promove a separação do lodo biológico do efluente através da decantação, pois, normalmente, a cultura biológica, formada por flocos de bactérias que possuem uma densidade superior a do efluente.

Figura 8 – Fluxograma de uma ETE com Tratamento Primário, Secundário e Terciário



Fonte: SILVA C. M., 2001.

2.4.4 Tratamento Terciário

Segundo Von Sperling (1996), a remoção de poluentes específicos ou remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário como o resíduo de nutrientes do sistema secundário, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes, originando a formação da cor, turbidez e manutenção da DQO elevada do meio, são reduzidos por reações físico-químicas, através dos princípios da coagulação e floculação. O ANEXO I mostra os valores dos parâmetros reduzidos no tratamento terciário.

Os principais coagulantes, segundo Degrémont (1979), utilizados no tratamento de águas residuais são sais de ferro e alumínio combinados com polieletrólitos, catiônicos ou aniônicos, dependendo da configuração dos íons presentes neste efluente. O mesmo autor cita, ainda que o sulfato de alumínio é o agente coagulante mais empregado devido ao seu baixo custo e boa reatividade no meio; o cloreto férrico é um coagulante alternativo com boa aplicabilidade e capacidade de atender as normas ambientais, porém, devido a redução do pH durante o processo de coagulação, se faz necessário o uso de grandes quantidades de álcalis para a correção do pH para uma faixa próximo do neutro; o sulfato ferroso oxidado é uma mistura de sulfato ferroso e cloro que possui uma ação específica em casos de uma DQO recalcitrante difícil de ser removida com os coagulantes anteriores.

Apesar do preço maior do PAC em relação ao sulfato de alumínio, o PAC apresenta um menor custo, pela dosagem menor e ou eliminação de outros insumos como a cal ou hidróxido de sódio (CONSTANTINO; YAMAMURA, 2009). O PAC atua melhor como agente coagulante por promover coagulação em qualquer faixa de pH, é mais eficiente na remoção de colóides, onde o menor gasto de reagentes leva a uma geração menor de resíduos (PRATI et al., 2005).

O custo médio com o coagulante sulfato de alumínio na ETE, da empresa estudada, entre 2011 e 2012 ficou em patamares de US\$ 3.500.000,00/ano. Todo este custo apresenta oportunidades de trabalho de pesquisas para a redução tanto no consumo bem como na exploração de novos coagulantes que apresentem uma maior eficiência e conseqüentemente um custo menor. Entre estas alternativas o

PAC apresentou resultados semelhantes aos encontrados em laboratório (jar-test) durante o teste em planta.

Para Furtunato et al. (2008) o uso do PAC tem aumentado a frequência de uso, principalmente devido a vantagens globais no tratamento, podendo chegar até cinco vezes menor a dosagem quando comparado ao sulfato de alumínio, removendo com maior eficiência a cor e a turbidez.

Testes de equipamentos e principalmente de novas substâncias, devem ser avaliadas as resistências dos materiais a corrosão, efeitos da temperatura e variações de pressão. Estas avaliações vão evitar possíveis falhas mecânicas no processo. A corrosão e a erosão química são fatores que causam a deterioração de tubulações e rotores de bombas. Estes contratempos podem ser minimizados através da utilização de novos materiais resistentes a ataques químicos. O uso de polímeros orgânicos, resinas e plásticos são utilizados ora na confecção, ora em revestimentos de equipamentos para o contato com substâncias corrosivas (SHEREVE; BRINK, 1997).

Para Silva e Carvalho (2008), os coagulantes clorados apresentam a desvantagem da corrosão nos equipamentos enquanto que o sulfato de alumínio possui uma pequena corrosividade comparado com estes coagulantes. Outra vantagem do uso de coagulantes clorados esta na maior capacidade de remoção de algas presentes em água.

A melhor indicação para a dosagem do coagulante ideal, para cada tipo de água ou efluente se dá após a realização de um jar-test (SILVA; CARVALHO, 2008). A Figura 8 indica quais são os principais produtos químicos utilizados nas etapas de tratamento de efluentes, onde, o tratamento terciário é a etapa de maior dependência do uso de produtos químicos, pois, as condições ideais destas reações químicas estão relacionadas desde o pH ideal de floculação até a concentração e dosagem adequada do coagulante, que em muitas vezes, o excesso de dosagem, afeta significativamente a qualidade do efluente tratado.

2.4.5 Tratamento e Manuseio de Lodos em uma ETE

A função do tratamento e manuseio de lodo esta em recolher todo o lodo gerado na estação de tratamento de efluentes e reduzir o volume de água para disposição em local adequado para iniciar o processo de compostagem.

Os lodos são gerados nos decantadores primários, na extração de lodo biológico em excesso e no tratamento terciário (lodo da precipitação química) (LIMA, 2005). De acordo com Silva, C. M. (2001), esta etapa do processo do tratamento de efluentes é composta por equipamentos como os espessadores de lodo e prensas desaguadoras. A CMPC utiliza ainda silos de lodo que servem de reservatório para o abastecimento de lodo para a disposição na área de compostagem.

2.5 O Uso de Coagulantes e a Redução da Geração de Lodo

A substituição de coagulantes tradicionais por novos coagulantes, não elimina o uso de um porcentual de auxiliares de floculação. O que esta consolidado é que estes novos coagulantes reduzem a geração de lodo, onde o custo maior do novo coagulante paga o investimento pois, o custo para o tratamento e deposição de resíduos sólidos é cada vez mais elevado (SILVA; CARVALHO, 2008).

2.6 Geração de resíduos para o meio ambiente

Existem vários caminhos para a não geração de resíduos, onde a avaliação de matérias primas, revisão dos processos de fabricação, perdas de material e energia sejam devidamente processados e utilizados como insumos em outras etapas do processo, resultando na redução dos índices de poluição (KIPERSTOK, 2002). A ecologia industrial, é a busca de um modelo natural de produção no reaproveitamento de recursos, atingindo o equilíbrio de ecossistemas através da reciclagem e pela circulação de matérias primas entre unidades produtivas, onde o que é considerado resíduo em etapa do processo é considerado matéria prima em outra etapa (TEIXEIRA, 2011; CRABBÉ et al., 2010).

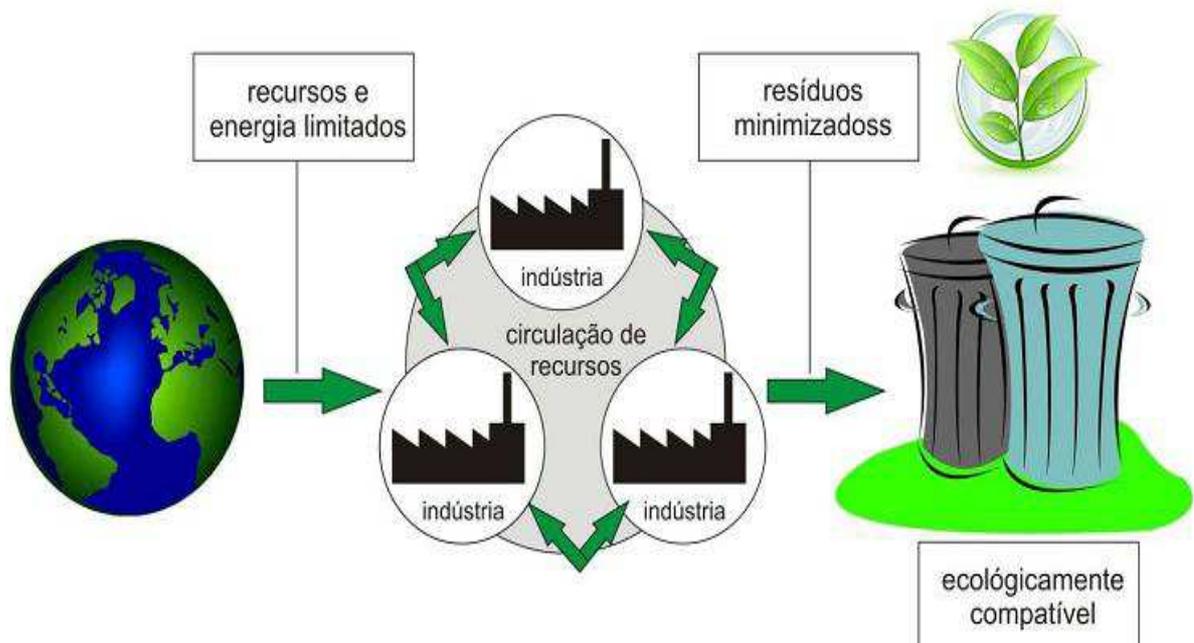
A substituição de produtos e substâncias tradicionais por novas soluções baseadas em testes e pesquisas dentro de um processo produtivo agregam valor ao produto, trazendo em contrapartida soluções ecologicamente corretas e

sustentáveis, diminuindo ou eliminando perdas de matéria para o meio ambiente. Uma empresa capaz de gerenciar seus resíduos de forma harmônica, entre os elementos que compõe o ecossistema, esta mais próximo da eco eficiência e da sustentabilidade do que daquela que somente mantém atividade ambientais que não atuam sobre os seus resíduos (VELLANI; RIBEIRO, 2009).

A linha divisória entre poluentes e produtos é exatamente a possibilidade de sua utilização pelo mercado. Pode-se concluir que a melhor forma de se controlar a poluição industrial é pela busca incessante da eficiência desses processos (GIORDANO, 2005).

O uso de Tecnologias Limpas consiste em adequar produtos, serviços e processos de transformações de matérias primas em um processo produtivo onde o impacto ambiental seja minimizado por uma tecnologia onde as práticas e atitudes tenham como fim a prevenção da poluição conforme a Figura 9 (TEIXEIRA, 2005).

Figura 9 – Processo de Tecnologias Limpas



Fonte: TEIXEIRA, 2005.

Entender que processos produtivos tendem a uma geração de resíduos para o meio ambiente, os empreendimentos devem obedecer a uma sequência lógica e natural de providências de acordo com o Quadro 2 (COUTINHO et al., 2009).

Para todos os resíduos gerados em um processo produtivo é necessária uma ênfase especial para os impactos ambientais, destacando as vantagens, desvantagens, pontos fracos e as opções para o uso do resíduo, entendendo que as possibilidades devem estar dentro de uma ampla gama de utilizações, acompanhadas de estudos e pesquisas que resultam na minimização de impactos, aumentando a conservação de recursos naturais (FERREIRA et al., 2003).

Quadro 2 – Sequências de providencias para o controle da geração de resíduos

REDUÇÃO NA FONTE	Consiste na prevenção da geração de resíduos, através do uso de matérias primas menos tóxica e ou mudanças no processo.
MINIMIZAÇÃO	Reduzir a geração de resíduos através de modificações no processo produtivo ou pela adoção de tecnologias limpas, mais modernas, que eliminem a geração de materiais tóxicos.
REPROCESSAMENTO	Transformar resíduos novamente em matérias primas.
REUTILIZAÇÃO	Utilizar os resíduos gerados por uma indústria como matéria prima para outra indústria.
SEPARAÇÃO	Separar as substâncias tóxicas das não tóxicas, reduzindo o volume total de resíduos a ser tratado ou disposto de forma controlada.
PROCESSAMENTO	Utilizar processos físicos, químicos ou biológicos para tornar o resíduo menos perigoso ou inerte, possibilitando a sua utilização como material reciclável.
INCINERAÇÃO	Nesta etapa deve se levar em conta o correto tratamento dos gases e a disposição adequada de cinzas resultantes.
DISPOSIÇÃO	Os resíduos devem ser dispostos em locais apropriados, projetados e monitorados de forma a assegurar que no futuro venham a contaminar o meio ambiente.

Fonte: Apostila de gerenciamento de resíduos sólidos industriais (COUTINHO et al., 2009).

2.7 Características e Usos do Lodo Gerado em Uma ETE Para Aplicação em Solos

Os metais pesados provenientes do tratamento de despejos industriais e de esgotos domésticos, tem sido motivo de preocupação, quando utilizados em solos agrícolas e florestais, devido a mobilidade e interação de metais pesados com microrganismos presentes no solo provocados por fatores como pH, alcalinidade e oxirredução, alterando assim o metabolismo e as características biológicas do solo.

O mesmo autor, cita que apesar da limitação de estudos no Brasil que tratem do comportamento de metais pesados nos solos e suas interações com plantas e animais, em testes laboratoriais em 1994 em quatro tipos diferentes de solos com dois valores diferentes de pH, onde foram adicionados metais como cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco em soluções. Ao avaliar o lixiviado destes solos, constatou-se que óxidos de ferro e de alumínio inibem a passagem de metais pesados para os solos que estão sujeitos à lixiviação e a absorção pelas plantas (MATIAZZO et al., 2000).

Para estes aspectos citados, Andreoli et al. (2001), afirma que a correção do pH do lodo de esgoto sanitário para valores próximo ao neutro, não interfere no processo de compostagem que normalmente se desenvolve muito bem com misturas de resíduos. Nos ensaios laboratoriais, verificou-se que o resíduo de celulose foi eficaz no aumento de pH, apresentando grande possibilidade de uso como um corretivo agrícola, onde a acidez dos solos no Brasil é um grande problema a ser equacionado (COSTA et al., 2002).

Muito deve ser realizado. No momento apenas uma fração está sendo reciclada. Os nutrientes podem permanecer armazenados nos resíduos, podendo tornar-se passivos ambientais, ou quando as condições não forem adequadas, retornarem ao solo (SERRAT et al., 2010, p. 7).

3 EXPERIMENTAL

Os equipamentos e reagentes utilizados nos estudos de bancada e nos estudos em planta industrial seguem descritos nos itens a seguir.

Os parâmetros das análises realizadas nos testes em bancada (a serem alcançados) foram estipulados de acordo com os parâmetros legislados e exigidos pelo órgão ambiental FEPAM (2012), expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros legislados pela FEPAM para o efluente tratado

Parâmetro	Padrão
Cloretos (ton dia ⁻¹)	28,8 max
DQO (mg L ⁻¹)	145 max
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	36 max
Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	45 max
pH	6,0 – 8,5
Temperatura (°C)	40 max
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	9,0 max
Sulfetos (mg L ⁻¹)	0,18 max
Fenóis (mg L ⁻¹)	0,05 max
Vazão (m ³ dia ⁻¹)	46.400 max
AOX (kg tAD ⁻¹)	0,13 max

Fonte: <http://www.celuloseriogradense.com.br/responsabilidade/meio-ambiente-industrial>.

Todos os parâmetros expressos na Tabela 1 estão relacionados ao modelo do empreendimento atual. Para a ampliação do empreendimento, está em estudo, novos níveis de concentrações e cargas de substâncias e ou elementos presentes no efluente tratado, tendo em vista que a vazão média de efluente tratado ao estuário do Guaíba tende a aumentar. Este aumento de vazão de efluente não segue a mesma proporção, com relação ao aumento de produção de celulose e papel da unidade fabril, devido às inovações no projeto da ampliação do empreendimento, aliado às novas tecnologias de processos de recuperação e reciclagem de águas. O uso de torres de resfriamento com circuito fechado, projetado na ampliação do empreendimento, possibilitou a redução no consumo da captação de água do rio. As torres de resfriamento utilizam a água tratada e desta forma apresentam uma maior eficiência na redução de temperatura, esta projetada

um sistema de reposição da água tratada nas torres de resfriamento, porém, é um consumo pequeno quando comparado ao sistema de resfriamento antigo, quando a água apenas trocava calor com os equipamentos para posterior descarte no rio. Na geração de efluente tratado, o aumento de fluxo projetado é de $102\ 000\ \text{m}^3\ \text{dia}^{-1}$. A geração de efluente atual é de $46\ 400\ \text{m}^3\ \text{dia}^{-1}$ isto representa apenas um aumento de aproximadamente 2,2 vezes no fluxo de efluente enquanto que a produção de celulose e papel atualmente é de $1350\ \text{ton}\ \text{dia}^{-1}$ aumenta para $4500\ \text{ton}\ \text{dia}^{-1}$, isto representa um aumento de produção de 3,3 vezes.

3.1 Estudo 1: Testes de Bancada

3.1.1 Materiais

Durante os ensaios em bancada foram utilizados os seguintes equipamentos: i) Aparelho de Jar-Test da marca Policontrol (floccontrol II) com uma velocidade de agitação ente 20 e 100 rpm (de acordo com procedimento padrão para análise de jar-test); ii) pHmetro da Mettler Toledo utilizado no controle das reações de floculação e ajustes conforme especificações previamente estipuladas; iii) Turbidímetro da marca HACH – 2100 P; iv). Espectrofotômetro marca Merck – NOVA 60; v) Centrifuga marca SISLAB / twister para a determinação de cor e turbidez real; vi) Bomba de vácuo marca TECNA – TE - 058 e filtro milipore com especificação AP40 para a determinação de sólidos suspensos totais; vii) Deionizador marca PERMUTION; viii) Balança analítica da Mettler Toledo - AB 204 com precisão de Max: 210 g; Min: 10 g; e = 1 mg e d = 0,1 mg e ix) Condutivímetro marca Inolab para as determinações de Condutividade.

3.1.2 Reagentes

Foram utilizados reagentes como: ácido sulfúrico PA, preparado em soluções diluídas a $100\ \text{g}\ \text{L}^{-1}$, hidróxido de sódio diluído a $100\ \text{g}\ \text{L}^{-1}$, para ajustes e correções de pH; solução tampão pH 7,0 e 4,0; solução de polieletrólito da FLOERGER (FAXON AN 905[®]), produto em uso atualmente na ETE estudada, preparado em solução à $0,1\ \text{g}\ \text{L}^{-1}$ a partir do produto na forma de pó; soluções de sulfato de

alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso oxidado e PAC, fornecidos pela empresa Guaíba Química, sendo preparadas em uma concentração de 100 g L⁻¹.

3.1.3 Metodologia

As análises para determinações de DQO e DBO₅ foram realizadas pelo laboratório industrial seguindo (APHA, 1998). O pH dos ensaios propostos foi monitorado com pH metro. As determinações de cor aparente foram medidas no espectrofotômetro, utilizando a cubeta de quartzo de 50 mL. Para as determinações de turbidez real e turbidez aparente foi utilizado o turbidímetro com a cubeta de 10 mL. As determinações de sólidos suspensos totais foram realizadas com o auxílio da bomba de vácuo em uma pressão negativa de 2,8 kgf/cm² aplicada sobre o filtro Millipore. A balança analítica foi utilizada para a obtenção dos pesos utilizados nas determinações mássicas. As análises de condutividade foram efetuadas no condutímetro citado acima. A temperatura foi medida com termômetro de vidro característico de laboratório.

3.1.3.1 Caracterização da Amostra de Efluente

A amostra de efluente usada para a caracterização no laboratório da ETE, foi coletada no transbordo do decantador secundário em um recipiente polietileno de 20 L. Para cada etapa da pesquisa, era coletada uma amostra de 20 L e a partir deste volume, realizava-se a caracterização da amostra. Imediatamente após a coleta, era iniciado o jar-test com as dosagens propostas para os ensaios com a finalidade de manter a temperatura da amostra o mais próximo da encontrada no tanque de mistura de efluentes da ETE. Para cada ensaio proposto na pesquisa, era necessária uma nova coleta diária de amostra de efluente e uma nova caracterização, pois o efluente estudado mudava constantemente as características devido aos ritmos de produção da fábrica.

3.1.3.2 Ensaio de Jar-Test

Os coagulantes selecionados para a realização dos ensaios nos estudos de bancada, foram avaliados de acordo com a disponibilidade de fornecimento em grande escala, constituição química, uso tradicional em processos de tratamento de efluentes, custos de produção, matéria prima disponível e a possibilidade de uso de subprodutos da produção de celulose e papel na constituição do coagulante. Levou-se em conta a pesquisa em apostilas (SAMAE, 2008), dissertações (PAVANELLI, 2001), livros (SHREVE; BRINK, 1997), revistas (CLESCERI et al., 1998), (FORTUNATO et al., 2008) e artigos (GUEDES et al., 2004).

Os ensaios seguiram o procedimento geral para jar-test, onde a amostra de efluente foi homogeneizada em um recipiente polietileno de 20 L. Com auxílio de uma proveta foi transferido um volume de 1000 mL para os béqueres. Foi iniciada a agitação rápida a 120 rpm (SILVA, E. S. et al., 2007).

O primeiro volume a ser adicionado foi da solução de coagulante em cada béquer, seguindo a proposta de dosagem pré-definida para cada coagulante. A correção de pH (quando necessário) em cada béquer foi sempre após a adição do coagulante. Para a elevação do pH foi utilizado hidróxido de sódio com 100 g L^{-1} e para a redução de pH foi utilizado ácido sulfúrico com a mesma concentração (100 g L^{-1}). A última substância a ser adicionada foi o floculante (polímero).

Após as dosagens de todos os produtos químicos, manteve-se por 3 minutos em agitação rápida de 120 rpm, uma agitação média com 60 rpm por 2 minutos e finalmente, uma agitação lenta com 20 rpm por 1 min. Após o processo de agitação, foi deixado em decantação por 10 minutos, em seguida foram coletadas amostras para as determinações de turbidez, cor aparente e DQO, estas determinações orientaram as avaliações dos coagulantes, onde, uma turbidez baixa, nem sempre, esta relacionada com uma cor aparente baixa, da mesma forma, a análise de DQO do efluente da indústria de celulose e papel, tem mostrado, através de diversos ensaios práticos, que em muitos casos, uma turbidez e uma cor baixa de um efluente tratado, não terá necessariamente um DQO com valor baixo. Desta forma, não há uma relação direta entre estas determinações, quando utilizadas para uma avaliação do efluente tratado.

Para a análise, com uma inclinação gradual do béquer, foi retirado o sobrenadante e transferido para outros béqueres de mesmo volume, tendo-se o

cuidado em não arrastar parte do lodo decantado durante as etapas de coagulação, floculação e decantação. Este procedimento se fez necessário para o ajuste de pH para 6,3 realizado com hidróxido de sódio sob agitação média (60 rpm) nas amostra com apenas o sobrenadante. A correção do pH diretamente no béquer da reação não foi possível pois, a coagulação e floculação ocorrem em pH's específicos. O pH estabelecido para os ensaios necessários às avaliações dos coagulantes, esta relacionado com a faixa de pH exigida pelo órgão ambiental, entre 6,0 e 8,5. Da mesma forma que a ETE é conduzida, em termos de controle de pH, o pH de 6,3 é considerado uma faixa segura para que o efluente não seja enviado ao rio com um pH abaixo da faixa legislada. Outra razão para manter o pH em 6,3 esta relacionado com a economia pois, para um pH maior, maior será a dosagem de hidróxido de sódio que é um produto químico de custo elevado, principalmente em uma ETE onde o fluxo médio de efluente tratado é de 30 000 L min⁻¹.

O volume extraído para cada béquer de ajuste do pH foi medido, caso contrário não teria como precisar a dosagem de acidificante ou alcalinizante necessário para acerto do pH da solução até 6,3.

