

# *AValiação DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES AGENTES COAGULANTES NA REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ EM EFLUENTE DE FÁBRICA DE CELULOSE NÃO BRANQUEADA*

## DIFFERENT COAGULANT AGENTS EFFICIENCY EVALUATION IN COLOR AND TURBIDITY REMOVAL WITHIN A NON-WHITENED CELLULOSE FACTORY EFFLUENT

**Fernanda Aparecida Farias**

Eng. MSc. (Universidade Estadual de Ponta Grossa/PR), Supervisora de SGI na Iguazu celulose, papel S.A.

**Rafael Lopes Ferreira**

Gestor Ambiental (Faculdades Integradas Camões / PR), Especialista em Biotecnologia (Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR)), orientador de TCC do Centro Universitário Internacional Uninter.

### RESUMO

Por utilizarem grandes volumes de água, o setor de celulose e papel é um grande gerador de efluentes. Atualmente, pressionado por essa tendência, busca adequar-se às exigências legais destinadas a proteger o meio ambiente, por meio de ações modificadoras do processo. O setor desenvolve tratamentos cada vez mais eficazes, buscando a redução de geração de efluentes na fonte, bem como tecnologias para tratamento externo, recuperação e reaproveitamento de efluentes. O método de produção de celulose denominado Kraft é responsável pela geração de efluentes com alta Demanda Química de Oxigênio, turbidez, cor e sólidos suspensos e baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Neste trabalho foram realizados estudos para otimizar a dosagem dos coagulantes Sulfato de Alumínio, Tanino, Alumínio em pó, Poliamina, Cloreto de Ferro nas condições de mistura rápida no tratamento de efluente de fabricação de celulose de uma planta localizada no estado do Paraná, com objetivo de reduzir cor e turbidez. O coagulante que apresentou melhor resultado foi o sulfato de alumínio.

**Palavras-chave:** tratamento de efluentes; coagulantes orgânicos; coagulantes inorgânicos.

### ABSTRACT

Due to the significant amount of water cellulose and paper industry uses, it creates effluents. Thus, it seeks to adapt to the legal demands designed to protect the environment by changing such process. It develops more and more efficient treatments in order to reduce the creation of effluents in their source as well as technologies for effluent external treatment, recovery and reuse. The cellulose production method called Kraft is responsible for effluent creation with high Chemical Oxygen Demand, turbidity, color and suspended solids, and low dissolved oxygen concentration. Within the following paper, there were studies to optimize Aluminum Sulfate, Tannin, powder Aluminum, Polyamine, and Iron Chlorite coagulant dosage within fast mixture conditions in order to treat cellulose production in a factory located in Parana state. It aimed to reduce color and turbidity. The coagulant with better performance was Aluminum Sulfate.

**Keywords:** Effluent treatment. Organic coagulants. Inorganic coagulants.

## **INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, em virtude das demandas do mercado, tem se observado uma flexibilização nos processos industriais, para que novos insumos sejam empregados. No entanto não se nota a mesma intensidade no aprimoramento de tecnologias para sanear os resíduos decorrentes desse fenômeno, antes que atinjam os ecossistemas (MACHADO, 2009). Da mesma forma, processos industriais que utilizam grandes volumes de água contribuem significativamente com a contaminação dos corpos d'água, principalmente pela ausência de sistemas de tratamento para os grandes volumes de efluentes líquidos produzidos (FREIRE, 2000). As indústrias de celulose e papel representam hoje, um setor de extrema importância econômica e ambiental, devido principalmente aos seus reflexos em corpos d'água. (FONSECA, 2003). Por utilizarem grandes volumes de água, o setor de celulose e papel é um grande gerador de efluentes e atualmente, pressionado por essa tendência, buscam adequar-se às exigências legais destinadas a proteger o meio ambiente, por meio de ações modificadoras do processo, desenvolvendo tratamentos cada vez mais eficazes, buscando redução de geração de efluentes na fonte, desenvolvimento de tecnologias para tratamento externo, recuperação e reaproveitamento de efluentes (FONSECA, 2003). O método de produção denominado Kraft é responsável pela geração de efluentes com alta Demanda Química de Oxigênio, turbidez, cor e sólidos suspensos e baixas concentrações de oxigênio dissolvido (MACHADO, 2009). O impacto ambiental causado por estas descargas líquidas é um problema de caráter grave (FREIRE, 2000).

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada.