Após a correção do pH, um volume de 10 mL de amostra foi coletado observando-se a inserção da pipeta em, aproximadamente, sete centímetros abaixo do nível da mostra no copo de béquer; estas amostras foram transferidas da pipeta para a cubeta apropriada de medição de cor aparente e turbidez.

Em recipientes apropriados foram disponibilizadas as amostras para as determinações das DQO's realizadas no laboratório industrial.

Para cada coagulante (sulfato de alumínio, PAC, sulfato ferroso oxidado e cloreto férrico) estudado no efluente, foram necessários diversos ensaios de jar-test para descobrir a dosagem adequada de cada coagulante no efluente deste tipo de indústria. Assim, sempre que se iniciava uma etapa de jar-test, era necessária uma nova coleta de amostra de efluente bruto e a devida caracterização desta amostra para orientar a dosagem de cada coagulante. Em muitos casos, não se chegou a resultados coerentes, algumas vezes por erro de concentração de reagentes, erros de análises, calibração de equipamentos e falhas no equipamento de jar-test. Porém, estes ensaios, orientaram, juntamente com a literatura pesquisada, as dosagens necessárias dos coagulantes: sulfato ferroso oxidado, cloreto férrico e PAC, a serem comparadas com o sulfato de alumínio em uso na ETE.

3.1.4 Avaliação econômica do uso do PAC no tratamento de efluentes do processo de produção de celulose e papel

Para que a indústria de Celulose e Papel seja competitiva, precisa produzir a maioria de seus insumos químicos, entre eles: dióxido de cloro para o processo de branqueamento da celulose; hipoclorito de sódio utilizado no tratamento da água de processo e como auxiliar no processo de branqueamento; hidróxido de sódio para correções de pH e como alcalinizante em todas as etapas do processo e ácido clorídrico utilizado na etapa ácida do branqueamento da celulose. Esta condição estratégica leva ao caminho indicado por Fleury et al (1993), que determina que a competitividade esta baseada na capacidade de examinar decisões, implementando gerências de estratégias operacionais, para idealizar produtos que atendam as necessidades dos clientes

Para a produção dos insumos químicos mencionados acima, utiliza-se o sal marinho que através do processo eletroquímico, em células eletrolíticas, obtêm-se os elementos básicos de sua constituição (Na^+ e Cl^-). No processo eletroquímico, a água entra na formação das soluções e desta forma, é a substância que fornece o íon OH^- necessário para a formação do hidróxido de sódio e conseqüente liberação do gás hidrogênio, que também é comercializado junto a empresa fornecedora do oxigênio, necessário ao tratamento biológico e ainda no processo de branqueamento de celulose. Os processos eletroquímicos, conduzidos por variação de energia, pressão e temperatura, formam os insumos mencionados.

O sódio (Na) é utilizado na produção de hidróxido de sódio. Esta substância além de ser fundamental ao processo de produção de celulose e papel encontra um mercado consumidor em constante crescimento em todos os segmentos produtivos, alcançando assim, um excelente preço de mercado.

O cloro (Cl_2), apesar do uso em diferentes substâncias (hipoclorito de sódio, dióxido de cloro e ácido clorídrico) para a produção de celulose e papel, não encontra uma boa colocação na cadeia produtiva da empresa, tornando-se assim, um excedente para ser utilizado na produção de outros produtos. Outro fator a ser considerado, está no processo da transformação eletroquímica do sal marinho, pois, para a obtenção de hidróxido de sódio, é produzido também o cloro (Cl_2) que necessita de uma maior utilização em todos os processos produtivos (FERNANDES et al., 2009). Desta forma, para se obter uma maior produção de hidróxido de sódio,

é necessário também uma maior produção de cloro. Com vistas ao processo de expansão do empreendimento, faz-se urgente encontrar uma saída economicamente viável para a produção sustentável de cloro e soda.

3.1.5 Teste para determinar a ação corrosiva do PAC em equipamentos de aço inox mediante ensaio de imersão

Para a dosagem do PAC, no teste em planta da ETE é necessário substituir equipamentos como: bombas dosadoras, válvulas e tubulações. Estas modificações devem seguir as indicações verificadas na análise de testes de corrosão em equipamentos confeccionados em aço inox. O teste de corrosão baseou-se nas recomendações da NACE STANDARD TM-01-69.

Como a comparação da ação corrosiva se dá entre o sulfato de alumínio e o PAC, o teste de laboratório resumiu-se em preparar quatro corpos de prova de aço inox, sendo que dois corpos de prova, após devidamente limpos foram levados a uma estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 60 minutos e depois resfriados em dessecador apropriado, pesados em balança de precisão e imersos em 500 mL de uma solução de sulfato de alumínio com uma concentração de 350 g L^{-1} . O mesmo procedimento foi realizado para o PAC, utilizando-se também uma solução com a concentração de 350 g L^{-1} . Os corpos de prova foram deixados imersos nas soluções por um período de 120 horas.

Depois de decorrido às 120 horas, providenciou-se uma limpeza nos corpos de prova, estes foram novamente levados à estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 60 minutos e depois resfriados em dessecador apropriado. Após os corpos de prova foram pesados para verificar a diferença de massa.

3.2 Estudo 2: Testes em planta industrial

Com o objetivo de avaliar o desempenho do PAC em planta e obter informações de desempenho em condições de operação e com isso refinar o estudo de viabilidade econômica realizada durante os testes de bancada, o teste em planta industrial iniciou no dia 27/11/2012 com duração de aproximadamente um mês.

O PAC foi adicionado no transbordo dos decantadores secundários, ou seja, no mesmo ponto onde ocorre a dosagem do sulfato de alumínio, quando este

coagulante esta em uso. Para obter um controle mais apurado na ETE, a frequência de análise de cor aparente e turbidez do tanque de mistura e efluente tratado foram duplicados. A análise de DQO manteve a mesma frequência (uma vez a cada 8h) devido a sua complexidade e demora na realização da análise quando comparada as análises de cor e turbidez.

Uma planilha de controle foi criada exclusivamente para o teste para um melhor controle do processo como: balanços de massa, análises e fluxos das soluções. Os operadores da ETE providenciaram os registros na planilha de teste.

As análises de cor aparente e turbidez no tanque de mistura e no efluente tratado tiveram sua frequência alterada para a cada 2h durante o período do teste, quando o normal é a cada 4h. Isto foi necessário para um melhor controle das variações dos parâmetros de cor aparente, turbidez e DQO. O menor intervalo entre as análises possibilitou as correções nas dosagens do coagulante em teste.

3.2.1 Determinação da dosagem inicial de PAC na ETE

Para iniciar a dosagem de PAC na ETE, foi levada em consideração a dosagem de sulfato de alumínio necessária para manter a qualidade do efluente tratado no momento, procurando seguir uma relação de 2,5 partes de sulfato de alumínio para uma de PAC (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA, 2005). Desta forma, ao iniciar o teste em planta com o PAC na ETE, a dosagem foi ajustada para 400 ppm. A dosagem de sulfato de alumínio praticada na ETET no momento do inicio do teste era de 730 ppm, isto dá uma relação de 1,825 partes de sulfato de alumínio para uma parte de PAC. A relação menor de dosagem foi utilizada como margem de segurança na manutenção dos parâmetros legislados e devido ao residual de sulfato de alumínio presente em todas as etapas da ETE. Este residual de sulfato de alumínio na ETE misturado ao PAC interfere no processo de coagulação gerando uma quantidade maior de pequenos coágulos que decantam lentamente, aumentando a quantidade de sólidos suspensos e conseqüentemente a cor aparente, turbidez e DQO. Após duas horas, com a dosagem de PAC em 400 ppm, esta dosagem foi reduzida para 350 ppm, após oito horas reduzida para 330 ppm e mantida por quatro horas. A dosagem de 300 ppm de PAC já está próxima a relação de 2,5 após dezesseis horas do inicio do teste (ANEXO J).

3.2.2 Avaliação dos parâmetros verificados durante o teste em planta

A avaliação dos resultados foi realizada através dos seguintes indicadores:

- Monitoramento do índice de eficiência da ETE através da DQO removida de acordo com a fórmula de cálculo:

$$\text{Eficiência} = \frac{[\text{t DQO removida}]}{[\text{t PAC}]}$$

Obs1. A eficiência está relacionada com a capacidade de remoção de DQO pelo coagulante. Assim, quanto maior a eficiência, maior é a capacidade de remoção de DQO pelo coagulante.

Obs2. t DQO removida é a DQO removida em toneladas no DQO presente no transbordo dos decantadores secundários.

- Consumo específico (kg coagulante/ADMT);
- Geração de lodo no tratamento de efluentes (t/d. b.s.);
- Simulação do custo mensal a partir do preço praticado durante o teste (R\$/mês).

4 RESULTADOS

4.1 Estudo 1 - Testes de Bancada

4.1.1 Caracterização do efluente

Os resultados obtidos nas análises de caracterização do efluente são apresentados na Tabela 2. Estes resultados foram utilizados como parâmetros para o desenvolvimento e avaliação dos testes realizados com os diferentes coagulantes, sendo que normalmente os resultados desta tabela orientam as dosagens adequadas do coagulante em uso na ETE.

Tabela 2 – Características físico-químicas do efluente no transbordo do Decantador Secundário

VARIÁVEIS	VALORES (30-05-2012)
Cor Aparente (mgL^{-1} de PtCo)	1160
Turbidez (NTU)	54,1
Sólidos Suspensos Totais (mgL^{-1})	62
Condutividade (μcm^{-2})	3300
DQO (mgL^{-1})	371
DBO ₅ (mgL^{-1})	17
pH	6,4
Temperatura (°C)	37

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Resultados imediatos como a turbidez, cor aparente e real, pH, temperatura e condutividade são fundamentais para o início dos experimentos em um *jar test*. As análises de DQO e DBO, demandam tempo para a execução, portanto, os resultados destas análises foram avaliados após a observação dos resultados de cor e turbidez.

4.1.2 Avaliação dos coagulantes

Tabela 3 – Escolha do melhor coagulante

AVALIAÇÃO TÉCNICA DE COAGULANTES									
ENSAIO	COAGULANTE	COAG.	pH	NaOH	Polim.	pH	COR	TURB.	DQO
	TIPO	ppm	FLOC.	ppm (pHf)	ppm	FINAL	APAR.		ppm
43	Sulf de Al.	380	5,78	33,6	1	6,3	220	11,1	123,5
44	PAC	80	5,83	29,4	1	6,3	129	3,99	85,6
45	Sulf. Fer. Oxid.	180	5,39	31,5	1	6,3	940	56,7	137
46	Clor. Férrico	210	5,1	59,5	1	6,3	98	14,4	116,8

Fonte: Produzida pelo autor, 2013.

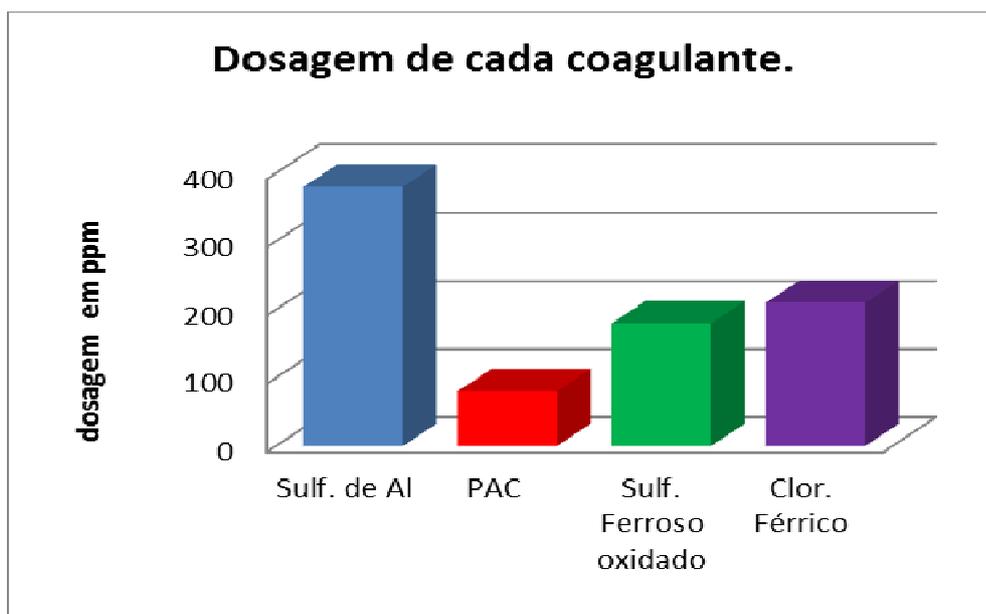
Para os ensaios acima, tomou-se como base a dosagem de Sulfato de Alumínio que estava sendo aplicada na ETE naquele momento. Para as dosagens dos demais coagulantes, os ensaios realizados previamente (ANEXO M), orientaram as dosagens a serem aplicadas.

De acordo com a Tabela 3, verifica-se uma redução considerável nos resultados de cor, turbidez e DQO para os coagulantes: sulfato de alumínio, PAC e Cloreto Férrico. Nestes ensaios todos apresentaram boa decantação e floculação. Porém, foi observado que a velocidade de decantação no ensaio (44) onde foi utilizado o PAC, o resultado foi superior aos demais coagulantes e isto se refletiu na turbidez. Esta observação esta de acordo com o que foi observado por Di Bernardo et al (2003), onde foi verificado que o PAC apresenta uma maior estabilidade de espécies hidrolisadas, quando comparado ao S.A, favorecendo a agregação das partículas em um tempo menor, obtendo-se assim, a mesma qualidade de água, porém com dosagens menores de coagulante.

O que fica evidente nos Gráficos 1, 2 e 3 é a deficiência de remoção de cor e redução da turbidez do efluente com o coagulante sulfato ferroso oxidado, frente aos demais coagulantes. Este resultado obtido vem de encontro com os experimentos realizados por Vieira (1981), onde a variação na faixa de pH, pode levar à formação de Fe^{3+} , aumentando o índice da cor da água após a correção de pH para valores abaixo de 6,5. Da mesma forma, Cadornin (2007) verificou que um aumento de pH

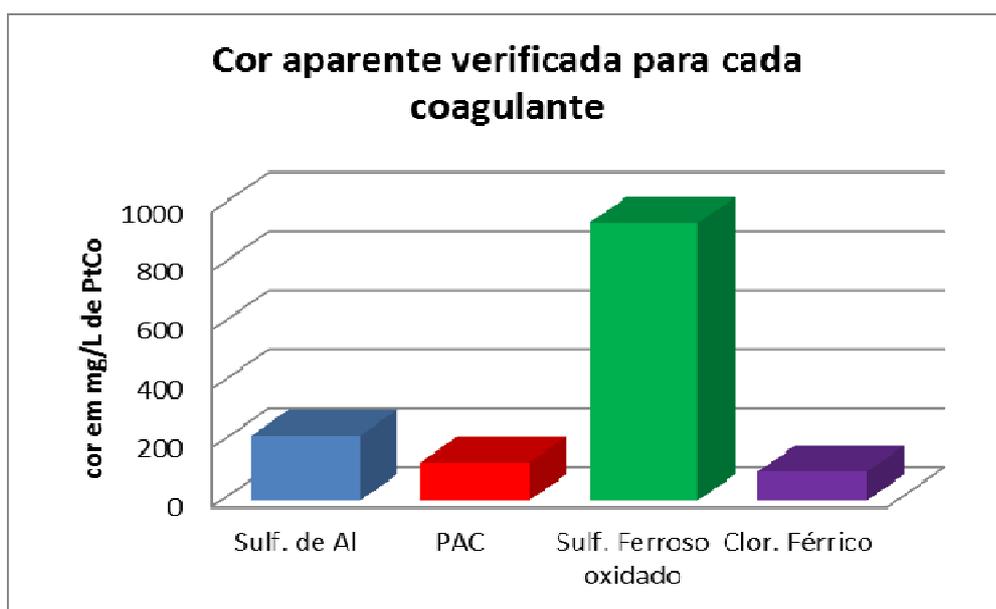
após o processo de coagulação, leva a formação de espécies poliméricas que tendem a cristalizar e a decantar lentamente devido a lixiviação progressiva do íon sulfato nas soluções com um pH maior que 4,5.

Gráfico 1 – Dosagens dos coagulantes em ppm no efluente



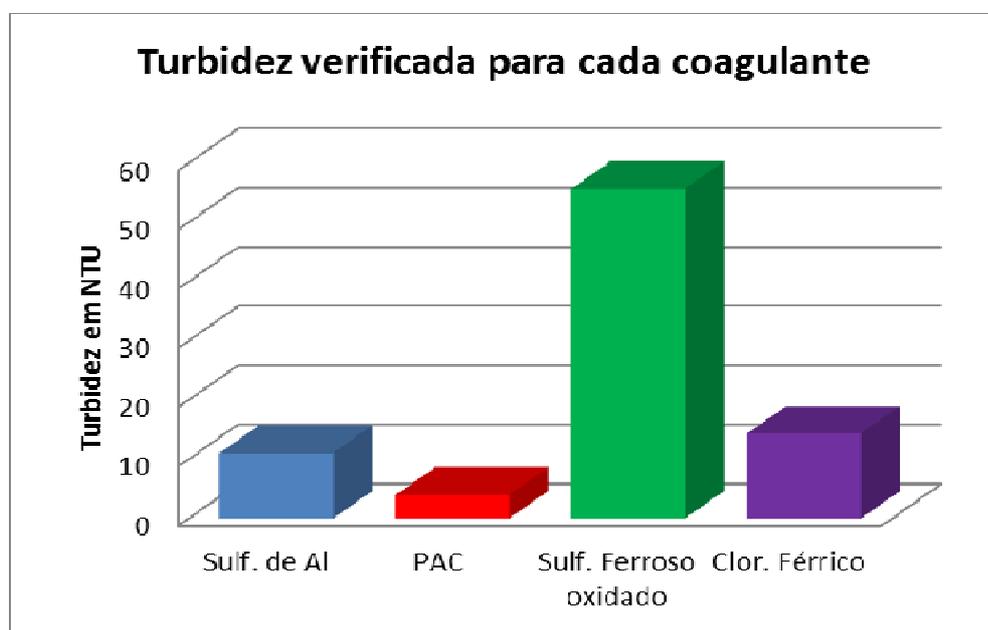
Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Gráfico 2 – Cor aparente do efluente tratado em mg L^{-1} verificada após a dosagem de cada coagulante



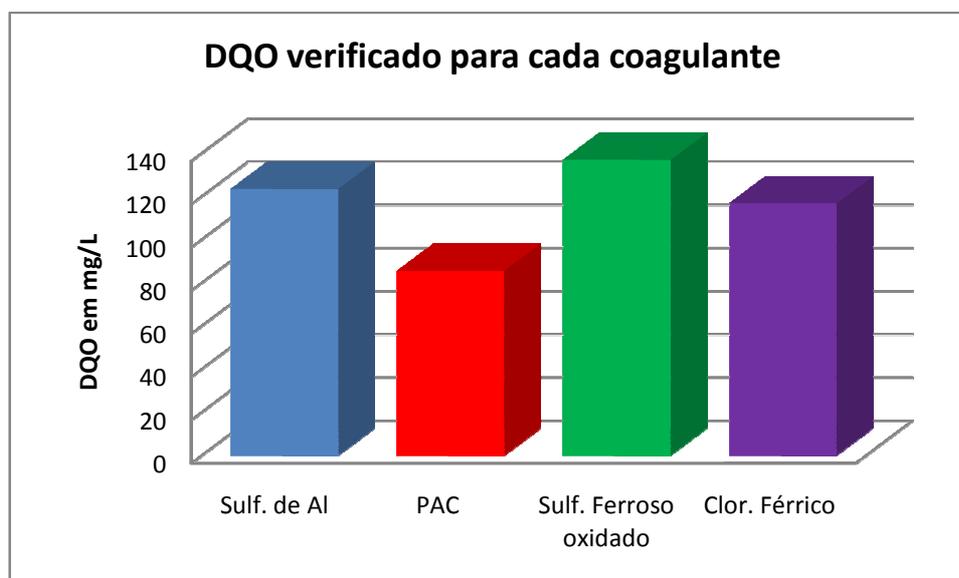
Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Gráfico 3 – Turbidez do efluente tratado em NTU verificada após a dosagem de cada coagulante



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Gráfico 4 – DQO do efluente tratado em ppm verificado após a dosagem dos coagulantes



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

O PAC foi o coagulante que apresentou praticamente os mesmos valores de qualidade de efluente tratado, quando comparado aos demais coagulantes, porém, com uma dosagem menor, de acordo com o Gráfico 1. Estes resultados contrastam

com os testes realizados por Shoenhal (2006), que ao analisar a eficiência do PAC em um efluente de abatedouro de aves, o coagulante não foi o mais eficiente quando comparado ao sulfato de alumínio. O Gráfico 4 indica a capacidade do PAC em reduzir a DQO final do efluente tratado.

4.1.3 Avaliação e comparação entre o S.A e PAC

Tabela 4 – Comparação entre o S.A. e PAC

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE SULFATO DE ALUMÍNIO E PAC E SUAS RESPECTIVAS DOSAGENS									
ENSAIO	COAGULANTE	COAG.	pH	NaOH	Polim.	pH	COR	TURB.	DQO
	TIPO	ppm	FLOC.	ppm (pHf)	ppm	FINAL	APAR.	APAR.	PPM
100	Sulf de Al.	800	5,75	10	1	6,3	130	3,11	100,7
101	Sulf. de Al.	700	5,9	6	1	6,3	251	13,7	127,8
102	PAC	386	6,12	0	1	6,3	159	2,61	123
103	PAC	343	6,2	0	1	6,3	176	3,49	126,3
104	PAC	300	6,25	0	1	6,3	227	7,18	135,3

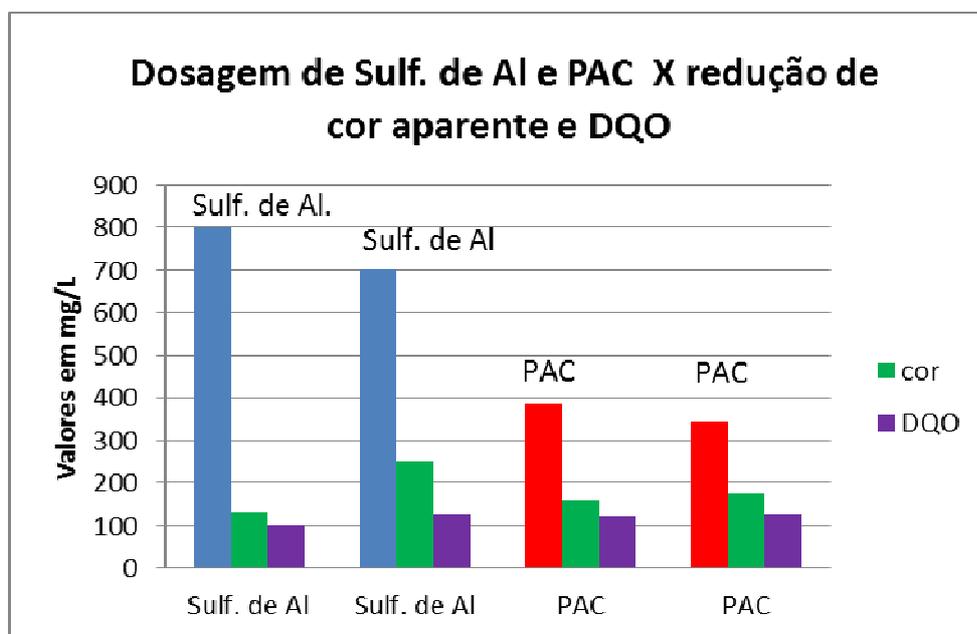
Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Na Tabela 4 continuou sendo levado em consideração à dosagem de Sulfato de Alumínio que estava sendo aplicada na planta naquele dia. Porém, como já havia sido determinado, o coagulante escolhido para a comparação com o S.A. foi o PAC, por apresentar a menor dosagem entre os demais coagulantes conforme verificado na Tabela 4 e no Gráfico 1.

A comparação dos resultados obtidos nos ensaios, apresentados na tabela 4, mostra um consumo de hidróxido de sódio (10 e 6 ppm) para a obtenção do pH final no efluente tratado no valor de 6,3 nos ensaios onde utilizou-se o S.A., estes resultados no consumo de álcali, também foram observados por Nunes (2004), em tratamento físico-químico de águas residuárias e industriais. Nos ensaios onde foi utilizado o PAC, o pH de floculação (6,12 a 6,25), após decorrido o tempo de decantação, não se fez necessária uma dosagem de hidróxido de sódio, vindo de encontro aos resultados obtidos por VICTORINO (2008), PAVANELLI (2001) e SRIVASTAVA (2005).

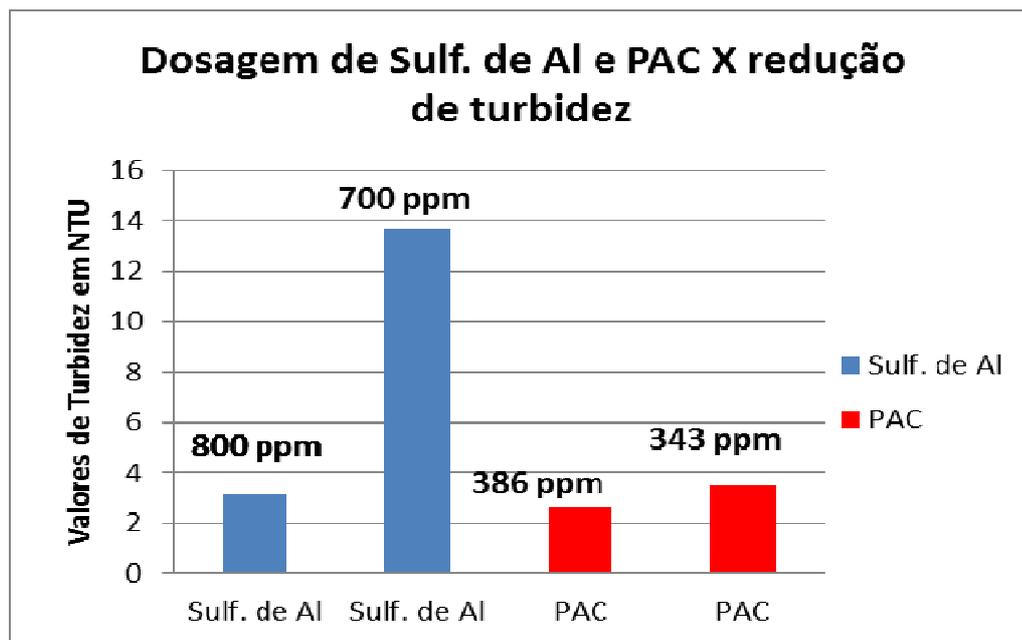
A menor geração da formação de ácidos durante o processo de coagulação com PAC aliada a capacidade de redução de cor e DQO, torna o uso do coagulante bastante vantajoso ao processo do tratamento de efluentes, pois, ocorre a redução de um insumo (NaOH) com alto valor agregado, reduzido o custo, minimizando os riscos de acidentes e reduzindo a quantidade de equipamentos operacionais. Na redução e ou eliminação do uso de hidróxido de sódio e ácido sulfúrico, ocorre a redução de manobras operacionais dos equipamentos que devido a vazamentos eventuais, podem expor os funcionários à situações de riscos de queimaduras químicas.

Gráfico 5 – Variação da dosagem de S.A e PAC e resultados de cor e DQO



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Gráfico 6 – Variação da dosagem de S.A e PAC e resultados de turbidez



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Os resultados verificados no Gráfico 5 mostram a correlação na variação da dosagem de sulfato de alumínio, comparada com a dosagem de PAC. Os resultados de cor, turbidez e DQO, seguem a mesma tendência apresentada na variação de dosagem dos coagulantes. Novamente, os valores de turbidez, verificados no Gráfico 6, que mostra uma turbidez com valores pequenos, pois, conforme comentário anterior, a busca de um valor de DQO abaixo de 145 mg L^{-1} , traz como consequência um valor baixo de turbidez devido a maior dosagem de coagulante necessária para manterá DQO do efluente tratado dentro do limite legislado

4.1.4 Geração de Lodo no Sistema Terciário Comparando a Dosagem de Sulfato de Alumínio com a Dosagem de PAC

A Tabela 5 avalia a massa de sólidos suspensos no efluente secundário sem a dosagem de coagulante, os sólidos gerados com a dosagem de S.A e os sólidos gerados com a dosagem de PAC. Os sólidos suspensos gerados com estas dosagens de coagulantes são avaliados com as dosagens proporcionais de S.A e PAC necessárias para a obtenção dos parâmetros de cor, turbidez e DQO.

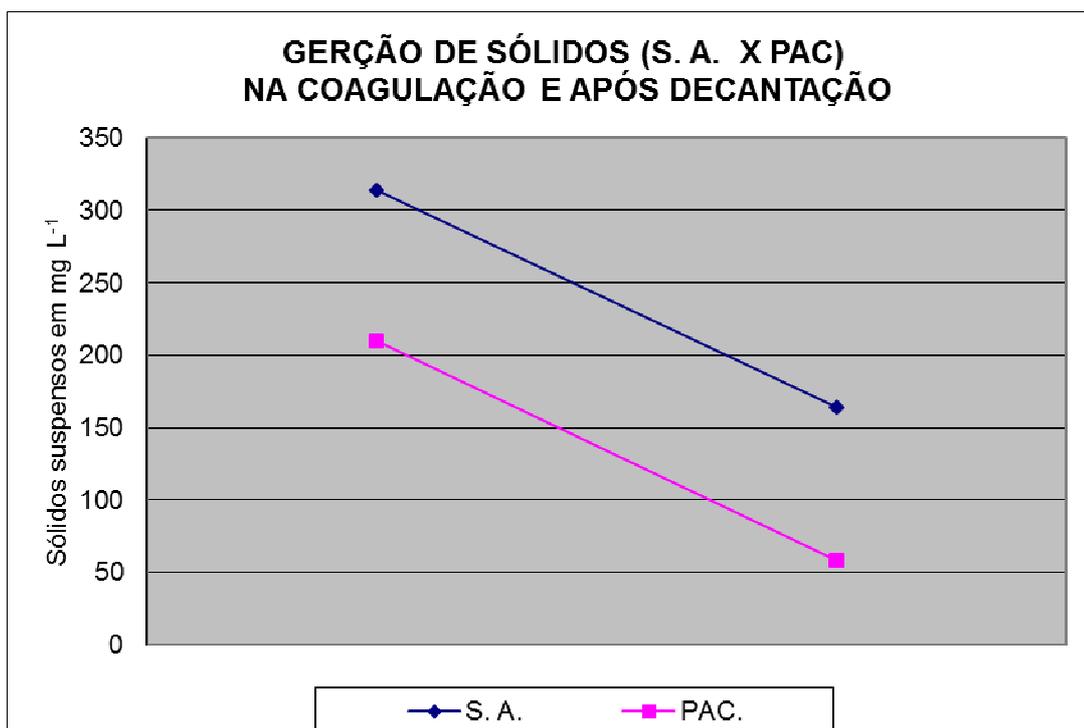
Tabela 5 – Avaliação da quantidade de sólidos gerados entre os coagulantes S.A e PAC

COAGULANTE	Agitação	Decantado	Gerados pela adição de coagulante	Redução de sólidos (%)
Tipo	Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	
Transbordo do Decantador Secundário	128		0	
S. A.	314	22	164	
PAC.	210	24	58	35,36

Fonte: Produzido pelo autor, 2012.

A massa de 128 mg L⁻¹ é a massa de sólidos em suspensão presente no efluente bruto do transbordo do decantador secundário, os valores de 314 e 210 mg L⁻¹, correspondem a massa de sólidos suspensos do efluente bruto com a massa de coagulante (sulfato de alumínio e PAC, respectivamente) necessária para o tratamento do efluente e sob agitação. Os valores de massa de 22 e 24 mg L⁻¹ foram obtidos após decorrido o tempo de decantação do efluente em análise. Pela diferença da massa obtida após o tempo de decantação e da massa obtida durante o tempo em que estava sob agitação as amostras de efluente, obteve-se o valor de 164 mg L⁻¹ de sólidos suspenso para o sulfato de alumínio e de 58 mg L⁻¹ para o PAC. Assim, obteve-se uma redução média de 35,36 % na geração de sólidos com o uso do PAC como coagulante.

Gráfico 7 – Quantidade de sólidos formada durante o processo de coagulação versus a quantidade de sólidos formada após a decantação



Fonte: Produzido pelo autor, 2012.

Analisando a Tabela 5 e o Gráfico 7 verificamos a redução de 35% na geração de lodo terciário. Estes valores médios encontrados nos ensaios confirmam as considerações feitas por Silva e Carvalho (2008), em que a substituição de um coagulante tradicional (S.A) por um coagulante de maior tecnologia agregada (PAC), mesmo utilizando coadjuvantes de floculação, reduz a formação de lodo no tratamento físico químico da ETE.

Nas avaliações durante o teste em planta na ETE do coagulante PAC, não foi possível constatar uma variação significativa na quantidade de lodo gerado no tratamento físico químico do efluente, entre o mês de novembro e o mês de dezembro de 2012. Tendo em vista que o teste começou em 27 de novembro, o volume de lodo gerado neste mês deveria ser bem superior ao lodo gerado no mês de dezembro, onde o uso do PAC se deu durante todo o mês. Entre os fatores que afetam esta avaliação, provavelmente esta relacionado com uma maior perda de componentes geradores de cor, turbidez e DQO no transbordo dos decantadores secundários. Este fato contrasta também com Furtunato et al. (2008), que para clarificar um mesmo efluente o consumo de PAC foi de 35 % menor que o uso de sulfato de alumínio, gerando assim uma quantidade menor de lodo no sistema

terciário. Porém, em uma avaliação mais apurada, o volume de lodo gerado na ETE nos meses de novembro e dezembro, são os menores volumes observados nas avaliações realizadas para acompanhar o teste do PAC em planta. O ANEXO I mostra a redução no fluxo de lodo terciário de 6000 L min^{-1} para 4000 L min^{-1} , sendo assim, outro indicador que reforça as citações dos autores, aliado aos resultados observados nos testes de bancada.

4.1.5 Avaliação Econômica do Uso do PAC no Tratamento de Efluentes do Processo de Produção de Celulose e Papel

O PAC, como opção de coagulante no tratamento de efluentes, possibilita ao empreendimento a oportunidade de ampliação da produção de NaOH, pois possibilita a utilização do elemento Cloro na produção de HCl que será utilizado na produção futura do coagulante, reduzindo significativamente o custo de produção do coagulante e conseqüentemente o custo de produção de celulose e papel.

4.1.5.1 Projeções da produção de cloro e soda

A Tabela 6 apresenta a produção atual, onde dois eletrolisadores chegam a um máximo de produção de $72,0 \text{ t dia}^{-1}$ de NaOH e $63,8 \text{ t dia}^{-1}$ de cloro gás. Com a expansão do empreendimento, o processo de cloro e soda pode ser ampliado para até quatro eletrolisadores, alcançando produção de $144,0 \text{ t dia}^{-1}$ de NaOH e $127,7 \text{ t dia}^{-1}$ de cloro gás, dependendo de condições como energia necessária à eletrolise, mercado de cloro e restrições da licença de operação. Veja a seguir:

Tabela 6 – Produção atual e futura de cloro e soda

PRODUÇÃO DE SODA CÁUSTICA, CLORO E DERIVADOS

Condicionante	Un	NaOH	Cl ₂	HCl	NaClO	Carga Elétrica KA	Consumo Energia MWh
Operação Cl ₂ NaOH – Atual	t/dia	50,4	44,7	38,5	2,3	16,8	5,67
Operação Cl ₂ NaOH 2 Eletrolisadores	t/dia	72,0	63,8	38,5	3,2	24,0	8,10
Operação Cl ₂ NaOH 3 Eletrolisadores= LO	t/dia	102,0	90,4	88,2	4,6	24,0	11,48
Operação Cl ₂ NaOH 4 Eletrolisadores= 144 t/dia	t/dia	144,0	127,7	126,0	5,2	24,0	16,2

Observação: A produção depende dos fatores: (1) disponibilidade de energia elétrica comprada e de geração própria; e (2) mercado de cloro. Ainda existe a restrição da L.O. da Planta de Cloro Soda em 102 t/NaOH/dia. Valores expressos em B.S. = Base Seca.

Legenda: L.O. - licença operacional; Cl₂NaOH – cloro e soda.
Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Na ampliação do empreendimento, uma nova caldeira de biomassa, proverá um excedente de energia, tanto para disposição na concessionária de energia quanto para produção do PAC.

Este excedente de cloro gás é o que vai possibilitar a produção de ácido clorídrico, necessária para a produção do PAC. A Tabela 7 evidencia o volume de HCl produzido na ampliação do empreendimento.

Tabela 7 – Produção de HCl para venda e para a produção de PAC

CONSUMO DE CLORO E DERIVADOS

Condicionante	Un	Cl ₂ Total	Cl ₂ para ClO ₂	Cl ₂ para venda	Cl ₂ para HCl ou PAC	Cl ₂ Para NaClO
Operação Cl ₂ NaOH - Atual	t/dia	1339,6	600,5	598,1	70,6	70,4
Operação Cl ₂ NaOH 2 Eletrolisadores (L1 = L2)	t/dia	1914,9	2051,1	0,0	241,1	138,0
Operação Cl ₂ NaOH 3 Eletrolisadores= LO(102 t/d)	t/dia	2712,0	2051,1	0,0	522,9	138,0
Operação Cl ₂ NaOH 4 Eletrolisadores= 144 t/dia	t/dia	3831,0	2051,1	0,0	1641,9	138

Fonte: Produzido pela autora, 2013.

O excedente de HCl, que não for consumido para a produção de celulose e papel bem como na produção de PAC, é vendido para os mais diferentes processos de transformação.

4.1.5.2 Projeção de Consumo de PAC

Seguindo a relação de equivalência entre o S.A e o PAC, a Tabela 8 apresenta os valores de consumo de PAC para o empreendimento atual (L1), consumo na expansão (L2) e para o consumo total de PAC com o empreendimento atual junto à expansão (L1 + L2).

Tabela 8 – Previsão de consumo de PAC atual e futura

CONSUMO EQUIVALENTE DE PAC – BASE LÍQUIDA				
Consumo Equivalente PAC L 1	t/mês	469,5815	Nota	(1)
Consumo Equivalente PAC L 2	t/mês	642,8571	Nota	(1)
Consumo Equivalente PAC L 1 + L 2	t/mês	1112,4386	Nota	(1)

(1) Fator de substituição: 1 PAC Base Líquida = 0,35 PAC Base Seca

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

A Tabela 9 apresenta o consumo de HCl necessário para a produção de PAC, suficiente para atender o empreendimento atual (L1), para a expansão do empreendimento (L2) e para o consumo total dos empreendimentos (L1 + L2).

Tabela 9 – Consumo de HCl para a produção de PAC

CONSUMO DE HCL PARA A PRODUÇÃO DE PAC – BASE LÍQUIDA				
Consumo de HCl para PAC L 1	t/mês	337,1595	Nota	(1)
Consumo de HCl para PAC L 2	t/mês	461,5714	Nota	(1)
Consumo de HCl para PAC L 1 + L 2	t/mês	798,7309	Nota	(1)
Consumo de HCl para PAC L 1 + L 2	t/dia	26,6244	Nota	(1)

(1) Fator de substituição: PAC usa 0,718 HCl

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Comparando os valores apresentados na Tabela 9, a produção atual de HCl não seria o suficiente para a produção de PAC a ser consumida na L1.

A melhor alternativa está em produzir cloro e soda através de quatro eletrolisadores, produzindo assim o HCl suficiente para atender a demanda de consumo de PAC para o tratamento de efluentes na L1 e L2. A geração excedente de HCl pode ser disponibilizada para venda externa aos empreendimentos ou ainda, operar os eletrolisadores em situações confortáveis, adequando consumo de energia e geração de produtos como HCl e NaOH.

5.1.5.3 Previsão de ganhos financeiros com a troca do coagulante S.A pelo PAC

A substituição do S.A pelo PAC como coagulante traz uma série de ganhos ao empreendimento como: redução no custo de tratamento dos resíduos sólidos, redução no custo de transporte de coagulante, possibilidade do aumento da produção de NaOH, entre outros ganhos. Esta previsão esta relacionada com a pesquisa realizada por Nakao e Vellani (2009), onde a redução de custos com a reciclagem de insumos gera receitas ao empreendimento, protegendo o meio ambiente, elevando a vantagem competitiva e reduzindo o custo de produção da atividade principal.

5.1.5.3.1 Ganhos com a menor compra de NaOH

O consumo intensivo de hidróxido de sódio pelo processo de produção de celulose e papel, elevado custo e escassez do produto no mercado consumidor, causa uma constante preocupação para obtenção do produto a um custo competitivo. Levando-se em conta a possibilidade da expansão do empreendimento, aliada ao aumento da produção de NaOH, a Tabela 10 apresenta as possibilidades de produção atual e futura com os novos eletrolisadores em operação.

Tabela 10 – Produção atual e futura de NaOH

PRODUÇÃO DE SODA CÁUSTICA				
Operação Cl ₂ NaOH - Atual	t/dia	50,4	Nota:	(1)
Operação Cl ₂ NaOH 2 Eletrolisadores (L 1 + L 2)	t/dia	72,0	Nota:	(2)
Operação Cl ₂ NaOH 3 Eletrolisadores (LO = 102 t/dia)	t/dia	102,0	Nota:	(3)
Operação Cl ₂ NaOH 4 Eletrolisadores (144 t/dia)	t/dia	144,0	Nota:	(4)

(1) Condições de Operação da L 1

(2) Falta Cloro para atender a demanda do empreendimento L 1 + L 2

(3) Produção de 102 t/dia é Base Soda 100%

(4) Não Existe Licença Operacional Para Produzir Este Volume

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Com a capacidade dos eletrolisadores atualmente em operação, a produção atual de NaOH apresenta uma defasagem, sendo necessário a compra de NaOH seguidamente no mercado externo. Com a produção mais otimista, com quatro eletrolisadores, ainda será pequena a produção de NaOH para atender a demanda do empreendimento atual e para o empreendimento ampliado conforme indicado na tabela 11 (160 t/dia de NaOH).

Um fator que ainda necessita de um tratamento adequado esta relacionado com a licença de operação (LO) para a produção de cloro e soda com quatro eletrolisadores, pois, a LO aprovada para o projeto de ampliação do empreendimento, é para somente três eletrolisadores.

Tabela 11 – Consumo atual e futuro de NaOH

CONSUMO DE SODA CÁUSTICA L 1 E L 2				
Consumo de Soda Cáustica L 1	t/dia	43,2	Nota	(1)
Consumo de Soda Cáustica L 2	t/dia	116,8	Nota	(1)
Consumo de Soda Cáustica L 1 + L 2	t/dia	160,0	Nota	(1)

(1) Condições de Operação da L 1 – Base Seca

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Levando em conta a produção e o consumo de NaOH, elaborou-se a Tabela 12, onde são apresentados os valores relevantes a economia alcançada.

Tabela 12 – Custos com a compra de NaOH no mercado externo

CUSTO MAIOR COM A COMPRA DE SODA CÁUSTICA		
Operação Cl ₂ NaOH - Atual	R\$/dia	0,0
Operação Cl ₂ NaOH 2 Eletrolisadores (L 1 + L 2)	R\$/dia	- 57.379,52
Operação Cl ₂ NaOH 3 Eletrolisadores (LO = 102 t/dia)	R\$/dia	- 37.818,32
Operação Cl ₂ NaOH 4 Eletrolisadores (144 t/dia)	R\$/dia	- 10.432,64

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Os valores com sinal negativo apresentados na Tabela 12 indicam a perda de capital utilizado para a aquisição de NaOH no mercado externo. Conforme indicado nas Tabela 10 e Tabela 11, a melhor proposta econômica esta em operar com quatro eletrolisadores.

A Tabela 13 apresenta os ganhos obtidos com a menor compra de NaOH para os valores de compra e venda do insumo atualmente e para os valores da cotação do dólar.

Tabela 13 – Ganhos com a menor compra de NaOH

GANHOS COM MENOR COMPRA DE SODA, DE 3 PARA 4 ELETROLISADORES		
Ganhos	R\$/dia	27.385,68
Ganhos	R\$/mês	821.570,40
Ganhos	R\$/ano	8.749.724,76
Ganhos	US\$/dia	14.043,94
Ganhos	US\$/mês	421.318,15
Ganhos	US\$/ano	4.487.038,34

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

5.1.5.3.2 Ganhos com a troca do Sulfato de Alumínio (S.A) por Policloreto de Alumínio (PAC)

Com o excedente do HCl através do aumento de produção da cloro soda, passando a operar com quatro eletrolisadores. Onde o custo do insumo HCl para produção de PAC tem seus valores comerciais reduzidos, devido à vários fatores como logística de fornecimento (equipamentos e transporte em caminhões), tanques de estocagem, energia, tratamento de efluentes, tratamento de água entre outros fatores que avaliados na produção junto ao empreendimento reduzem significativamente o custo de produção do PAC. Os valores apresentados no ANEXO B indicam os fatores avaliados para a obtenção do custo do coagulante. As Tabela 14 e Tabela 15 apresentam os custos referentes ao consumo dos coagulantes, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio na ETE.