### **Processos de tratamento de efluentes industriais**

Os resíduos industriais são o problema mais complexo quando se fala em efluentes líquidos e o processo de tratamento desse tipo de efluente deve ser o mais econômico e eficiente possível para a indústria e menos prejudicial para a população e o ecossistema em geral. Para que se possa definir uma forma de tratamento adequada é necessário conhecer

*Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade - v.5, n.3 - 2014*

o processo industrial gerador do efluente, a quantidade e composição do efluente gerado, a legislação aplicável e os limites por ela estabelecidos, etc. Para cada forma de disposição final, de acordo com os respectivos níveis de impurezas permitidos, haverá um grau de tratamento necessário para atingir os objetivos propostos. Os graus de tratamento podem ser primários, secundários e terciários. O Tratamento Primário promove a remoção física de resíduos sólidos em suspensão que podem ser removidos por sedimentação ou flotação, ajuste de pH e de temperatura. O Tratamento Secundário é necessário para remoção de matéria orgânica dissolvida e de uma parcela maior de sólidos em suspensão, de forma se obter um efluente com baixa concentração de matéria orgânica, praticamente isento de sólidos, com pH neutro e a temperatura ambiente. O Tratamento Terciário ocorre quando é necessário, além dos tratamentos primários e secundários, remover substância que passam por esses processos, como nutrientes ou metais pesados. (BARCELLOS, 2014)

O objetivo de cada etapa de tratamento de efluentes consiste na remoção da poluição presente (inorgânica ou orgânica) pelo uso de processos químicos, físicos, físico-químicos e biológicos para posterior lançamento nos corpos receptores. O tratamento físico visa a retirada do material particulado em suspensão; o biológico, a remoção da carga orgânica solúvel presente; e o químico, redução de DQO (Demanda Química de Oxigênio), os nutrientes, os patógenos e as substâncias tóxicas. (BARCELLOS, 2014)

O tratamento biológico consiste na decomposição da matéria orgânica do efluente, através da utilização de microrganismos (BARCELLOS, 2014). Sem dúvida, os tratamentos baseados em processos biológicos são os mais frequentemente utilizados, uma vez que permitem o tratamento de grandes volumes de efluente transformando compostos orgânicos tóxicos em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O (ou CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>), com custos relativamente baixos. O tratamento biológico fundamenta-se na utilização dos compostos tóxicos de interesse como substrato para o crescimento e a manutenção de microrganismos (FREIRE, 2000). e podem ser classificados como aeróbios e anaeróbios. No primeiro os microrganismos responsáveis degradação da matéria orgânica utilizam oxigênio livre como receptor final de hidrogênio e o segundo utiliza o oxigênio ligado a compostos químicos como receptor final de hidrogênio (FERRAZ, 2001).

O Tratamento de efluentes por sistema de lodo ativado baseia-se na depuração biológica aeróbica da matéria orgânica. Uma importante característica do processo por

lodo ativado é a recirculação de uma grande proporção de substrato. Isto faz com que um grande número de microrganismos permaneça por um longo tempo de residência no meio, o que facilita o processo de oxidação dos compostos orgânicos, diminuindo o tempo de retenção do efluente. Os principais inconvenientes associados ao tratamento biológico com lodo ativado, são o alto custo de implementação e a formação de grandes quantidades de lodo (FREIRE, 2000). Para um bom funcionamento do sistema de lodo ativado é preciso que a capacidade de oxigenação supra de oxigênio tanto as bactérias que oxidam o material orgânico, como as nitrificadas, caso contrário os processos de remoção de matéria orgânica e nitrificação ocorrem de forma incompleta, produzindo um efluente de má qualidade (PORTO, 2007). A composição microbiana de um sistema de lodos ativados é um fator determinante na eficiência do processo de tratamento de esgotos. Os flocos do lodo ativado são constituídos, principalmente, de bactérias. Estima-se que existam mais de 300 espécies de bactérias no lodo que são responsáveis pela oxidação da matéria orgânica (FONSECA, 2003). O lodo biológico também contém fungos, protozoários, rotíferos e nematoides. Sendo as bactérias os microrganismos de maior importância, uma vez que são elas as maiores responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e pela formação dos flocos através da conversão da matéria orgânica biodegradável em novo material celular, CO<sub>2</sub>, água e outros produtos inertes (PORTO, 2007).

Os Tratamentos Químicos são aqueles que utilizam produtos químicos, tais como: agentes de coagulação, floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção em diferentes etapas dos sistemas de tratamento; através de reações químicas promovem a remoção dos poluentes ou condicionem a mistura de efluentes a ser tratada aos processos subsequentes. Os principais processos são: clarificação química (remoção de matéria orgânica coloidal e coliformes); eletrocoagulação (remoção de matéria orgânica, inclusive de compostos coloidais, corantes e óleos/ gorduras); precipitação de fosfatos e outros sais (remoção de nutrientes), pela adição de coagulantes químicos compostos de ferro e ou alumínio; cloração para desinfecção; oxidação por ozônio, para a desinfecção; redução do cromo hexavalente; oxidação de cianetos; precipitação de metais tóxicos; troca iônica (GIORDANO, 2004). A clarificação de efluentes é um processo físico-químico aplicado com o objetivo de clarificar efluente pela desestabilização dos colóides por coagulação, seguido da floculação e separação de fases por sedimentação ou flotação. Os