Tabela 14 – Custo com o Coagulante Sulfato de Alumínio na ETE

CUSTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO – $AL_2(SO_4)_3$				
Custo Sulfato de Alumínio L 1	R\$/mês	342.251,7454	Nota	(1)
Custo Sulfato de Alumínio L 2	R\$/mês	468.542,7000	Nota	(2)
Custo Sulfato de Alumínio L 1 + L 2	R\$/mês	810.794,4454	Nota	(3)

(1) Base de consumo: Média de Março a Maio de 2012 – Base Líquida

(2) Base de Consumo: Valor de Projeto Proposta da Degremont = 30 t/dia, transformado em base líquida

(3) Soma Simples: Custo com Sulfato de Alumínio L 1 e L 2

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Tabela 15 – Custo com o Coagulante Policloreto de Alumínio na ETE

CUSTO COM POLICLORETO DE ALUMÍNIO - PAC				
Custo PAC L 1	R\$/mês	224.651,6739	Nota	(1)
Custo PAC L 2	R\$/mês	307.548,1813	Nota	(2)
Custo PAC L 1 + L 2	R\$/mês	532.199,8558	Nota	(3)

(1) Base de consumo: Equivalência ao Consumo Sulfato de Alumínio

(2) Base de consumo: Equivalência ao Consumo Sulfato de Alumínio

(3) Soma Simples: Custo com PAC L 1 e L 2

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Analisando as Tabelas 14 e 15, verificam-se as vantagens econômicas obtidas mensalmente através da troca do Sulfato de alumínio como coagulante para o Policloreto de Alumínio.

O que deve ser observado em relação ao custo do PAC é de que, conforme o ANEXO B, os valores das condições de produção da substância junto ao sítio do empreendimento, garantem o menor custo de produção do coagulante.

Para o consumo atual (L1) de coagulantes, na avaliação das Tabela 14 e Tabela 15, a substituição do S.A por PAC, gera uma economia mensal de 117 600,0 R\$/mês. Avaliando as mesmas tabelas, na ampliação do empreendimento (L1 + L2) a economia passa a ser de 278.594,6 R\$/mês.

A Tabela 16 apresenta todos os ganhos envolvidos com a troca de coagulante. Ganhos relacionados com a maior produção de NaOH e conseqüentemente com a menor compra da substância no mercado ver Tabela 11. Ganhos com a maior produção de HCl para a produção de PAC e vendas da substância para o mercado externo ver Tabela 9.

Tabela 16 – Ganhos Totais com a Troca do Coagulante S.A por PAC

GANHOS TOTAIS COM O PROJETO PAC		
Ganhos Totais Projeto PAC	R\$/mês	1.100.164,99
Ganhos Totais Projeto PAC	R\$/ano	13.201.979,88
Ganhos Totais Projeto PAC	US\$/mês	564.187,17
Ganhos Totais Projeto PAC	US\$/ano	6.770.246,09

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Todos os ganhos projetados na tabela 18, não contemplam ganhos relacionados de forma indireta como:

- Custo da disposição da menor quantidade de lodo gerado na ETE;
- Custos com a redução do transporte de materiais, substâncias e soluções entre o sítio do empreendimento e a empresa fornecedora de coagulante;
- Custos com a menor mão de obra envolvida na produção do coagulante;
- Custos com possíveis acidentes na cadeia produtiva de uma substância (PAC) que envolve a manipulação de substâncias ácidas, aquecimentos e

pressões elevadas que podem causar vazamentos, agredindo o meio ambiente e as pessoas envolvidas no processo.

Todos os ganhos envolvidos no processo levam ainda a um menor custo de produção de celulose e papel, aumentando a competitividade do empreendimento, vindo de encontro às citações de Rogers e Kristof (2003), onde os autores consideram que empresas que identificam e implementam projetos que levem em conta as atitudes ambientalmente corretas, além de ganhos econômicos e cumprimento da legislação ambiental, levam a comunidade, de uma forma geral, a uma visão holística dos processos produtivos, criando novos conceitos que reduzem os impactos ambientais de seus processos produtivos. Estas ações demonstram a maturidade do empreendimento, valorizando a empresa, trazendo ganhos financeiros diretos e indiretos aos seus donos e acionistas.

4.1.6 Teste para determinar a ação corrosiva do PAC em equipamentos de aço inox

Os resultados dos testes de corrosão realizados nos corpos de prova estão expressos na Tabela 17.

Tabela 17 – Avaliação da corrosão entre S.A e PAC no aço inox

AVALIAÇÃO DE CORROSÃO ENTRE S.A E PAC							
S.A - SULFATO DE ALUMÍNIO				PAC - POLICLORETO DE ALUMÍNIO			
Corpo de prova	Peso inicial	Peso final	Massa consumida	Corpo de prova	Peso inicial	Peso final	Massa consumida
1	1,8948	1,8948	0	1	2,0851	2,0840	0,0011
2	1,9572	1,9571	0,0001	2	1,9170	1,9158	0,0012
3	2,0006	2,0006	0	3	2,0655	2,0644	0,0011
4	1,7597	1,7597	0	4	1,8594	1,8583	0,0011
OBS.	MÉDIA DE CORROSÃO PRÓXIMA A ZERO			MÉDIA DE CORROSÃO É DE 0,00055 GRAMAS/500 mL			

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Considerando os resultados acima, onde a média de peso dos corpos de prova submetidos à ação da solução de PAC ficou aproximadamente em 1,9817 gramas e a massa média consumida em 0,0011 gramas, obtemos assim, por uma divisão simples um consumo de 0,00055 gramas de aço inox para cada 500 mL de PAC em um período de 120 horas. Em uma situação de consumo de aproximadamente 7200L dia⁻¹ de PAC, teríamos uma corrosão de aproximadamente 7,92 gramas, em 120 horas, no aço inox constituinte dos equipamentos. Estes resultados obtidos neste ensaio valida a consideração feita por (Shreve e Brink, 1997; Silva e Carvalho, 2008; Silva R. R, 2011) que consideram que o excesso de salinidade pode causar danos de corrosividade em processos industriais. Frente a estas avaliações, foram realizadas modificações e aquisições de equipamentos para o teste em planta industrial com o PAC.

2.2 Estudo 2 - Testes em Planta Industrial

Após as pesquisas, levantamentos das principais características do coagulante, juntamente com informações obtidas junto aos fornecedores iniciou-se as adequações nos equipamentos para o teste do PAC na ETE.

2.2.1 Modificações nos equipamentos para uso do PAC no teste em planta industrial

De acordo com os resultados relacionados à capacidade de corrosão do PAC sobre o aço inox, obtidos nos ensaios de bancada conforme a Tabela 17 e nas observações realizadas por Shreve e Brink (1997), foram realizadas modificações no sistema de recebimento e estocagem do PAC conforme a Figura 10, 11 e 12.

A tubulação utilizada para a dosagem do PAC foi à mesma tubulação utilizada para a dosagem de Sulfato de Alumínio, devido à mesma ser confeccionada em fibra de vidro. Da mesma forma, o medidor de fluxo e a válvula automática (Figura 13) para dosagem de Sulfato de Alumínio, já possuíam revestimento de teflon, podendo assim ser utilizadas no controle de dosagem do PAC.

Figura 10 – Mangote e tubulação



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Figura 11 – Bomba e válvulas revestidas



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

O mangote flexível (10) precisou ser adaptado, pois, a solução de PAC chegou para ser descarregada no tanque de estocagem em caminhões tanques. No mesmo mangote foi necessária a instalação de um adaptador rosqueado para possibilitar a conexão com a válvula de descarga do tanque do caminhão.

A capacidade de corrosão do PAC, tanto no aço carbono quanto no aço inox fez com que fosse confeccionada uma tubulação de fibra junto com adaptações de válvulas revestidas de teflon. A bomba dosadora de PAC utilizada foi a mesma bomba utilizada para a dosagem do produto através de manobras de válvulas.

Figura 12 – Adaptações nas tubulações



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Figura 13 – Medidor de fluxo e válvula



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Para a descarga e dosagem de PAC na ETE foram necessárias diversas modificações (Figura 12) nas tubulações e válvulas para uso da substância.

O controlador de fluxo da dosagem de PAC na ETE (Figura 13), não precisou ser trocado, porém o indicador de vazão no painel de controle necessitou ser alterado para uma faixa menor de indicação de fluxo. Para a dosagem de S.A. a faixa de dosagem estava entre 0 a 100 L min⁻¹. Para a dosagem de PAC esta faixa foi alterada para 0 a 50 L min⁻¹, devido ao menor fluxo de coagulante.

4.2.2 Controle durante o teste em Planta

O controle dos parâmetros do processo no período de teste se deu a partir das análises de DQO, cor aparente e turbidez de acordo com os registros no ANEXO C.

4.2.3 Determinação da dosagem inicial de PAC na ETE

A Tabela 18 apresenta os valores de cor, turbidez e DQO encontrados nos ensaios de jar-test.

Tabela 18 – Ensaios de Jar-test para iniciar o teste em planta do PAC na ETE

26/11/2012 - ENSAIO PARA TESTE EM PLANTA NA ETE								
ENSAIO	COAGULANTE	COAG.	pH	pH	Polim.	COR	TURB.	DQO
	TIPO	ppm	FLOC.	FINAL	ppm	APAR.	APAR.	ppm
1	Sulf de Al.	830	5,8	6,07	1	180	8,7	115
2	PAC	356	6,0	6,15	1	163	4,35	113
3	PAC	321	6,1	6,2	1	190	5,89	122
4	PAC	300	6,3	6,3	1	230	8,5	135

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Verificando a Tabela 18, as pequenas variações nas dosagens de PAC orientam a dosagem a ser praticada durante o teste em planta do PAC, possibilitando uma variação na dosagem entre 300 e 356 ppm para o efluente

avaliado no momento. Assim, conforme verificado no ANEXO C, foi iniciado o teste em planta. Os parâmetros analisados e monitorados continuaram sendo controlados pela operação da mesma forma como estavam sendo controlados nas dosagens com S.A, o ANEXO J indica como se mantiveram controlados estes parâmetros, desde a dosagem de coagulante até aos controles operacionais do processo.

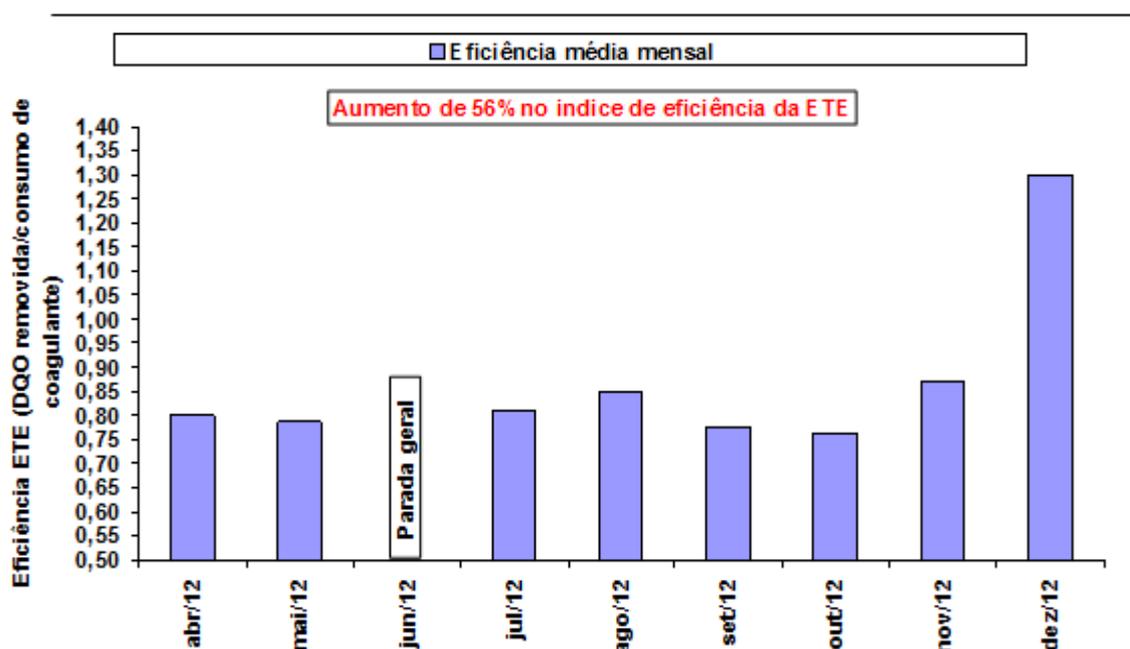
4.2.4 Avaliação dos parâmetros verificados durante o teste em planta

A avaliação dos parâmetros foi realizada e os resultados são apresentados no ANEXO A.

4.2.4.1 Eficiência da ETE durante o teste com PAC

Durante o teste do PAC na planta industrial, a eficiência da ETE manteve-se dentro do esperado, conforme os testes de bancada e de acordo com o ANEXO A, onde a cor, turbidez e DQO do efluente tratado, mantiveram-se dentro dos parâmetros legislados, necessitando de uma dosagem inferior a que vinha sendo praticado com o sulfato de alumínio.

Gráfico 8 – Acompanhamento da eficiência da ETE



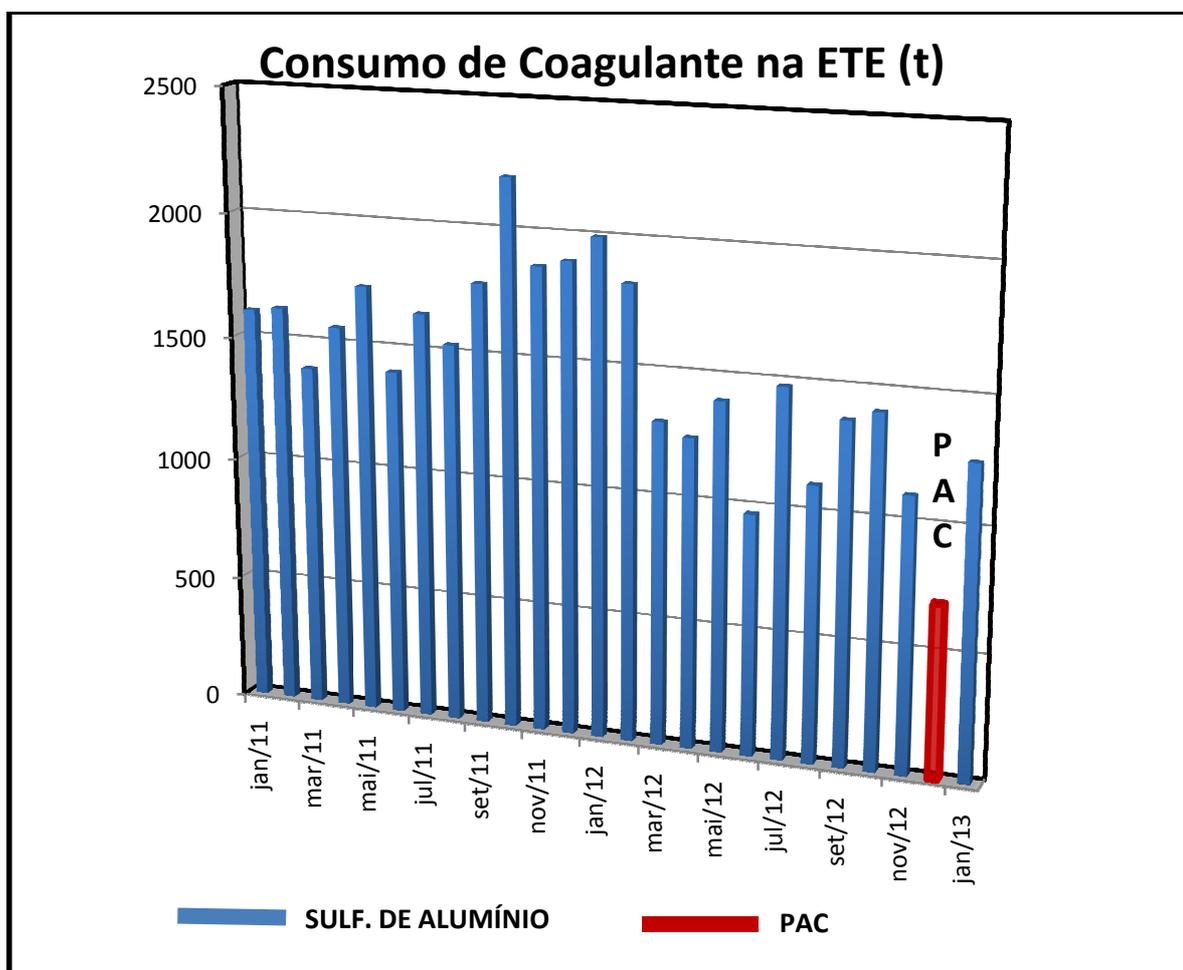
Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Durante o teste com PAC na ETE, não ocorreu redução da eficiência de remoção de DQO do efluente após o tratamento secundário.

4.2.4.2 Consumo específico de Coagulante no teste em planta

A redução do consumo específico do coagulante no teste na planta industrial, mantendo-se um mesmo ritmo de produção de celulose e papel, conseqüentemente, com o mesmo nível de geração do efluente característico para o processo produtivo, ficou dentro do esperado, conforme foi constatado nos testes de bancada.

Gráfico 9 – Consumo específico de coagulante na ETE durante o teste



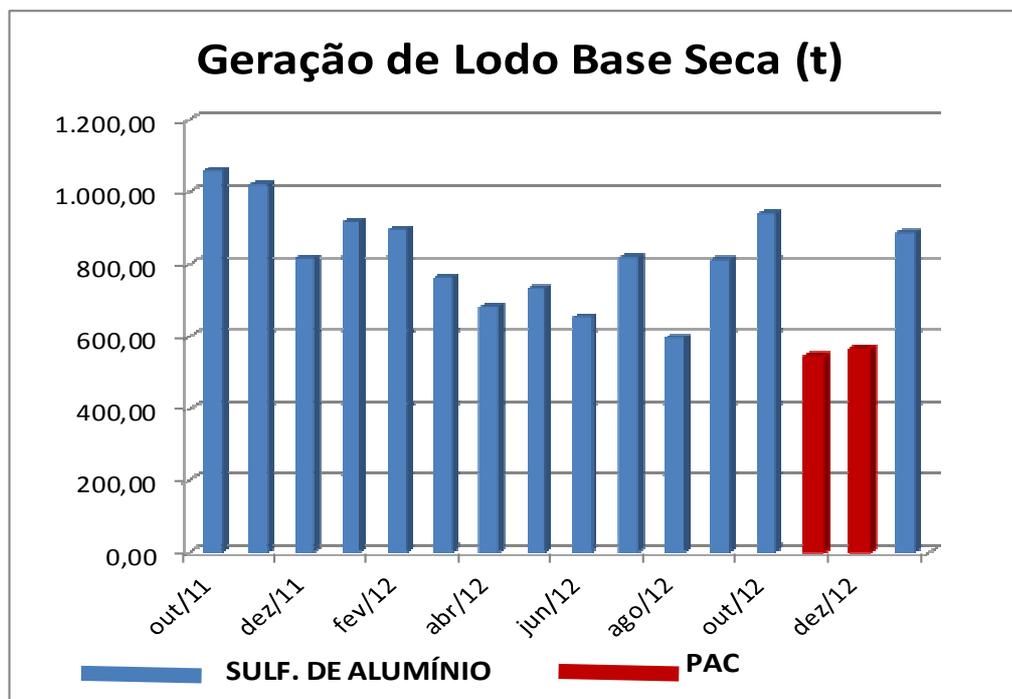
Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

A redução acentuada no consumo específico de coagulante (kg coagulante/ADMT) durante o teste foi significativa devido a menor concentração da solução de PAC (35%) comparada ao S.A (52%). Ou seja, a maior concentração da solução de S.A eleva o consumo específico, conforme verificado no gráfico acima. Porém, a concentração de 17% a mais na concentração de S.A, não é suficiente para justificar o maior consumo nos meses anteriores ao teste. Assim, o uso do PAC apresentou um consumo específico durante o período de teste em planta bem abaixo dos valores praticados com o S.A.

4.2.4.3 Geração de Lodo durante o uso com PAC

Com o menor consumo específico de coagulante constatado no Gráfico 9, esperava-se uma geração menor de lodo durante o teste na planta industrial. Este fato não foi observado, conforme mostra o Gráfico 10, provavelmente devido as características peculiares da configuração dos equipamentos da ETE onde foi realizado o teste.

Gráfico 10 – Geração de lodo com o uso do PAC



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Avaliando o Gráfico 10, não houve uma redução significativa na geração de lodo da ETE entre os meses de novembro e dezembro de 2012. Levando em conta que a dosagem de PAC iniciou a partir de 27/11/2013, esperava-se uma maior geração de lodo quando comparado com o mês de dezembro, onde a dosagem do PAC se deu durante todo o mês. Entende-se que esta variável esteja fortemente correlacionada aos volumes de efluente alimentado à ETE, desde a chegada do efluente na estação até aos níveis das lagoas de estabilização anteriores ao Reator Biológico.

Esta constatação contraria os resultados obtidos nos testes em bancada e registrados na Tabela 5 e nas considerações de Silva e Carvalho (2008) que consideram que coagulantes modernos como o PAC, promove a redução na geração de lodo em uma ETE. Porém quando avaliamos o Gráfico 10 de uma forma geral, fica claro a redução do volume total de lodo gerado na ETE neste período.

4.2.4.4 Custo com coagulante durante o teste com PAC

A Tabela 19 apresenta o custo de produção do PAC junto ao empreendimento com os dados calculados pela empresa parceira do empreendimento.

Tabela 19 – Custo de Produção do PAC junto ao Sítio do Empreendimento

VARIÁVEIS E FIXOS	%	PREÇO R\$/t (sem impostos)	CUSTO (R\$/t)
Hidrato Dry (Alumina)	53,9%	938,00	264,52
Ácido clorídrico	22,0%	150,00	107,7
Manutenção	14,8%		72,49
Depreciação	3,4%		16,61
Mão de Obra Direta	2,3%		10,98
Frete	3,6%		18,00
Custo Total			490,30

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Custos com a água, com vapor e energia são desconsiderados no cálculo do custo de produção do coagulante, pois, estes custos estão diluídos dentro da cadeia

produtiva do empreendimento, dificultando a avaliação destes insumos neste período.

O custo com a alumina comercial (Hidrato Dry) apresentado na Tabela 19 informa o valor comercial da substância; a porcentagem de uso de alumina e de ácido clorídrico na formulação do PAC. O custo do ácido clorídrico é o custo de produção junto ao sítio fabril do empreendimento. Estes valores apresentados pela empresa parceira são ligeiramente superiores ao custo de produção do PAC do ANEXO B. Para a avaliação do custo com coagulante na ETE durante o teste com o PAC vai ser utilizado o valor de 490,30 R\$/t, que é o custo de produção do coagulante junto ao sítio do empreendimento.

A Tabela 20 apresenta os valores referentes aos custos encontrados no mercado, para os coagulantes testados nos experimentos.

Tabela 20 – Custo de Coagulantes no Mercado Externo

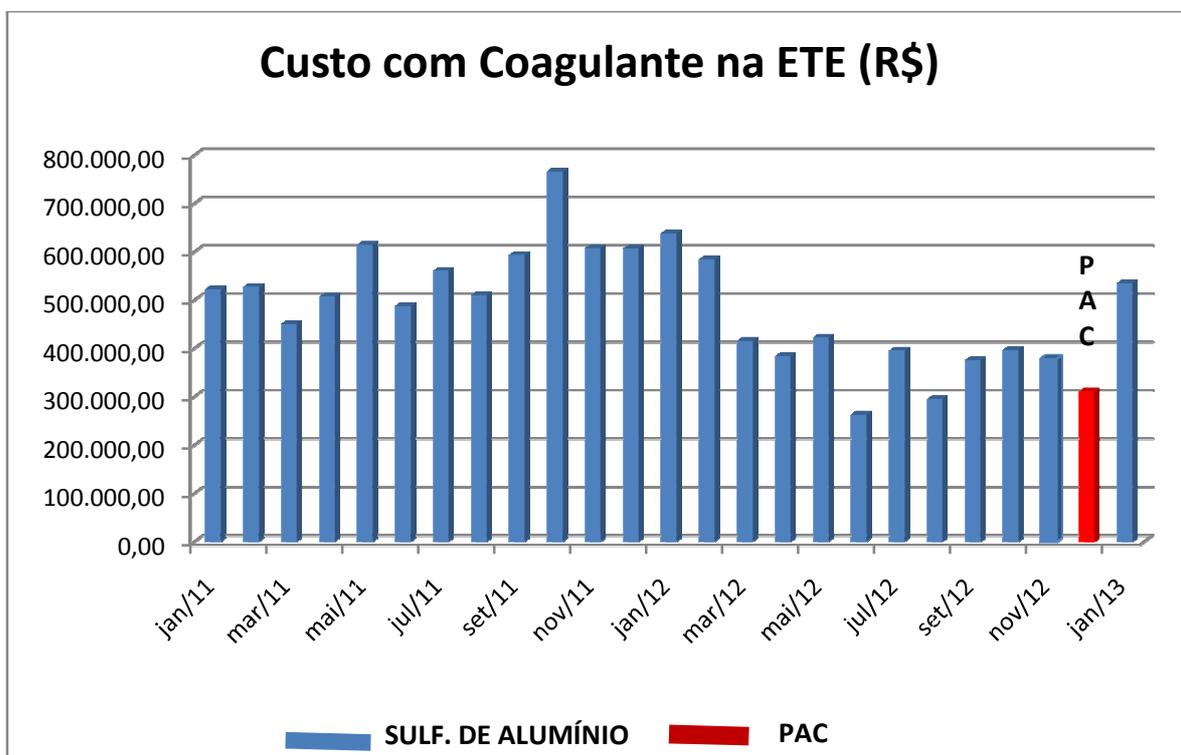
COAGULANTE	R\$/t	R\$/Kg
Sulfato de Alumínio	353,2	0,3592
Policloreto de Alumínio	810,0	0,81
Cloreto Férrico	890,0	0,89
Sulfato Ferroso Oxidado	850,0	0,85

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

Comparando os valores apresentados na Tabela 19 (custo de produção do PAC junto ao empreendimento) e os valores fornecidos pelo fornecedor de coagulantes, apresentados na Tabela 20, verifica-se uma redução do preço do PAC em torno de 60,53 %. Desta forma, a diferença entre o preço de comercialização do PAC e o preço de produção alcança uma redução de 319,7 R\$/t.

O cálculo do custo com coagulante durante o teste do PAC, apresentado no Gráfico 11, expõe o valor de comercialização do coagulante fora do empreendimento conforme apresentado na Tabela 20.

Gráfico 11 – Custo da ETE com coagulante durante o teste do PAC



Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

A Tabela 20 e o Gráfico 11 apresentam o custo com o uso do PAC como coagulante da ETE durante o período do teste em planta. Observando o Gráfico 11 verifica-se um valor baixo de geração de lodo no mês de junho de 2012. Isto é devido a uma parada no processo de produção para manutenção de equipamentos, consequentemente, neste mês, o fluxo de efluente enviado à ETE ficou reduzido, gerando assim, uma quantidade menor de lodo neste período.

Tabela 21 – Custo do S.A. e do PAC praticados durante o teste em planta na ETE

Balanco Econômico	Sulfato de Alumínio	Policloreto de Alumínio
Preço (R\$/t)	302,63	768,7
Consumo (t/mês)	1305,0	679,0
Custo mensal (R\$/mês)	394.932,15	522.117,18

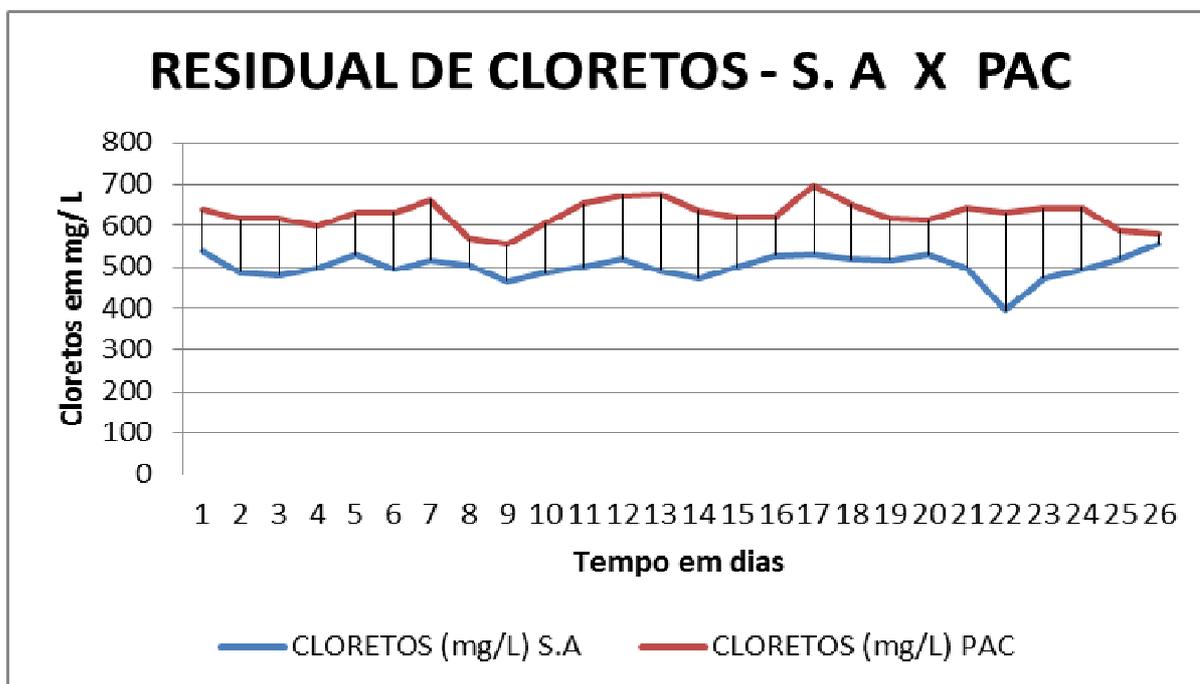
Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

O custo do PAC para o teste (768,70 R\$/t) foi ofertado por um preço subsidiado pelo fornecedor. Este custo é menor que o apresentado na Tabela 20 (810,0 R\$/t), no entanto, bem maior que o valor do custo de produção do PAC apresentado Tabela 19 (490,30 R\$/t).

Portanto, se for levado em consideração o custo de produção do PAC para calcular o custo com coagulante na ETE durante o teste, o valor fica em 332.913,70 R\$/mês, este valor além de ser menor que o apresentado na Tabela 21, não mostra os ganhos indiretos para o caso da maior produção de cloro e soda e os outros ganhos aliados ao uso do PAC.

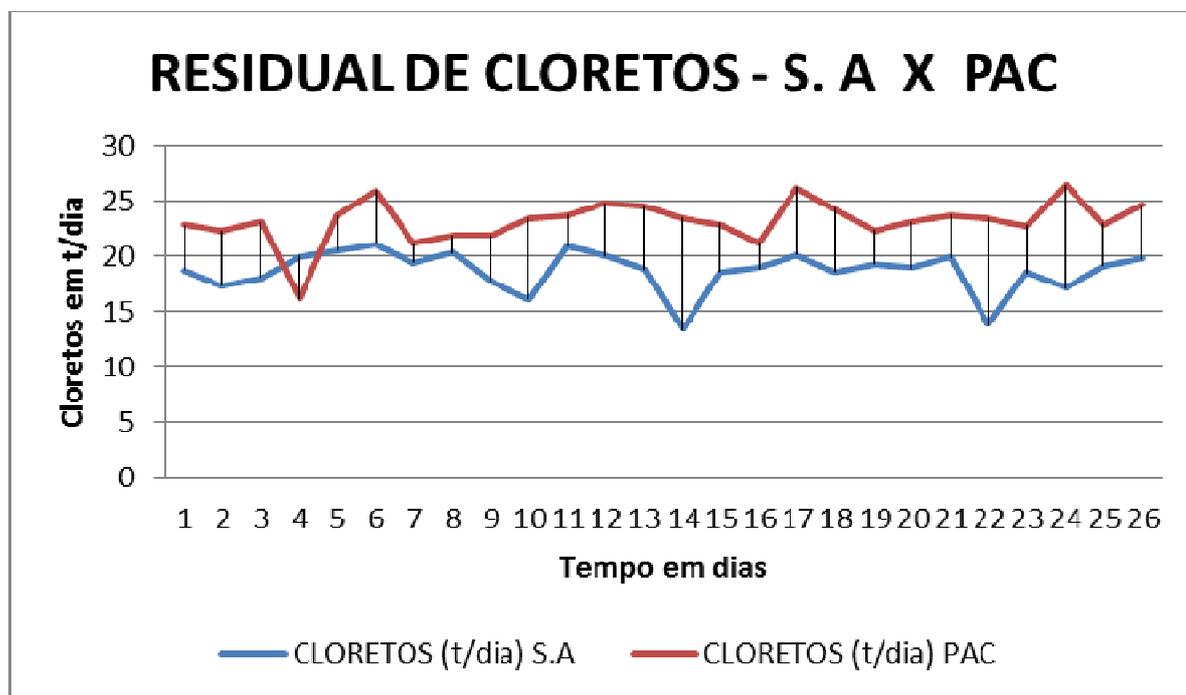
4.2.4.5 Avaliação da Presença de Cloretos no Efluente Tratado durante o teste em planta com PAC

Houve um aumento médio de 17% na carga de cloretos gerada em comparação ao S.A. O valor médio praticado com o PAC foi de 22 t dia⁻¹. A maior carga registrada foi de 25,8 t dia⁻¹. O valor máximo legislado é de 28,8 t/dia de acordo com a Tabela 1. O Gráfico 12 foi confeccionado a partir do ANEXO D. O período de 26 dias para a avaliação das concentrações e cargas de cloretos foi escolhido devido ao início do teste com PAC no dia 27/11/2012. Assim os valores avaliados estão no período de 01/11/2012 à 26/11/2012 para comparar os valores mais próximos relacionados aos cloretos, obtidos com S.A com os valores de cloretos avaliados com o PAC no período de 01/12/2012 à 26/12/2012.

Gráfico 12 – Concentração de Cloretos em mg L^{-1} 

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

O Gráfico 12 compara a concentração de cloreto encontrada com S.A como coagulante no mês de novembro, com a concentração de cloreto verificada no mês de dezembro, onde foi realizado o teste com PAC. A concentração de cloretos em mg L^{-1} é um indicador de controle da ETE, onde o parâmetro é analisado a cada oito horas, verificando-se assim a tendência da concentração deste contaminante. Caso esta tendência sinalize a possibilidade de ultrapassagem na carga de cloretos diária ($28,8 \text{ t dia}^{-1}$), o efluente é desviado para a lagoa de emergência para evitar que o parâmetro seja ultrapassado devido à vazão. A Necessidade de comparação na geração de cloretos entre dois meses diferentes (novembro e dezembro) é devido à impossibilidade de avaliar os dois coagulantes ao mesmo tempo, pois, uma vez que o PAC estava em teste na planta da ETE, não havia como utilizar o sulfato de alumínio porque as configurações dos equipamentos em operação na ETE não permitem o fluxo dividido em duas correntes distintas.

Gráfico 13 – Carga de Cloretos em $t \text{ dia}^{-1}$ 

Fonte: Produzido pelo autor, 2013.

A carga de cloreto ($t \text{ dia}^{-1}$), apresentada no Gráfico 13, compara a carga de cloreto no período de 26 dias do mês de novembro, onde o coagulante utilizado era o S.A, com 26 dias do mês de dezembro onde foi utilizado como coagulante o PAC.

A carga de cloreto em $t \text{ dia}^{-1}$ é calculada utilizando-se a vazão total de efluente tratado enviada ao estuário do Guaíba, multiplicada pela concentração em $g \text{ L}^{-1}$ encontrada na amostra composta do efluente tratado, onde a cada duas horas, uma amostra é coletada, compondo desta forma, a amostra composta.

O aumento da carga de cloreto no efluente tratado com a utilização do PAC, já era esperado por se tratar de um coagulante clorado. O aumento de 17% na geração de cloreto é um fator a ser avaliado junto com o processo de produção de celulose e papel, onde a geração de cloro e soda, realizada a partir do sal marinho, tem sua estocagem a “céu aberto”, em caso de precipitações pluviométricas elevadas pode aumentar a geração de cloreto no efluente a ser tratado. O aumento da produção de celulose esta diretamente relacionado ao aumento do uso de insumos químicos como o HCl, ClO_2 e NaClO, tornando-se assim, outro fator que contribui para a elevação do residual de cloretos no efluente tratado.

5 CONCLUSÕES

Ao ser analisado o estudo 1 (testes de bancada), comparando ao estudo 2 (teste em planta), verificam-se as variáveis que somente podem ser observadas quando avaliadas em grandes volumes onde, tempos maiores para reações e interações entre substâncias alteram as razões e as proporções verificadas nos ensaios de *jar-test*, fornecendo resultados diferentes.

A mudança de coagulante transcorreu de forma adequada, sem desperdícios e perda de qualidade do efluente tratado;

Houve um aumento médio de 17% na carga de cloretos gerada em comparação ao SA. O valor médio praticado com o PAC foi de 22 t dia⁻¹. A maior carga registrada foi de 25,8 t dia⁻¹. O valor máximo legislado é de 28,8 t dia⁻¹;

O consumo de soda para neutralização do efluente tratado foi extinto com o uso do PAC;

A redução na geração de lodo observada nos testes em bancada, não é conclusiva durante os testes em planta com o PAC. Este fato pode estar relacionado por que, durante o teste em planta, a geração de lodo foi avaliada entre todas as etapas do tratamento, enquanto que nos testes de bancada foi avaliado somente no lodo gerado no processo de coagulação e floculação;

Em relação à economia verificada no teste de bancada com o uso de PAC, ficou em 278 594,6 R\$/mês. Enquanto que, durante o teste em planta, a economia foi de 332 917,7 R\$/mês. Estes valores levam em conta a produção de PAC junto ao empreendimento, onde o PAC apresenta um custo de 490,3 R\$/t. Outro fator relevante é o ganho com a maior produção de NaOH e de HCl que não foi possível avaliar durante o teste em planta.

O aumento de 56% no índice de eficiência da ETE na remoção de DQO do efluente após o tratamento secundário esta de acordo com os resultados encontrados nos testes em bancada.

5.1 Sugestões

Para uma correta avaliação do volume de lodo gerado na ETE, o ideal, é a realização de uma pesquisa do volume de lodo gerado em cada etapa do processo, evitando, desta forma, o mascaramento da geração de lodo na etapa de coagulação e floculação.

Em um estudo posterior, visando uma condução ambientalmente correta da ETE, deve-se realizar uma pesquisa relacionada ao grau de toxicidade entre o uso de S.A e PAC como coagulantes no processo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. T.. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1999.
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.. Gestão de Biossólidos Situação e perspectivas. In: I **Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul**, Curitiba, dez 1-4, 1998.
- ANDREOLI, C. V.; PINTO, M. A. T.. Introdução. In: **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**/Cleverson Vitório Andreoli (coordenador). -- Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.
- APHA - American Public Health Association. Standart Methods for the examination of water and wastewater. New York: **APHA/AWWA/WEF**, 1998.
- BRATBY J.; Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. 2. ed., Second Edition, **IWA Publishing**, Jan 1, 2006 - Science - 407 pages. Disponível em: http://www.iwapublishing.com/pdf/contents/isbn1843391066_contents.pdf. Acesso em: 05 de ago. de 2013.
- CADORIN L. M.; **Desenvolvimento de Técnica de Remoção de Íons Sulfato de Efluentes Ácidos de Minas Por Precipitação Química e Flotação Por Ar Dissolvido**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Minas, UFRGS, Porto Alegre, 2007.
- CELULOSE RIOGRANDENSE. Dados Ambientais de monitoramento de acordo com a Licença de Operação emitida pela FEPAM, 2012. Disponível em: <http://www.celuloseriograndense.com.br/responsabilidade/meio-ambiente-industrial>. Acesso em: 12 de set. de 2013.
- CIMINELLI, V. S. T.; SALUM, M. J. G.; RUBIO, J.; PERES, A. E. C.. Água e Mineração. Em Capítulo 13 do livro “**Águas Doces do Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação**”. 3. ed.; p.433-460, 2006.
- CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D.. Standard Methods for the examination of waster and wasterwater. 20^a edition. Washington, **American Public Health Association**, 1998.
- CMPC / MT – **Manual de Preparo de Soluções** – revisão 07 – 2012.
- CMPC - Celulose Riograndense. **Manual de operação da ETE**. 2012. Atualização C.
- COSTA, A. S. V.; GALVÃO, E. R.; LOVO, I. C.; JUNIOR, M. J. F.; ALMEIDA, L. L.. Efeitos de resíduos de celulose nas características químicas do solo e no desenvolvimento de culturas agrícolas - **35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel** – ABTCP – 2002.

CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de Maio de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 27 ago. de 2013.

CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D.. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. **SIMPGEU**. Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. 155N 2175.3695. 27 e 28 de agosto de 2009. Maringá- PR.

COUTINHO, H. L.; TOCCHETTO M. L.. **Apostila de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. RS, 2009.

CRABBÉ, et al.. Open window on sustainable material innovation: evidence from Flemish production industries. In: Knowledge Collaboration & Learning For Sustainable Innovation (ERSCP-EMSU CONFERENCE), 1. **Delft, The Netherlands**, 2010, p. 1-15.

DALASSO R. L., SENS M. L. Filtração direta com pré-coagulação com sulfato de alumínio e hidroxidocloreto de alumínio: estudo com água de manancial eutrofizado. Em **Eng. Sanit. Ambient**, vol. 11 nº3 Rio de Janeiro, July/Sept, 2006.

DEGRÉMONT. **Manual Técnico Del Agua**. 4. ed., p. 1216, 1979.

DI BERNADO, L.. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro. ABES, v.1, 1993.

DI BERNARDO. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro, 2003.

DI BERNARDO. **Métodos e técnicas de tratamento da água**. 2. ed., São Carlos - SP, RiMa, v.1, 2005.

DIAS, M. S. O.; PEREIRA, J. A. R.. Determinação da Dosagem Ótima de Polímero em Sistema de Flotação, em Escala de Laboratório, Utilizado no Pós-tratamento de Efluente de Reator UASB da ETE Sideral, Belém/PA. **Congreso Regional, IV Región, 5, Asunción**. 23-25, de maio de 2005.

FENG, D.; ALDRICH C.; TAN H., Treatment of acid mine water by use of heavy metal precipitation and ion exchange. **Minerals Engineering**, vol. 13, p.623-642, June. 2000.

FERNANDES; E.; GLORIA, A. S.; GUIMARÃES B. A.. O setor de soda-cloro no Brasil e no mundo. **BNDES setorial**, Rio de Janeiro, n.29, p. 279-320, mar. 2009.

FERREIRA C., RIBEIRO A., OTTOSEN L., Possible Applications for Municipal Solid Waste Flyash. Article. **Journal Of Hazardous Materials**, v.96, p.201-216, January 2003.

FIOD NETO, M.. **Revisão e análise crítica dos métodos de projeto**. Monografia submetida à UFSC, como parte dos requisitos exigidos para progressão vertical na carreira docente. Florianópolis, abril de 1991.

FOELKEL, C. E.; FRIZZO, S. B.; SILVA, M. M.; MARTINS, A. F.. Metodologia alternativa para o tratamento de efluentes de indústria de celulose kraft. **Revista Ci. Flor.**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 157-166, 1994.

FRANCO, E. S.. **Avaliação da Influência dos Coagulantes Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico na Remoção de Turbidez e Cor da Água Bruta e Sua Relação Com Sólidos na Geração de Lodo em Estação de Tratamento de Água**. Dissertação de Mestrado: UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto. 2009.

FURTUNATO, M.; MOREIRA, A.; JORGE, C.; CARVALHO, A. R.; AGUIAR, J.; SHUURMAN, F.; FERREIRA, W.. Mananciais Poluídos e Uso Racional Incentivam Melhorias Tecnológicas – **Revista química e Derivados**. Edição N°477, 2008.

GIORDANO, G.. **Tratamento de Efluentes Industriais**. UERJ, 2005.

GUEDES, C. D.; PEREIRA, J. G.; LENA, J. C.; PAIVA, J. F.. Coagulação/Floculação de Suspensões Ricas em Óxidos de Ferro por Sulfato de Alumínio – **Química Nova**, Vol. 27. N°5, 715-719, 2004.

KIPERSTOK, A. **Prevenção da Poluição**. Brasília: SENAI/DN, 2002.

LETTERMAN, R. D.; AMIRTHARAJAH, A.; O'MELIA, C. R.. Coagulation and flocculation. In: LETTERMAN, R. D. **Water Quality and Treatment**, fifth edition, United States of América, 1999.

LIBÂNIO, M.; LEAL, F. T., Estudo de Remoção de Cor Por Coagulação Química no Tratamento Convencional de Águas de Abastecimento. **Engenharia sanitária e Ambiental**, vol. 7 - N°3 - Jun/Set 2002.

LIMA N. R., **Curso de Atualização Para Operadores da Estação de Tratamento de Efluentes** – ARACRUZ – 2005.

LÓPEZ, A. L.; FROIRE, J. B.; RODRÍGUEZ, R. V.; ARGUETA, C. B.. Estudo comparativo entre um processo físico-químico y um biológico para tratar água residual de rastro. **INCI**, v. 33, n. 7, Caracas, jul. 2008.

MASSCHELEIN, W. **Unit processes in drinking water treatment**. ISBN 08247 8678 5, 1992.

MATTIAZZO M. E. **Comportamento de cobre, cádmio, crômio, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1994. 197p. Tese livre docência.

MATIAZZO M. E.; ANDRADE C. A. Aplicabilidade do biossólido em plantações florestais. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. **EMBRAPA-Meio Ambiente**, Jaguariúna, SP, 2000, p. 203-208.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering - Treatment, Disposal, and Reuse**. Third Edition. New York, NY: McGraw Hill, Inc., 1991.

MOUTINHO M. O., Teste em Planta do Coagulante Sulfato de Alumínio (S.A). **Relatório Técnico** Nº 1852 – ARACRUZ – 2004.

MWH. **Water treatment: Principles and desing**. ISBN 0 471 11018 3, 2005.

NAKAO, H. S.; VELLANI, C. L.. Investimentos Ambientais e Redução de Custos. **Revista de administração da UNIMEP**, v. 7, n.2, p.64, maio/agosto, 2009.

NUNES J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias e Industriais**. 4. ed. Aracaju – SE, Gráfica Editora J. Andrade Ltda., 2004.

OGLIARI A.; BACK N.; TUBIANA A.; PRADO I. Sistema Especialista de apoio à seleção de instrumentos de medição. **VI Congresso Nacional de Ingenieria Mecânica**, Chile, Novembro, 1994.

OLIVEIRA, C.; RUBIO, J.. **Mecanismos, técnicas e aplicações da agregação no tratamento mineral e ambiental**. Engenheira Química - Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (UFRGS). 2011.

OLIVEIRA, R. C.; RUBIO, J., Abatimento de material particulado disperse: situação atual na mineração. **Brasil Mineral**. Edição Especial – nº 262 –junho de 2007.

PAVANELLI G. **Eficiência de Diferentes tipos de Coagulantes, Floculação e Sedimentação de Água com cor ou Turbidez elevada**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2001.

PEREIRA, S. J.; MONTEIRO, L. do Vale; NISGOSKI S.. Pequenos Objetos de Madeira - POM - Alguns Parâmetros Tecnológicos para Projeto. **Anais do 1º Congresso Internacional de Pesquisa em Design e 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Brasília, UNB, 2002.

PRATI P., MORETTI R. H., CARDELLO H., MARIA A. B., Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e suco de frutas ácidas. **Revista de Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Campinas/SP: 2005, p. 23.

ROGERS, G.; KRISTOF, J.. Operational and Products costs through environmental accounting. Article. **Environmental Quality Management**, 2003.

SAMAE, Apostila. **Operador de Estação de Tratamento de Água e Esgoto**. Caxias do Sul, RS. - www.samaecaxias.com.br – 2008.

SERRAT B. M., BITTENCOURT. S., ANDREOLI. C. V., SILVA. L. A., SANTIAGO. R. T., **Disposição de Resíduos na agricultura: Lodo de Esgoto Como Fonte de Nutrientes**. 2010. Disponível em: <http://www.fundagres.org.br/biossolido/ icbro/ cbro /PALE STRAS /7%20-%20Palestra%20Beatriz%20.pdf>. Acesso em: 10 set. de 2013.

SHOENHALS, M. **Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluente de abatedouro avícola**. Dissertação de mestrado. UFSC, 2006.

SHREVE, N. R.; BRINK, A. J.. **Indústrias de Processos Químicos**. Editora Guanabara, 4. ed., Instituto de Química, UFRJ,1997.

SILVA, C. M.. Treinamento Tratamento de Efluentes – **Apostila** – Klabin Riocell – Universidade Federal de Viçosa – 2001.

SILVA, D. S.; CARVALHO. A. R.. **Soluções em Engenharia de Tratamento de água** – Kurita S.A, 2008.

SILVA, E. S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. F.. - Pós-tratamento de efluentes anaeróbicos tratando esgoto sanitário por coagulantes naturais e não-naturais. **Ver. Tecnol.** Fortaleza, v.28, n.2, p.178-190, dez. 2007.

SILVA, R. R., **Interações de Íons sulfato com sais de Alumínio em Soluções Ácidas**. Estudos Básicos e aplicações Ambientais. Tese de Doutorado. UFRGS, 2011.

SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M.. Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminium and bagasse fly ash. **Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects**. V. 260, p. 17 – 28, june 2005.

TEIXEIRA A. O.. **Avaliação de oportunidades de implantação de P + L em uma marcenaria de pequeno porte e proposta de eco produto**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Santa Cruz do Sul. 2011.

VELLANI, C. L.; RIBEIRO, M. S.. Sistema contábil para gestão da eco eficiência empresarial. **Revista contábil e finanças**, USP, São Paulo, v. 20, n. 49. P.25-43 janeiro/abril 2009.

VIEIRA, A. T. Estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização do sulfato ferroso em tratamento de águas de abastecimento. **20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. UFBA. 1981.

VICTORINO I. C. G. **Produtos químicos**. Serviço de Respostas Técnicas, 2008. Disponível em: <http://www.sbrt.ibict.br>. Acesso em: 15 de nov. de 2012.

VON SPERLING, M.. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Volume 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Volume 2: Princípios básicos do tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996.

WANG, Y.; CATANA, F.; YANG, Y.; RODERICK, R.; VAN BREEMEN, R. B. An LC-MS method for analyzing total resveratrol in grape juice, cranberry juice, and in wine. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, n. 2, p. 431-435, 2002.

YAMAMURA V. D. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. Anais do Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. p. 15-17. Maringá/PR: 2009.

ANEXO A – Planilha de acompanhamento diário do teste em planta do PAC

Medida	Entrada do reator		Transferido		Estado tratado		Consumo de PAC (kg)	DO remota (entrada reator - filtro tratado) (l)	DO remota (reamorço secundário - filtro tratado) (l)	Indicador de eficiência terciário	Indicador de eficiência	Lodo Retido p/ VDA
	Carga de DOO (t)	#DIV0!	Carga de DOO (t)	#DIV0!	Carga de DOO (t)	#VALOR!						
28/07/2020	30,94		12,75		3,78		4595,3	27,06	897	0,20	0,59	0,00
29/07/2020	28,00		11,48		4,11		1656	23,88	737	0,47	1,54	27,56
30/07/2020	38,33		12,33		3,88		2324,1	32,47	847	0,38	1,40	15,78
31/07/2020	28,74		11,62		3,74		2083,2	25,00	788	0,38	1,21	14,52
01/08/2020	31,97		13,49		4,45		2527,6	27,82	935	0,37	1,10	16,97
02/08/2020	34,00		13,21		4,09		1899,8	29,97	912	0,49	1,61	23,58
03/08/2020	32,28		12,87		4,22		2154,9	28,04	866	0,40	1,30	0,00
04/08/2020	30,84		11,78		3,83		2071,3	27,01	793	0,38	1,30	40,51
05/08/2020	24,64		9,23		3,43		1350,9	21,21	580	0,42	1,54	15,28
06/08/2020	33,60		14,00		4,88		2727,4	28,72	912	0,33	1,05	26,80
07/08/2020	40,12		17,31		5,63		2599,7	34,30	1168	0,45	1,33	16,90
08/08/2020	28,43		13,96		3,88		2727,8	24,77	1030	0,38	0,91	28,20
09/08/2020	34,80		16,09		3,97		2424,3	30,30	1218	0,50	1,28	22,23
10/08/2020	35,82		17,00		4,58		2529,9	31,06	1244	0,49	1,23	0,00
11/08/2020	38,42		18,18		4,94		2389,6	31,48	1124	0,49	1,37	38,62
12/08/2020	38,74		16,24		4,83		2714,8	33,97	1141	0,42	1,25	28,03
13/08/2020	37,84		17,51		4,87		2747,6	32,47	1284	0,47	1,21	34,04
14/08/2020	33,56		14,25		3,64		2848,7	30,21	1061	0,40	1,13	42,03
15/08/2020	32,45		12,50		3,13		1980,2	29,32	937	0,49	1,53	29,27
16/08/2020	29,05		11,54		5,97		1845,1	28,73	563	0,34	1,62	22,29
17/08/2020	29,11		10,35		3,89		2034,8	25,42	666	0,33	1,25	0,00
18/08/2020	30,97		10,41		4,77		1897,8	28,40	624	0,38	1,61	#VALOR
19/08/2020	32,24		10,75		4,38		1807,6	27,88	639	0,35	1,54	11,61
20/08/2020	32,71		11,28		4,54		2381,2	28,77	672	0,28	1,18	28,62
21/08/2020	34,55		12,66		5,19		2370,7	29,78	687	0,29	1,28	11,37
22/08/2020	38,88		13,62		4,72		2598,2	31,36	830	0,35	1,25	3,56
23/08/2020	34,60		12,78		4,55		2378,6	30,04	823	0,35	1,28	21,13
24/08/2020	33,20		12,34		4,04		2383,7	29,76	830	0,35	1,22	0,00
25/08/2020	36,94		12,53		4,68		2133	31,77	787	0,37	1,46	37,14
26/08/2020	34,82		11,30		4,55		2323,5	30,38	675	0,28	1,28	12,24
27/08/2020	37,05		13,61		4,82		2184,28	32,23	819	0,38	1,48	12,66
28/08/2020	37,00		15,42		#VALOR!		2153,45	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	12,89
29/08/2020	#DIV0!		#DIV0!		#VALOR!		#DIV0!	#DIV0!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	9,00
30/08/2020	32,18		12,88		4,32		2807,9	27,86	859	0,30	0,99	13,35
31/08/2020	38,72		10,40		2,72		2340,9	34,00	767	0,33	1,46	0,00
01/09/2020	37,28		20,00		4,80		2381,5	32,85	1540	0,53	1,12	33,99

ANEXO B – Cálculo do Custo de Produção do PAC

Unidade	Tanque de mistura		Efluente tratado		Concentração do PAC (vazão)	Dosagem do PAC (vazão)	Cubagem do PAC (vazão)	Controle do insumo	
	Turbidez	COR	Turbidez	COR				Letura de nível no tanque de PAC	Carregamentos (Se houver carregamento de PAC, anotar o volume adicionado no estoque)
TESTE PAC									
	Transbordo secundário								
	DOO			DOO				%	
	Real	Real	Aparente	Aparente					
	NTU	mg P-Coil	NTU	mg P-Coil	ppm	l/min	l/min		
41212 1300	226	252	17	252	320	8	*	30	
41212 3300	15	245	19,5	286	320	8			
41212 5300	16	235	20	299	320	8			
41212 7300	13,7	244	20,7	312	300	7,5			
41212 9300	259	213	23	329	300	7,5	*	26	
41212 11300		235	22	324	300	7,7			
41212 13300		262	22,5	331	300	7,7			
41212 15300		269	25	356	300	7,7			
41212 17300	300	282	23	345	300	8,5	*	64	76.340
41212 19300	16,4	256	22,7	325	300	7,4			
41212 21300	17	262	23	330	300	7,8			
41212 23300	17,5	266	22	334	300	7,7			
21212 1300	283	257	21,4	313	300	7,7	*	60	
21212 3300	14	234	23,7	331	300	7,7			
21212 5300	14,4	246	21,7	312	300	7,7			
21212 7300	17,4	239	22,4	320	300	7,7			
21212 9300	242	239	19,7	303	300	7,7	*	55	
21212 11300	15	241	20	310	300	7,7			
21212 13300	13,3	242	25	361	300	7,7			
21212 15300	16,6	255	23,4	339	300	7,7			
21212 17300	234	242	23,6	332	300	7,5	*	51	
21212 19300	15,6	246	22,7	323	300	7,5			
21212 21300	13,2	219	22,9	329	300	7,5			
21212 23300	13	221	22,5	325	300	7,5			
31212 1300	221	178	22,1	309	300	7,7	*	48	
31212 3300	9,35	164	24,5	334	300	7,7			
31212 5300	17,8	259	23,4	326	300	7,7			
31212 7300	13,8	213	24,7	338	300	7,7			
31212 9300	245	233	24	334	300	7,7	*	51	
31212 11300	20,2	284	32,3	391	280	7,2			34.020
31212 13300	22,8	322	27	372	280	7,2			
31212 15300	13,8	215	26,7	370	280	7,2			

**ANEXO C – Fragmento da Planilha de Controle da ETE Durante o Teste em
Planta do PAC**

Produção de PAC					
Consumo Específico de Alumina	kg/t			Nota:	(¹)
Consumo Específico Ácido Clorídrico	kg/t			Nota:	(¹)
(¹)	Resultados referência da planta de PAC da Guaíba Química em Imbaú no Paraná				
Custo de Produção de PAC - Base Líquida					
Custos Variáveis	Consumo Específico	Preço/ Unidade	Custo Específico	Notas	
	t/unid.	R\$/unid.	R\$/t		
Alumina	0,282	938,00	264,52	Nota:	(¹)
Ácido Clorídrico	0,718	158,50	113,80	Nota:	(²)
Água		0,00	0,00	Nota:	(³)
Vapor		0,00	0,00	Nota:	(³)
Energia Elétrica		0,00	0,00	Nota:	(³)
Total de Custos Variáveis			378,32	Nota:	
Custos Fixos	Consumo Específico	Preço/ Unidade	Custo Específico	Notas	
	kg/unid.	R\$/unid.	R\$/t		
Pessoal Operacional	X		10,99	Nota:	
Materiais	X			Nota:	
Manutenção	X		72,49	Nota:	(⁴)
Serviços	X			Nota:	
Depreciação	X		16,61	Nota:	
Parada Geral	X			Nota:	
Pessoal Administrativo	X			Nota:	
Informática	X			Nota:	
Suprimentos	X			Nota:	
Engenharia	X			Nota:	
Outros	X			Nota:	
				Nota:	
Total de Custos Fixos			100,09	Nota:	
Total de Custos	R\$/ton, Base Líquida		478,41	Nota:	
	US\$/ton, Base Líquida		245,34	Nota:	
(¹)	Custo de Produção, na fábrica em Guaíba - RS				
(²)	Custo ex-impuestos, Base líquida, posto em Guaíba - RS				
(³)	Custo assumidos por Celulose Riograndense para processamento do seu PAC consumido				
(⁴)	Custo total de manutenção, base Planta de Imbaú, onde inclui pessoal				

**ANEXO D – Acompanhamento da concentração de cloretos antes
e durante a dosagem de PAC**

NOVEMBRO 2012 - S.A			DEZEMBRO 2012 - PAC		
DATA	CLORETOS g/L	CLORETOS ton/dia	DATA	CLORETOS g/L	CLORETOS ton/dia
01/11/2012	536	18,75	01/12/2012	638	22,86
02/11/2012	487	17,31	02/12/2012	616	22,27
03/11/2012	481	18,01	03/12/2012	617	23,14
04/11/2012	497	19,95	04/12/2012	601	16,17
05/11/2012	529	20,53	05/12/2012	631	23,66
06/11/2012	494	21,06	06/12/2012	632	25,93
07/11/2012	516	19,42	07/12/2012	662	21,16
08/11/2012	504	20,3	08/12/2012	570	21,84
09/11/2012	465	17,75	09/12/2012	555	21,94
10/11/2012	485	16,07	10/12/2012	605	23,48
11/11/2012	501	20,9	11/12/2012	652	23,74
12/11/2012	520	20,04	12/12/2012	672	24,79
13/11/2012	492	18,82	13/12/2012	676	24,6
14/11/2012	473	13,39	14/12/2012	636	23,48
15/11/2012	500	18,62	15/12/2012	621	22,9
16/11/2012	527	18,93	16/12/2012	621	21,22
17/11/2012	532	20,14	17/12/2012	698	26,26
18/11/2012	518	18,6	18/12/2012	651	24,31
19/11/2012	517	19,31	19/12/2012	617	22,37
20/11/2012	529	18,93	20/12/2012	613	23,12
21/11/2012	498	19,93	21/12/2012	644	23,74
22/11/2012	395	13,78	22/12/2012	631	23,46
23/11/2012	473	18,5	23/12/2012	641	22,76
24/11/2012	493	17,12	24/12/2012	643	26,44
25/11/2012	520	19,13	25/12/2012	589	22,92
26/11/2012	555	19,78	26/12/2012	580	24,62

ANEXO E – Características do Efluente que Esta Sendo Gerado no Processo de Produção de Celulose e Papel (Sistema EXCEED)

EFLUENTES DAS AREAS											
TAG	DESCRICAO	INSTANTANEO	MEDIA DIA	TOTAL DIA	MEDIA DIA -1	TOTAL DIA -1					
361ET-152	Efluentes da Fabricacao	1903 l/m³h	2213 l/m³h	2042 m³	2192 l/m³h	3150 m³					
362CT-190	Efluentes Poco Pd	430 us/cm	394.4 us/cm		433.7 us/cm						
366ET-048	Efluente de Recup. Fibras	1878 l/m³h	1863 l/m³h	1725 m³	1853 l/m³h	2669 m³					
463ET-299/3001	Efluente Acido Branqueam.	9600 l/m³h	9467 l/m³h	8740 m³	1795 l/m³h	13561 m³					
463PHI-296	Efluente Acido Branqueam.	7.95 pH	7.91 pH		6.92 pH						
465PHI-271	Efluente Pluvial do Porto	6.83 pH	6.88 pH		6.92 pH						
465ET-045	Efluentes da Secagem	4455 l/m³h	3887 l/m³h	3588 m³	0.000 l/m³h	5039 m³					
571ET-073	Caldeira de Recuperacao	3703 l/m³h	4081 l/m³h	3779 m³	3858.2 l/m³h	5556 m³					
571CI-071	Caldeira de Recuperacao	865.2 us/cm	1569 us/cm		1527 us/cm						
371ET-235	Estocagem Litor Fraco e Desmi	9642 l/m³h	9674 l/m³h		9424 l/m³h						
371CI-236	Estocagem Litor Fraco e Desmi	710.0 us/cm	731.8 us/cm		636.2 us/cm						
574CI-091	Condensado Limpo A	22.56 us/cm	40.01 us/cm		37.42 us/cm						
574CI-092	Condensado Intermediario B	852.7 us/cm	643.2 us/cm		467.5 us/cm						
574CI-093	Condensado C	1952 us/cm	4170 us/cm		4202 us/cm						
574CI-292	Condensado saida Coluna	95.92 us/cm	135.9 us/cm		124.2 us/cm						
574ET-297	Condensado para Efluentes	118.4 m³/h	131.1 m³/h	2022 m³	111.7 m³/h	2680 m³					
381ET-113	Efluentes da Caustificacao	0.000 l/m³h	0.000 l/m³h	0.000 m³	0.000 l/m³h	0.000 m³					
454PHI-104	Efluente Acido Pl. quimica	6.12 pH	5.22 pH		6.10 pH						
452ET-122	Efluente Acido Pl. quimica	510.0 l/m³h	349.6 l/m³h	323.9 m³	69.41 l/m³h	99.95 m³					
454ET-103	Efluente Acido Pl. quimica	0.000 l/m³h	0.000 l/m³h	0.000 m³	0.000 l/m³h	0.000 m³					
452PHI-123	Efluentes da unipap	2646 l/m³h	2567 l/m³h	2370 m³	10.97 pH	3632 m³					
661ET-204	pH Efluente Tratado unipap	8.41 pH	8.22 pH		8.48 pH						
661PH-130	condut. eflu. Tratado unipap	562.7 us/cm	594.0 us/cm		593.1 us/cm						
661CI-131	pH Efluente Pluvial unipap	7.03 pH	6.96 pH		6.85 pH						
661PH-132	condut. eflu. Pluvial unipap	195.1 us/cm	173.0 us/cm		145.2 us/cm						
661CI-133	Fluxo efluente Neutraalizado	36801 l/m³h	44332 l/m³h	32837 m³	43269 l/m³h	49785 m³					
486ET-155	Efluentes Reator UNOX	47295 l/m³h	44332 l/m³h	40924 m³	2.48 mg/l	62311 m³					
486ET-119	Efluentes Neutr. Reator unox	35.95 C									
486TI-275	Efluentes Camara 4	2.13 mg/l	3.20 mg/l								
486O2I-255	pH Efluente PCC	0.004 pH									
RTP6211	pH Lagoa de Contencao	7.31 pH	7.22 pH		7.38 pH						
486PH-256	Temp. Lagoa de Contencao	34.48 C	34.95 C		35.48 C						
486TI-258	condut. Lagoa de Contencao	83.56 us/cm	7.22 us/cm		7.38 us/cm						
486CI-257	Fluxo efluente Tratado	28737 l/m³h	25141 m³			37967 m³					
486ET-134	Efluente Tratado	6.31 pH									
486 TI-132	Temperatura pH-132	34.39 C									
486 TI-457	Temperatura Ambiente ETE	15.72 C									

Usuário: local_gerenciador/relatorios/efluentes:tdf

Inicial

12:21

Redata

Overlays:10

FileView AW920ADMWZAI - Total efluentes
Arquivo
Conteúdo
Branqueamento
Secagem
Recuperacao
Condensacao
Caldeira_Portuaria
Cheruga
Gerencia
Paralelismo
ETAP
Map
AV9202A
Sep 16, 2013
03:22 PM

TREND 1
TREND 2
TREND 3
TREND 4
ACK

ANEXO G – Características do Efluente que chega ao Reator Biológico

	A	B	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ
1		Letura													
2		Análise ET													
3		Análise LI													
4		CEULULOSE FIBROSA/ANIDRASE													
5		Data e Horário													
6		Taglino	Sem												
7		UNIDADE	GB486F119.PV												
8		ESPECIFICAÇÃO	U/min												
9		Média	34.907	645,1	211,3	6,83	37	3,746	0,0	65	1,211	0,48	0,56	1,2	2,7%
322		21/11/2012 00:00	34994	551		7,40	37,02	3,580	0,02	71,9	1,330	0,30	0,50	1,0	0,3%
323		21/11/2012 02:00	29004			7,40	37,14		0,02	85,3	1,480	0,40	0,30	1,0	0,3%
324		21/11/2012 04:00	22613			7,40	36,96	3,710	0,02				0,30		
325		21/11/2012 06:00	23767			7,20	36,48		0,02	62,3	1,160	0,30	0,30	1,0	2,3%
326		21/11/2012 08:00	33805			7,20	36,36	3,600	0,02	58,2	1,110	0,40	0,30	1,0	4,4%
327		21/11/2012 10:00	35497			7,10	37,10	3,450	0,02				0,30		
328		21/11/2012 12:00	34247			7,30	37,77		0,02	60,0	1,080	0,40	0,60	1,0	0,4%
329		21/11/2012 14:00	34856			7,30	38,04	3,480	0,02				0,30		
330		21/11/2012 16:00	35101			7,30	37,78		0,02	66,5	1,140	0,40	0,60	1,0	3,4%
331		21/11/2012 18:00	34613			7,30	37,27	3,590	0,02				0,30		
332		21/11/2012 20:00	35265			7,20	36,97		0,02	73,0	1,460	0,30	0,30	2,0	3,6%
333		21/11/2012 22:00	35603			7,20	36,73	3,710	0,02				0,30		
334		28/11/2012 00:00	35267			7,20	36,82		0,02	66,0	1,340	0,40	0,30	1,0	2,3%
335		28/11/2012 02:00	35278			7,20	37,17	3,640	0,02				0,30		
336		28/11/2012 04:00	35414			7,40	37,46		0,02	67,7	1,350	0,30	0,30	1,0	0,3%
337		28/11/2012 06:00	35104			7,30	37,66	3,570	0,02	62,5	1,310	0,40	0,30	1,0	6,4%
338		28/11/2012 08:00	33008			7,30	38,31	3,450	0,02				0,30		
339		28/11/2012 10:00	34646			7,30	38,79		0,02	71,8	1,380	0,30	0,30	2,0	6,5%
340		28/11/2012 12:00	34021			7,20	38,20	3,300	0,02				0,30		
341		28/11/2012 14:00	34687			7,20	38,20	3,300	0,02				0,30		
342		28/11/2012 16:00	35127			7,20	38,20	3,300	0,02				0,30		

ANEXO J – Dosagem de Produtos Químicos no Sistema Terciário

Arquivo	Página Inicial	Inserir	Layout da Página	Fórmulas	Dados	Revisão	Exibição	Boletim ETE ETA1112.xls [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel											
Área de Transferência								Fonte	Alinhamento	Formatar	Estilos de Células	Inserir	Excluir	Formatar Células	Autosoma	Preencher	Classificar e Filtrar	Localizar e Selecionar	
Arquivo	Página Inicial	Inserir	Layout da Página	Fórmulas	Dados	Revisão	Exibição	Fonte	Alinhamento	Formatar	Estilos de Células	Inserir	Excluir	Formatar Células	Autosoma	Preencher	Classificar e Filtrar	Localizar e Selecionar	
1	A	B	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA					
2		Leitura																	
3		Análise ETE																	
4		Análise LI																	
Químicos - ETE																			
5		Data e Horário	Dia	Leite de Cal	NaOH TOTAL	NaOH TQ. Mistura 3ário	ÁCIDO FOSFORICO	UREIA	POLIMERO TERCÁRIO	POLIMERO TERCÁRIO	ÁCIDO SULFURICO TOTAL	ÁCIDO SULFURICO AO TM	SULFATO DE ALUMINIO E PAC	SULFATO DE ALUMINIO	Tq p/ Teste	EST			
6		TAGInfo	Sem	140.400,00	FR-017	L/min	FR-061	FR-062	0,50%	FR- 073	FR-260	FR-455	52%	FIC-013	LI-006	ALL			
7		UNIDADE	ddd	Kg/dia	L/min	L/min	mL/min	mL/min	ppm	L/min	L/min	L/min	ppm	L/min	%				
8		ESPECIFICAÇÃO																	
9		Média		4.580,0	2,8	2,7	214,1	5,4	1,7	9,7	0,1	0	596	15,7	0,0%				
322		27/11/2012 00:00			3,0	3,0	200,0	4,6	1,7	10,0	0,0	0,0	780	20	0%				
323		27/11/2012 02:00			3,0	3,0	200,0	4,4	1,7	10,0	0,0	0,0	780	15	0%				
324		27/11/2012 04:00			3,0	3,0	200,0	4,4	1,7	10,0	0,0	0,0	730						
325		27/11/2012 06:00			3,0	3,0	168,0	4,2	1,7	10,0	0,0	0,0	730						
326		27/11/2012 08:00			3,0	3,0	168,0	4,2	1,7	10,0	0,0	0,0	730						
327		27/11/2012 10:00	ter		3,0	3,0	160,0	4,4	1,7	10,0	0,0	0,0	400				JABRITO: 09:15h Iniciada dosagem de PAC.		
328		27/11/2012 12:00			3,0	3,0	160,0	4,4	1,7	10,0	0,0	0,0	360						
329		27/11/2012 14:00			3,0	3,0	162,0	4,4	1,7	9,8	0,0	0,0	360						
330		27/11/2012 16:00			3,0	3,0	162,0	4,4	1,7	9,8	0,0	0,0	360						
331		27/11/2012 18:00			0,0	0,0	144,0	4,4	1,7	9,8	0,0	0,0	360	8,6	0%				
332		27/11/2012 20:00			0,0	0,0	144,0	4,4	1,7	9,8	0,0	0,0	330						
333		27/11/2012 22:00		5.280,00	1,2	1,2	132,0	4,6	1,7	9,5	0,0	0,0	330	8,5	0%				
334		28/11/2012 00:00			0,0	0,0	240,0	5,2	1,7	9,5	0,0	0,0	300	7,7	0%				
335		28/11/2012 02:00			0,0	0,0	240,0	5,2	1,7	9,5	0,0	0,0	300	8,0	0%				
336		28/11/2012 04:00			0,0	0,0	280,0	5,0	1,7	10,0	0,0	0,0	320	8,1	0%				
337		28/11/2012 06:00			0,0	0,0	280,0	5,0	1,7	10,0	0,0	0,0	320						
338		28/11/2012 08:00			0,0	0,0	280,0	5,0	1,7	10,0	0,0	0,0	320						
339		28/11/2012 10:00	qua		0,0	0,0	280,0	5,0	1,7	10,0	0,0	0,0	350	8,5	0%				
340		28/11/2012 12:00			0,0	0,0	280,0	5,0	1,7	10,0	0,0	0,0	350						
341		28/11/2012 14:00			0,0	0,0	280,0	5,0	1,7	10,0	0,0	0,0	350						
342		28/11/2012 16:00			0,0	0,0	280,0	5,0	1,7	10,0	0,0	0,0	350	8,5	0%				

ANEXO K – L.O. Licença Operacional Para o Empreendimento (08 páginas)



1/8

LICENÇA DE INSTALAÇÃO

LI N. ° 687/2008-DL

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental, criada pela Lei Estadual n. ° 9.077 de 04/06/90 e com seus Estatutos aprovados pelo Decreto n. ° 33.765, de 28/12/90, registrada no Ofício do Registro Oficial em 01/02/91, no uso das atribuições que lhe confere a Lei n. ° 6.938, de 31/08/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto n. ° 99.274, de 06/06/90 e com base nos autos do processo administrativo n. ° 4314-05.67/08-2, expede a presente LICENÇA DE INSTALAÇÃO que autoriza o:

EMPREENHIMENTO: 5142,
EMPRESA: ARACRUZ CELULOSE S/A.,
CNPJ: 42.157.511/0039-34
ENDEREÇO: Rua São Geraldo, 1800,
MUNICÍPIO: Guaíba - RS,

CODRAM: 1710,00

a promover a ampliação relativa

à atividade de: **FABRICAÇÃO DE CELULOSE E PAPEL**, com uma área útil total de 1.070.679,946 m² e 794 empregados e **TERMINAL PORTUÁRIO**, com área útil total de 101.004,45 m²,

localizado: na rua São Geraldo, n.º 1800, no município de Guaíba - RS.

Com as seguintes condições e restrições:

- 01-a capacidade produtiva máxima atual é 460.000 tSA/ano de celulose branqueada e 6.000 t/mês de papéis off-set;
- 02-esta licença autoriza a implantação da expansão da Unidade Fabril da Aracruz Celulose S/A, visando um aumento de produção onde a linha 1 produzirá 500.000 tSA/ano de celulose branqueada e a instalação da linha 2 com uma capacidade produtiva de 1.300.000 tSA/ano de celulose branqueada;
- 03-esta licença contempla ainda a ampliação do **TERMINAL PORTUÁRIO**, utilizado para recebimento de madeira e embarque de celulose, de uso privativo da empresa Aracruz Celulose S/A;
- 04- a empresa terá sua área construída ampliada em 560.312,76 m²;
- 05-a Aracruz Celulose S/A deverá proceder à publicação da concessão da presente licença, em conformidade com a Resolução CONAMA nº 006/86, no prazo de 30 (trinta) dias, devendo, neste mesmo prazo, enviar cópia desta publicação a esta Fundação;
- 06-o processo a ser implantado pela Aracruz Celulose S/A referente a esta ampliação com a introdução da Linha 2, será o processo ECF – Elemental Chlorine Free, para o branqueamento da polpa de celulose;
- 07-esta licença contempla as seguintes instalações e equipamentos principais referentes à linha 2: 3 (três) novos picadores de madeira alimentados por mesas receptoras, seguidas de transportadores de correia, rolos para remoção de casca residual e outros contaminantes, estação de lavagem de toras e detector de metais para proteção dos picadores; estocagem de cavacos em pilha circular com capacidade de 80.000 m³ (Stacker Reclaimer); 01 (uma) estação de classificação e peneiramento de cavacos; 01 (um) digestor contínuo; 01 (um) sistema de lavagem com prensas ou lavadores de tambor; 02 (dois) depuradores de nós pressurizados; 01 (um) sistema de depuradores para palitos; 02 (dois) reatores de deslignificação com oxigênio; 01(um) sistema de lavagem com prensas ou lavadores tambor, para lavagem da polpa depurada e deslignificada; 03 (três) torres de branqueamento; 03 (três) lavadores tipo prensa ou de tambor, um entre cada estágio do branqueamento; 01 (um) sistema de depuradores para polpa branqueada; 01 (uma) máquina de secagem tipo air borne; 01 (uma) cortadeira; 04 (quatro) linhas de enfardamento; 01 (uma) planta de evaporação com coluna de metanol; 01 (uma) caldeira de recuperação; 01 (uma) planta de caustificação; 01 (um) forno de cal; 02 (dois) turbogeradores; 01 (uma) unidade de geração de dióxido de cloro; 01 (uma) estação de tratamento de água; 01 (uma) estação de tratamento de efluentes;
- 08- esta licença contempla as seguintes alterações na linha 1 (atualmente em operação): desativação do sistema atual de picagem de madeira; reforma da planta de cozimento e de lavagem de polpa marrom; desativação da planta de flash dryer; aumento da capacidade de secagem existente e instalação de nova linha de enfardamento; reforma da planta de cloro/soda para operação com sua máxima capacidade; instalação de sistema de torre de resfriamento visando a eliminação do uso de água mecânica utilizada no circuito aberto de resfriamento; incineração do GNC (gases não condensáveis) concentrado da Linha 1 na caldeira de recuperação 1, com utilização de flare como backup e desativação do incinerador existente; incineração dos gases do tanque de dissolução da Linha 1, na caldeira de recuperação 1 e instalação de coluna de metanol para os gases da planta de evaporação da linha existente;

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler/RS

Rua Carlos Chagas, 55 – Fone: (51) 3225-1588 – FAX: (51) 3212-4151 – CEP 90030-020 – Porto Alegre – RS - Brasil

09-quanto ao Terminal Portuário:

09.1-a empresa deverá apresentar, **em um prazo máximo de 6 (seis) meses**, projeto executivo da ampliação do terminal portuário, acompanhado da respectiva anotação de responsabilidade técnica (ART);

09.2-os efluentes líquidos gerados na área do porto deverão ser tratados na estação de tratamento de efluentes da planta industrial;

09.3-as áreas de recebimento e manuseio de produtos perigosos deverão ser impermeabilizadas, devendo ser prevista a construção de bacia de contenção, de modo a evitar a contaminação das áreas de possíveis vazamentos;

09.4-no caso de abastecimento de navios no cais, este só poderá ser efetuado por veículos licenciados para Fontes Móveis de Poluição na FEPAM;

09.5-deverão ser instaladas barreiras flutuantes ao redor das embarcações, quando estas estiverem atracadas para abastecimento de combustível.

10-quanto ao meio antrópico:

10.1-deverão ser desenvolvidas, em conjunto com o município de Guaíba, as adequações necessárias ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, ao sistema viário adjacente e ao sistema de transporte coletivo, considerando a implantação do empreendimento;

10.2-deverão ser implantados os projetos e atividades propostas na Tabela V.2-3 do EIA, que trata dos potenciais impactos sobre fatores ambientais do meio antrópico;

10.3-deverá ser iniciada imediatamente a implantação do Programa de Comunicação Social para esclarecimento às comunidades interessadas, com vistas a minimizar um processo migratório para o município e região, deflagrado pelas notícias de possibilidade de emprego que surgirão com as obras. Também as comunidades da Área de Influência Local deverão receber informações sobre o andamento da implantação da Linha 2, através deste mesmo programa;

10.4-deverá ser executado o Programa de Supervisão Ambiental da fase de implantação das obras de ampliação, contemplando todos os programas ambientais e de monitoramento conforme proposta apresentada, devendo no mesmo também ser incluído o acompanhamento das obras de instalação das unidades industriais, de seus equipamentos de controle, das obras de ampliação do porto e de todas as utilidades que farão parte do empreendimento;

10.4.1-deverá contratar uma equipe técnica para realizar a supervisão ambiental do empreendimento durante a fase de ampliação, que será responsável pelo acompanhamento de todas as ações e obras que envolvem a ampliação licenciada;

10.4.2-deverá ser apresentado um relatório técnico, com **frequência trimestral**, onde deverão constar todas as ações realizadas no período relativas a todos os projetos/programas e obras, devendo ser observado a atualização das responsabilidades técnicas (ARTs) por cada atividade, este relatório deverá vir assinado pelo coordenador da equipe técnica responsável pela supervisão ambiental;

10.4.3-deverá ser apresentado em um prazo de 30 (trinta) dias as anotações de responsabilidade técnica (ARTs) dos profissionais responsáveis pela supervisão ambiental das obras;

10.5-deverão ser integralmente executadas todas as atividades propostas no "Programa de Treinamento e Educação Ambiental - Expansão Aracruz" conforme proposta apresentada a FEPAM elaborada pela empresa Vida Produtos e serviços em Desenvolvimento Ecológico a ser aplicado junto aos trabalhadores da empresa e de terceirizadas, envolvidos nas obras de implantação, bem com nas atividades operacionais deste empreendimento, objetivando a informação e a sensibilização dos mesmos, com vista à preservação ambiental;

11-quanto às obras de terraplenagem e construção civil:

11.1-em caso de necessidade de utilização ou de remoção de material mineral nas obras de implantação do empreendimento, o mesmo deverá ser proveniente ou ser encaminhado para local devidamente licenciado junto a FEPAM;

11.2-deverá realizar o gerenciamento dos resíduos gerados durante a sua implantação, de acordo com o Projeto de Gerenciamento dos Resíduos de Construção Civil apresentado sob ART nº 4308301, de modo a atender o disposto na Resolução CONAMA nº 307/2002, alterada pela Resolução CONAMA nº 348/2004;

12-quanto ao meio biótico e monitoramento biológico:

12.1-deverá ser seguido o constante no art. 9 da Resolução CONSEMA 129/2006, que Dispõe sobre a Definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul, em sua respectiva faixa de vazão, textualmente: Prazo de até 2 (dois) anos: o efluente não deve apresentar toxicidade crônica para organismos-teste de pelo menos dois diferentes níveis tróficos e não deve apresentar genotoxicidade;

- 12.2-deverá ser realizada caracterização da atividade mutagênica e citotóxica do efluente tratado, utilizando metodologia reconhecida pela Sociedade Brasileira de Mutagenese, Carcinogenese e Teratogenese Ambiental. Quando houver qualquer modificação do tratamento e quando este demonstrar a ausência de toxicidade crônica, esta deverá vir acompanhada da respectiva anotação de responsabilidade técnica;
- 12.3-a empresa deverá dar continuidade aos estudos de malformações em peixes, prosseguindo os levantamentos nos moldes solicitados observando a adequação do ponto de referência, com envio anual de um relatório circunstanciado;
- 12.4-deverá ser integralmente mantida e preservada a APP (Área de Preservação Permanente) correspondente a uma faixa marginal com 30 (trinta) metros de largura ao longo do lago Guaíba o qual limita parte das porções norte e leste da área total ocupada pela indústria, assim como toda e qualquer vegetação existente dentro dos limites desta área, conforme estabelece a RESOLUÇÃO CONAMA N.º 303 de 20/03/2002;
- 12.5-deverá ser integralmente mantida e preservada a APP (Área de Preservação Permanente), correspondente a uma faixa marginal com largura mínima de 15 (quinze) metros ao redor do reservatório artificial localizado junto à extremidade nordeste da área ocupada pela indústria, bem como toda e qualquer vegetação existente dentro dos limites desta área, conforme estabelece RESOLUÇÃO CONAMA N.º 302 de 20/03/02;
- 12.6 -deverá ser integralmente mantida e preservada a APP (Área de Preservação Permanente) correspondente a uma faixa marginal com 30 (trinta) metros de largura ao redor da lagoa de contenção das águas pluviais localizada na porção norte da área ocupada pela indústria conforme estabelece a RESOLUÇÃO CONAMA N.º 303 de 20/03/2002;
- 12.7-deverá ser alvo de medidas preservacionistas a área verde localizada junto a parte das porções norte e leste da área total ocupada pela indústria, a qual apresenta-se diretamente associada às APPs citada nos itens anteriores;
- 12.8-deverão ser executadas medidas de contenção aos processos erosivos na fase de implantação das obras a fim de que se evite por completo, interferências aos corpos ou cursos d'água localizados nas proximidades área da indústria;
- 12.9-os projetos de implantação do empreendimento deverão levar em consideração a necessidade de prever o menor impacto possível sobre as formações vegetais nativas existentes dentro dos limites da gleba;
- 12.10-deverá ser apresentado a FEPAM, até 31/12/2008, projeto detalhado contemplando atividades de compensação ambiental, adicionais àquelas oriundas da reposição florestal obrigatória, bem como àquelas referentes à implantação do cortinamento vegetal e àquelas estabelecidas pela RESOLUÇÃO CONAMA N.º 371 de 05 de abril de 2006, tendo em vista os potenciais impactos ambientais oriundos da implantação e a operação deste empreendimento conforme informações contidas no Estudo de Impacto Ambiental apresentado;
- 12.11-deverá ser dada continuidade às atividades de biomonitoramento de dioxinas e furanos nas águas do lago Guaíba, junto à área de influência do ponto de lançamento dos efluentes líquidos tratados na indústria. Este biomonitoramento deverá ser realizado através da utilização de organismos aquáticos bioacumuladores (moluscos bivalves), conforme proposta apresentada a FEPAM, elaborada pelo Laboratório Aplysia. As atividades previstas deverão contar com campanhas amostrais **semestrais, por tempo indeterminado**, com início previsto já para a fase de implantação das obras desta ampliação e com o envio a FEPAM também **semestralmente** de relatórios técnicos acompanhados de ART, contemplando os resultados e as conclusões até então obtidas. O primeiro destes relatórios deverá ser entregue a FEPAM **em até seis meses** a partir da data de emissão desta Licença de Instalação;
- 12.12-deverão ser integralmente executadas todas as atividades propostas no "Projeto de Cortinamento Vegetal do Perímetro da Planta Industrial da Aracruz Celulose S.A., Município de Guaíba, RS", apresentado a esta Fundação sob ARTs N.º 03-003197-08 e 03-003199-08, ambas do CRBio 3, o qual prevê o plantio de exemplares arbóreos de espécies nativas, em duas etapas, quais sejam: entre os períodos de **agosto 2008 até junho de 2009** e de **julho de 2010 até junho de 2011**, a serem dispostos de forma a ocuparem uma faixa com largura correspondente a 08 (oito) metros, ao longo do perímetro da área total da empresa, ocupando cerca de 15 hectares;
- 12.13-os espécimes utilizados no plantio referente ao item 12.12 serão distribuídos em linhas paralelas de plantio e, quando adultas, deverão formar uma barreira física natural compondo estratos diferentes de altura com a finalidade de minimizar quaisquer possíveis impactos às áreas circunvizinhas, por parte das atividades a serem desenvolvidas neste empreendimento. Após o início das atividades previstas no "Projeto de Cortinamento Vegetal do Perímetro da Planta Industrial da Aracruz Celulose S.A., Município de Guaíba, RS", apresentado a esta Fundação sob ARTs N.º 03-003197-08 e 03-003199-08, ambas do CRBio 3 deverão ser encaminhados à FEPAM, **trimestralmente**, relatórios técnicos acompanhados de registros fotográficos, bem como de ART, do profissional responsável pelas informações, prestando contas do andamento das atividades. O primeiro dos relatórios citados deverá ser entregue **até o final do mês de outubro de 2008**;
- 12.14-após a integral execução de todas as atividades constantes no "Projeto de Cortinamento Vegetal do Perímetro da Planta Industrial da Aracruz Celulose S.A., Município de Guaíba, RS" apresentado a esta Fundação sob ARTs N.º 03-003197-08 e 03-003199-08, ambas do CRBio 3, com previsão para junho de 2011, deverão ser encaminhados à

FEPAM, **relatórios semestrais**, pelo prazo mínimo de 04 (quatro) anos, referentes às condições de medra dos exemplares arbóreos utilizados no referido projeto. Cada um destes relatórios deverá ser apresentado em conjunto com a ART do profissional responsável pelas atividades, bem como de relatório fotográfico detalhado das áreas contempladas pelos plantios. O primeiro destes relatórios deverá ser encaminhado a esta Fundação, em até 06 (seis) meses, após o término das atividades de plantio;

- 12.15-os relatórios citados no item 12.14 deverão contemplar, também, informações como: o volume de perdas ocorridas durante o tempo transcorrido, bem como o projeto de reposição dos espécimes mortos, com cronograma de implantação desta nova atividade;
- 12.16-após o desenvolvimento inicial das mudas previstas no “*Projeto de Cortinamento Vegetal do Perímetro da Planta Industrial da Aracruz Celulose S.A., Município de Guaíba, RS*”, esta Fundação poderá reavaliar se a quantidade ou as espécies utilizadas são de fato apropriados ou não para que os objetivos da solicitação da implantação deste cortinamento sejam alcançados, caso necessário, novas medidas complementares serão solicitadas;
- 12.17-caso seja necessária à utilização de defensivos químicos para combate de possíveis danos às novas mudas, tal atividade deverá ser acompanhada de profissional habilitado e deverá ser apresentada a esta Fundação a cópia do receituário agrônômico do mesmo;
- 12.18-toda e qualquer metodologia de combate às “pragas” que venham a ser utilizadas em APP (Área de Preservação Permanente) deverá ser alvo de licenciamento específico junto à FEPAM através da DASP-SELCA;
- 12.19-deverá ser destinada a importância equivalente a **R\$ 18.293.880,00 (dezoito milhões, duzentos e noventa e três mil, oitocentos e oitenta reais)**, referente à medida compensatória (implantação e manutenção de unidades de conservação do Grupo de Proteção Integral), valor este correspondente a **0.6 %** do montante informado como sendo o investimento a ser considerado na expansão desta unidade industrial da empresa ARACRUZ CELULOSE S. A. em atendimento ao que estabelece o Art. 6º da Resolução CONSEMA N.º 001/00 de 21 de janeiro de 2000, bem como as normas legais Lei n.º 9.985 de 18 de julho de 2000 e Resolução CONAMA N.º 371 de 05 de abril de 2006;
- 12.20-os recursos da medida compensatória referida no item anterior deverão ser aplicados em área(s) do Bioma Pampa indicadas no seminário do Plano do SEUC - Sistema Estadual de Unidades de Conservação e consubstanciadas no ZAS - Zoneamento Ambiental da Silvicultura;
- 12.21-deverá cumprir com o compromisso assumido através do **TCA/ASSEJUR/FEPAM n.º. 006/2008** firmado com a FEPAM em 30 de junho de 2008, atendendo o disposto na RESOLUÇÃO CONAMA 371, de 05 de abril 2006, RESOLUÇÃO CONSEMA 01/2000, de 21 de janeiro de 2000, Lei n.º 9.985 de 18 de julho de 2000 e, especialmente, o § 2º do Art. 5º da RESOLUÇÃO CONAMA 371, de 05 de abril 2006 e o Art. 11, da RESOLUÇÃO CONSEMA 001/00, de 21 de janeiro de 2000.

13-quanto ao manejo de vegetação nativa:

- 13.1-autoriza a supressão de vegetação nativa sucessora, apresentando-se nos estágios inicial e médio de regeneração, totalizando 156,09 m³ de toras e 16,99 m³ de lenha, conforme o informado, ocorrente na propriedade da Aracruz Celulose S/A, na cidade de Guaíba, nas glebas definidas como Área 1, Área 2, Área 3, Área 4, Área 6 e Área 7;
- 13.2-autoriza os transplantes de 5 butiazeiros - *Butia capitata*, 36 corticeiras-do-banhado - *Erythrina crista-galli* e 12 figueiras - *Ficus sp*, que deverão ser relocados para as áreas previamente selecionadas como de recuperação, conforme projeto;
- 13.3-deverá apresentar a locação em planta, das áreas selecionadas para a efetivação da reposição florestal obrigatória, e de reintrodução da flora resgatada e transplantada em um prazo de 06 (seis) meses;
- 13.4-as atividades de manejo deverão ser acompanhadas por um técnico responsável com habilitação;
- 13.5-a supressão da vegetação nativa, deverá ficar restrita aos locais previstos para a instalação do empreendimento, conforme projeto técnico apresentado;
- 13.6-fica proibida a utilização de fogo e de processos químicos para todas as formas de intervenções na vegetação nativa, em qualquer fase de implantação do empreendimento.
- 13.7-deverão ser mantidos os remanescentes florestais que não interferirão na implantação do projeto;
- 13.8-a reposição florestal obrigatória deverá ser realizada no prazo de um ano, a partir da emissão desta licença;
- 13.9-deverão ser apresentados os relatórios atinentes as atividades de transplantes dos exemplares considerados imunes ao corte, assinados pelo responsável técnico com uma frequência **trimestral**;
- 13.10-o documento que autoriza o transporte da matéria-prima florestal nativa oriunda do licenciamento é o Documento de Origem Florestal – DOF. Este deverá ser emitido pelo empreendedor, junto ao Sistema de Controle Federal do IBAMA, compatível com o volume de matéria-prima a ser transportada, vinculada ao autorizado na Licença de Instalação;

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler/RS

Rua Carlos Chagas, 55 – Fone: (51) 3225-1588 – FAX: (51) 3212-4151 – CEP 90030-020 – Porto Alegre – RS - Brasil

14-deverá manter um “site” específico na Rede Mundial de Computadores (Internet) para divulgação dos resultados de monitoramento exigidos nesta licença, devendo ser interpretados segundo os padrões legais vigentes e os termos, condições e restrições desta licença ambiental;

15-quanto aos efluentes líquidos:

15.1-os efluentes líquidos industriais e sanitários deverão ser tratados de forma a atender aos padrões de emissão constantes nas Resoluções CONSEMA N^{os} 128/2006 e 129/2006:

Parâmetros	Padrão de Emissão a ser atendido
Temperatura	inferior a 40 °C sendo a variação de temperatura do corpo receptor inferior a 3 °C na zona de mistura
Sólidos Sedimentáveis	até 1 ml/l, em teste de 1 hora em cone Imhoff
PH	entre 6,0 e 9,0
DBO5 (20 °C)	até 36 mg/l
DQO	até 140 mg/l
Sólidos Suspensos	até 45 mg/l
Fósforo Total	até 0,9 mg/l P ou 75% de remoção
Nitrogênio Total Kjeldahl	até 9 mg/l N ou 75% de remoção
Coliformes Termotolerantes	até 1.000 NMP/100 ml ou 99% de remoção
Cloretos	até 28,80 t/d
Cloratos	-
Sulfetos	até 0,18 mg/l
Merúrio	até 0,009 mg/l
Fenóis	até 0,05 mg/l
Compostos Clorofenólicos	-
AOX	até 0,10 Kg AOX/tSA polpa branqueada
Cor	não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor

15.2- a vazão máxima permitida para o lançamento do efluente industrial para as duas linhas será de **154.400 m³/dia**;

15.3-deverá ser mantida nos valores atuais a carga de cloratos no efluente tratado final;

15.4-deverão ser dotadas de bacias de emergência as estações de tratamento de efluentes da linha 1 e da linha 2 para desvio de efluentes contaminados ou fora dos padrões estabelecidos para posteriormente serem redirecionado para tratamento, sendo terminantemente vedada qualquer hipótese de os mesmos atingirem as águas do lago Guaíba sem tratamento;

15.5-deverá apresentar, até **31/05/2009**, projeto executivo da estação de tratamento dos efluentes líquidos industriais para a linha 2, devidamente assinado pelo responsável pelo mesmo, acompanhado da respectiva ART (Anotação de Responsabilidade Técnica. Neste projeto deverá ser especificado o material dos equipamentos do tratamento, bem como constar, em planta, os referidos equipamentos (vista lateral e superior, em cortes) dentro da área do empreendimento, com as respectivas canalizações (com indicação da extensão das mesmas), informação sobre a impermeabilização a ser implantada nas diferentes etapas do tratamento, devendo ser avaliada a melhor alternativa para redução de sólidos no tratamento terciário, considerando a importância para a redução da toxicidade no efluente;

15.6-deverá rodar modelo matemático, adequado ao Lago Guaíba, com a devida análise de sensibilidade deste, considerando um ano hidrológico com medições de variação mensal, incorporando ao mesmo a carga atual de poluentes e os dados de monitoramento do DMAE, devendo o respectivo relatório ser apresentado até **31/08/2008**;

15.7-o corpo receptor dos efluentes líquidos industriais tratados será o **LAGO GUAÍBA**;

16-Quanto ao monitoramento da Qualidade do Ar:

16.1- a empresa deverá instalar, calibrar, manter e operar uma rede de estações de monitoramento da qualidade do ar, visando:

16.2-a empresa deverá monitorar a qualidade do ar, quanto aos parâmetros legislados (PTS -Partículas Totais em Suspensão, PI - Partículas Inaláveis, SO₂, CO, NO₂, ERT (enxofre reduzidos totais) e ozônio, em área de influência direta, através de no mínimo, uma estação automática de monitoramento contínuo;

16.3-a empresa deverá monitorar as condições meteorológicas locais, através da instalação, de no mínimo, uma estação meteorológica, medindo os seguintes parâmetros: pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade, velocidade e direção do vento e radiação solar;

- 16.4- a empresa deverá instalar, manter e operar a rede de monitoramento da qualidade do ar, em caráter permanente, devendo ser prevista a sua implantação e início de operação, **no mínimo 01 (um) ano antes da partida da linha 2;**
- 16.5-as estações de monitoramento contínuo e automático da qualidade do ar e meteorológica deverão integrar em caráter permanente a Rede Ar do Sul, da FEPAM, portanto devem ser sinalizadas conforme o padrão da Rede e compatíveis com este sistema, sendo que os dados destas estações serão divulgados pela FEPAM juntamente com as demais estações da Rede;
- 16.6-deverá ser implementado o “**Plano de Monitoramento para os BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO AR**” abrangendo, no mínimo, as áreas de influência direta e indireta estabelecidas para os impactos das emissões atmosféricas oriundas deste empreendimento, o qual deverá ser desenvolvido através da utilização de bioindicadores vegetais, contemplando atividades de biomonitoramento passivo e ativo conforme proposta apresentada à FEPAM elaborada pelo Centro de Ecologia do Instituto de Biociências da UFRGS;
- 16.7-deverá ser apresentado à FEPAM, **no prazo máximo de 60 (sessenta) dias**, informações complementares ao “**Plano de Monitoramento para os BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO AR**” apresentado à FEPAM elaborada pelo Centro de Ecologia do Instituto de Biociências da UFRGS contemplando informações detalhadas a respeito do mesmo, como, definição da localização das estações de amostragem, área de abrangência, ART dos responsáveis técnicos pela elaboração e execução do plano, identificação das espécies a serem utilizadas, cronograma com previsão para execução das atividades e demais informações pertinentes. As atividades previstas deverão contar com campanhas amostrais trimestrais, **por tempo indeterminado**, com início previsto já para a fase de implantação das obras desta ampliação e com o envio a FEPAM, **anualmente**, de relatórios técnicos acompanhados de ART, contemplando os resultados e as conclusões até então obtidas. O primeiro destes relatórios deverá ser entregue a FEPAM, **em até um ano**, a contar da data de emissão desta Licença de Instalação;
- 17- quanto as Fontes de Emissões Atmosféricas:**
- 17.1- Caldeira de Força a Carvão:**
- 17.1.1-Material Particulado - não poderá ultrapassar ao limite máximo de 50 mg/Nm³, em base seca e a 8% de oxigênio;
- 17.1.2-Dióxido de Enxofre - não poderá ultrapassar ao limite máximo de 400 mg/Nm³, em base seca e a 6% de oxigênio;
- 17.1.3-Óxidos de Nitrogênio - não poderá ultrapassar ao limite máximo de 450 mg/Nm³, em base seca e a 6% de oxigênio;
- 17.1.4-Opacidade - não poderá exceder ao limite de 20 % (vinte por cento), para períodos superiores a seis minutos em uma hora e nunca exceder a 27 % (vinte e sete por cento);
- 17.1.5-a empresa deverá apresentar até **01/12/2009**, definição da alternativa a ser adotada visando o atendimento ao padrão de emissão estabelecido no item **16.1.2** acompanhada dos respectivos projetos do que será implantado;
- 17.2- Forno de cal (linha 1 – atual)**
- 17.2.1-Material Particulado Total: não poderá ultrapassar o limite de 100 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.2.2- Dióxido de Nitrogênio: não poderá ultrapassar o limite de 400 mg/Nm³, em base seca e condição referencial e oxigênio de 8%;
- 17.2.3- Monóxido de Carbono: não poderá ultrapassar o limite de 250 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.2.4- Enxofre Reduzido Total (ERT), medido como H₂S: não poderá ultrapassar o limite de 5 ppm, condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.3- Caldeira de Recuperação (Linha 1- atual)**
- 17.3.1 - Material Particulado Total: não poderá ultrapassar o limite de 100 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.3.2- Dióxido de Enxofre não poderá ultrapassar o limite de 90 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.3.3- Monóxido de Carbono: não poderá ultrapassar o limite de 750 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.3.4- Enxofre Reduzido Total (ERT), medido como H₂S: não poderá ultrapassar o limite de 0,8 ppm, condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.3.5-Dióxido de Nitrogênio: não poderá ultrapassar o limite de 350 mg/Nm³, em base seca e condição referencial e oxigênio de 8%;
- 17.4- Forno de cal (linha 2 – nova)**
- 17.4.1 - Material Particulado Total: não poderá ultrapassar o limite de 50 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;

- 17.4.2- Dióxido de Nitrogênio: não poderá ultrapassar o limite de 400 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.4.3- Monóxido de Carbono: não poderá ultrapassar o limite de 250 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.4.4- Enxofre Reduzido Total (ERT), medido como H₂S: não poderá ultrapassar o limite de 5 ppm, condição referencial de oxigênio de 8%;

17.5- Caldeira de Recuperação (linha 2- nova)

- 17.5.1 - Material Particulado Total: não poderá ultrapassar o limite de 50 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.5.2- Dióxido de Enxofre: não poderá ultrapassar o limite de 90 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.5.3- Monóxido de Carbono: não poderá ultrapassar o limite de 750 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.5.4- Enxofre Reduzido Total (ERT), medido como H₂S: não poderá ultrapassar o limite de 0,5 ppm, condição referencial de oxigênio de 8%;
- 17.5.5- Dióxido de Nitrogênio: não poderá ultrapassar o limite de 350 mg/Nm³, em base seca e condição referencial de oxigênio de 8%;

18-quanto ao monitoramento das emissões atmosféricas:

- 18.1-deverá instalar, calibrar, manter e operar sistemas de monitoramento e de registro contínuos para as emissões de SO₂, NOx, CO, O₂, ERT e opacidade, no duto de saída das chaminés, devendo, sistematicamente, comunicar os resultados à FEPAM;
- 18.1.1-deverá apresentar a descrição dos equipamentos a serem implantados visando atender ao solicitado no item 18.1, até 31/12/2008;
- 18.2-os níveis de ruído gerados pela atividade industrial da empresa deverão atender aos padrões estabelecidos pela NBR-10151, da ABNT, conforme Resolução CONAMA Nº01, de 08-03-1990;
- 19-as atividades de implantação deverão ser conduzidas de forma a não emitir substâncias odoríferas na atmosfera, em quantidades que possam ser perceptíveis fora do limites do empreendimento;
- 20-deverão ser controladas as vibrações mecânicas geradas na implantação do empreendimento, de modo a não atingir níveis passíveis de causar incômodo à vizinhança;

21-quanto aos resíduos sólidos industriais:

- 21.1-os resíduos sólidos gerados deverão ser segregados, identificados, classificados e acondicionados para armazenagem temporária na área objeto deste licenciamento, observando as Normas NBR 12235 e a NBR 11174, da ABNT, em conformidade com o tipo de resíduo, até posterior destinação final dos mesmos;
- 21.2-deverá apresentar, até 31/12/2008, projeto executivo, relativo a modernização das áreas de armazenamento temporário dos resíduos sólidos industriais, acompanhado da respectiva ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) do responsável pelo projeto, contemplando, entre outros, memorial descritivo e localização em planta desta(s) área(s), com especificações do telhado de cobertura e da impermeabilização do piso, tipos e quantidades de resíduos a serem gerados, forma de acondicionamento e de armazenamento dos mesmos e capacidade de armazenamento;
- 21.3-quando da operação do empreendimento, deverá ser implantado o **Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**, conforme plano a ser apresentado, contemplando, inclusive, os procedimentos e responsabilidades para a coleta, a segregação e o armazenamento temporário na área da empresa, observando as Normas NBR 12235 e NBR 11174, da ABNT, em conformidade com o tipo de resíduo e, ainda, a destinação final de todos os resíduos sólidos gerados no processo industrial;
- 21.4-as áreas de recebimento de resíduos líquidos, transferência e tancagem deverão ser impermeabilizadas e protegidas por bacias de contenção, com previsão de drenagem para um sistema de coleta e contenção/tratamento (conforme o caso), de modo a evitar a contaminação das áreas por possíveis vazamentos;
- 21.5-deverá estar concluída a ampliação da Central de Resíduos Sólidos Industriais Classe II do Horto Florestal José Lutzenberger com a respectiva licença de operação em vigor, antes da entrada em operação da linha 2;

22-quanto aos riscos industriais:

- 22.1-o transporte de produtos perigosos, utilizados ou produzidos no processo industrial da empresa, só poderá ser realizado por veículos licenciados pela FEPAM para Fontes Móveis com potencial de poluição ambiental;
- 22.2-a unidade industrial após sua ampliação deverá ficar enquadrada dentro dos limites de tolerabilidade de riscos estabelecidos no Manual de Análise de riscos da FEPAM.

22.3-deverá ser apresentada, até 30/06/2009, uma Análise Quantitativa de Riscos conforme o estabelecido no Apêndice 3 do Manual de Análise de Riscos da FEPAM,

23-todas as áreas de processo, manuseio de matérias prima, insumos deverão ser impermeabilizadas, com previsão de drenagem para um sistema de coleta e contenção/tratamento (conforme o caso), de modo a evitar a contaminação destas áreas por possíveis vazamentos.

Com vistas à renovação da LICENÇA DE INSTALAÇÃO, o empreendedor deverá apresentar:

- 1-requerimento solicitando a renovação da Licença de Instalação;
- 2-cópia desta licença;
- 3-o formulário ILAI – Informações para Licenciamento de Atividades Industriais devidamente preenchido e atualizado em todos os seus itens (o formulário encontra-se disponível na home-page da FEPAM: www.fepam.rs.gov.br, em *Licenciamento Ambiental/ Licenciamento Ambiental/ Formulários/ Licença/ Indústria/Atividades Industriais-ILAI*);
- 4- relatório técnico assinado por profissional habilitado, com ART, descrevendo as obras já realizadas e medidas de controle ambiental adotadas;
- 5-cronograma atualizado para a conclusão das obras.
- 6-comprovante de pagamento dos custos dos Serviços de Licenciamento Ambiental.

Com vistas à solicitação da LICENÇA DE OPERAÇÃO, o empreendedor deverá apresentar:

- 1-requerimento solicitando a Licença de Operação;
- 2-cópia desta licença;
- 3-o formulário ILAI – Informações para Licenciamento de Atividades Industriais devidamente preenchido e atualizado em todos os seus itens (o formulário encontra-se disponível na home-page da FEPAM: www.fepam.rs.gov.br, em *Licenciamento Ambiental/ Licenciamento Ambiental/ Formulários/ Licença/ Indústria/Atividades Industriais-ILAI*);
- 4-relatório técnico acompanhado da respectiva anotação de responsabilidade técnica (ART), informando sobre a conclusão de todas as obras e instalações licenciadas, conforme licenciada;
- 5-comprovante de pagamento dos custos dos Serviços de Licenciamento Ambiental.

Havendo alteração nos atos constitutivos, cópia da mesma deverá ser apresentada, imediatamente, à FEPAM, sob pena do empreendedor acima identificado continuar com a responsabilidade sobre a atividade/empreendimento licenciado por este documento.

Este documento licenciatório perderá sua validade caso os dados fornecidos pelo empreendedor não correspondam à realidade ou algum prazo estabelecido nas condições acima seja descumprido.

Para início de operação da atividade, o empreendedor deverá obter junto a este órgão a LICENÇA DE OPERAÇÃO, no prazo de validade da Licença de Instalação. Caso a atividade não venha a ser implantada neste período, o empreendedor deverá solicitar a renovação desta licença.

Esta licença não dispensa nem substitui quaisquer alvarás ou certidões de qualquer natureza exigidos pela legislação Federal, Estadual ou Municipal, nem exclui as demais licenças ambientais.

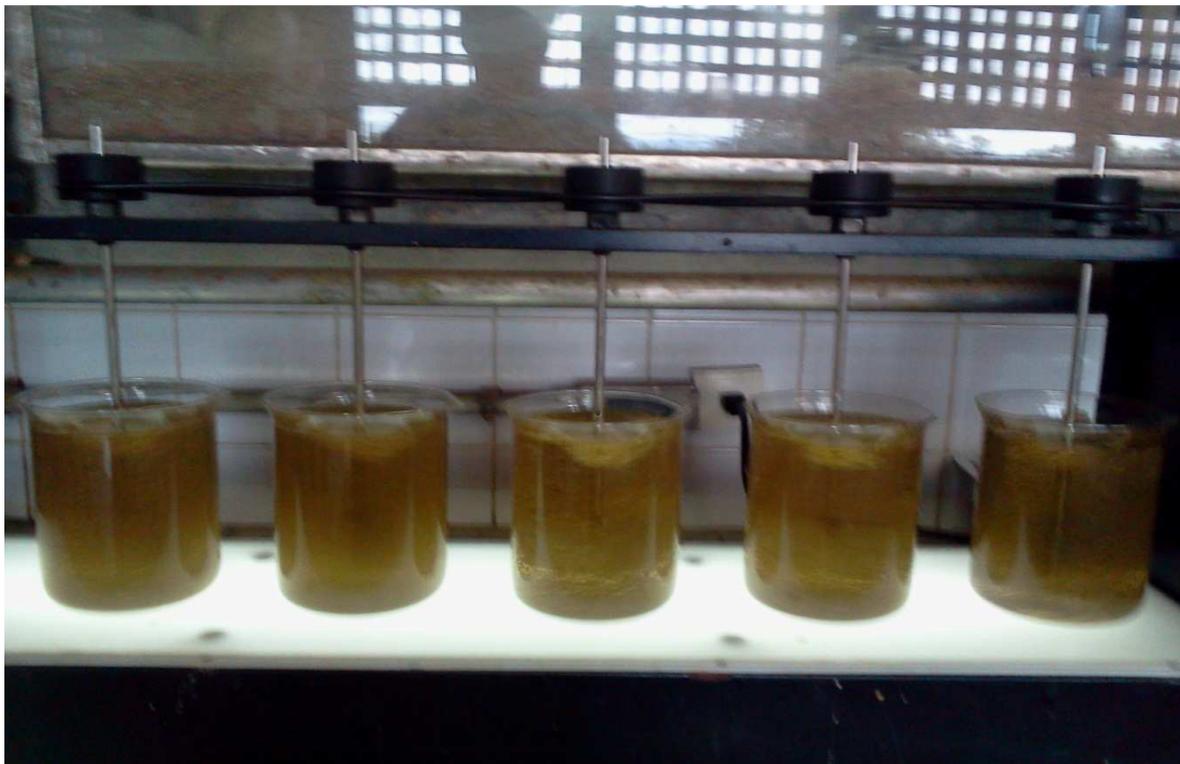
Esta licença deverá estar disponível no local da atividade licenciada para efeito de fiscalização.

Data de emissão: Porto Alegre, 01 de julho de 2008.

Este documento licenciatório é válido para as condições acima até: 30 de junho de 2013.

Este documento licenciatório foi certificado por assinatura digital, processo eletrônico baseado em sistema criptográfico assimétrico, assinado eletronicamente por chave privada, garantida a integridade de seu conteúdo e está à disposição no site www.fepam.rs.gov.br.

Identificador do Documento: 306705

ANEXO L – Imagens dos Ensaios de Jar-Test Realizadas durante a Pesquisa

ANEXO M – Amostra do Cloreto Férrico

22/5/2012 - Recebida a amostra de Cloreto Férrico (400 g/L)											
TABELA 02.7 - AVALIAÇÃO TÉCNICA ECONÔMICA DE COAGULANTES											
ENSAIO	COAGULANTE	COAG.	ÁCIDO SULF.	SODA CAUST.	POLÍM.	pH DE	SODA	pH	COR	TURBID.	DQO
	Tipo	(ppm)	(ppm) pH i	(ppm) pH i	(ppm)	FLOCUL.	no pH F	FINAL	APAR.	APAR.	(ppm)
31	Sulf. de Al	360	50	0	1	5,5	24,5	6,3	370	27,7	137
32	PAC 2000	120	0	5	1	5,5	31,5	6,3	85	2,43	94,6
33	Sulf. Ferroso	250	0	95	1	5,5	29,4	6,3	90	3,02	62,6
34	Clor. Férrico	300	0	132	1	5,5	31,5	6,3	91	2,6	62,6
35	Clor. Férrico	200	5	0	1	5,5	X	6,3	X	X	X
36	Clor. Férrico	150	20	0	1	5,5	X	6,3	X	X	X