colóides podem ser formados por microrganismos, gorduras, proteínas, e argilas, estando o diâmetro das partículas coloidais na faixa de 0,1 de 0,01 $\mu$ m. A desestabilização de colóides pode ser conseguida por diversos meios: o calor; a agitação; agentes coagulantes químicos; processos biológicos; passagem decorrente elétrica (eletrocoagulação), ou ainda a eletrocoagulação com a adição de coagulantes químicos. A adição de agentes coagulantes (sais de ferro ou alumínio) é muito utilizada, sendo também eficaz para a remoção de fósforo, tendo como desvantagens o custo dos produtos químicos e o maior volume de lodo formado. As grandes vantagens são a praticidade e a boa qualidade dos efluentes obtidos (GIORDANO, 2004).

### **Parâmetros de controle de qualidade no tratamento de efluentes**

Diversos parâmetros de controle de qualidade no tratamento de efluente conforme descrito a seguir:

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO): é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbica para uma forma inorgânica estável de uma amostra de água. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Os maiores acréscimos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2009).

Demanda química de oxigênio (DQO): é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor e em primeiro lugar, servindo os resultados de orientação para o teste da DBO. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial (CETESB, 2009).

**pH:**

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação estadual. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.

**Sulfato:**

A principal fonte de sulfeto em águas naturais é lançamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais que contenham sulfato, em condições anaeróbias. Observado o importante incômodo causado pelo H<sub>2</sub>S devido ao seu odor característico de ovo podre. Segundo a literatura, o limite de concentração de percepção de H<sub>2</sub>S pelo olfato humano está entre 0,025 e 0,25µg/L. O sulfeto provoca efeitos inibidores sobre o tratamento anaeróbio de efluentes industriais.

Nas águas naturais, o gás sulfídrico provoca a morte de peixes em concentrações na faixa de 1 a 6 mg/L, além do efeito indireto do consumo de oxigênio ao se oxidar. Este fenômeno é conhecido por demanda imediata de oxigênio (PERPETUO, 2011).

**Temperatura:**

Sob o aspecto referente à biota aquática, a maior parte dos organismos possui faixas de temperatura "ótimas" para a sua reprodução. Por um lado, o aumento da temperatura provoca o aumento da velocidade das reações, em particular as de natureza bioquímica de decomposição de compostos orgânicos. Por outro lado, diminui a solubilidade de gases dissolvidos na água, em particular o oxigênio, base para a decomposição aeróbia.

**Cor:**

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Também os esgotos sanitários se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais contendo, por exemplo, neste caso lignina e celulose (CETESB, 2009).

**Sólido sedimentável:**

No controle operacional de sistemas de tratamento de esgotos, algumas frações de sólidos assumem grande importância. Em processos biológicos aeróbicos, como os sistemas de lodos ativados e de lagoas aeradas mecanicamente, bem como em processos anaeróbicos, as concentrações de sólidos em suspensão voláteis nos lodos dos reatores tem sido utilizadas para se estimar a concentração de microrganismos decompositores da matéria orgânica. Isto por que as células vivas são, em última análise, compostos orgânicos e estão presentes formando flocos em grandes quantidades relativamente à matéria orgânica “morta” nos tanques de tratamento biológico de esgotos (CETESB, 2009).

**Turbidez:**

A determinação da turbidez permite evidenciar alterações na água. A água que possui turbidez faz com que as partículas em suspensão reflitam a luz, fazendo com que a esta não chegue aos organismos aquáticos (Vaz, 2010). A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias em geral etc. (CETESB, 2009).

### **Condutividade:**

É a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2009).

### **Coagulantes orgânicos e inorgânicos**

O processo de coagulação/floculação com posterior sedimentação propicia a remoção de cor e turbidez do efluente a ser tratado (VAZ, 2010). A coagulação é o processo através do qual o agente coagulante adicionado à água, reduz as forças que tendem a manter separadas as superfícies em suspensão. A floculação é a aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, formando partículas maiores que possam sedimentar. A adição de agentes químicos, denominados de eletrólitos, promove a coagulação, neutralizando as forças de repulsão entre as partículas coloidais, por meio de mecanismos de ligação química e de adsorção na superfície da partícula coloidal.

Para que o processo de coagulação seja eficiente, este deve ser realizado por meio de agitação intensa (mistura rápida) para que ocorram interações entre o coagulante e a água.

Os coagulantes podem ser do tipo orgânico e inorgânico. Como exemplos podem ser citados a quitosana, as sementes de moringa e tanino que são coagulantes orgânicos e cloreto férrico e sulfato de alumínio classificados como inorgânicos. Os coagulantes orgânicos apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes inorgânicos por serem biodegradáveis e não tóxicos, e ainda produzirem lodo em menor quantidade e isento de sais metálicos, o que facilita a sua compostagem e disposição final. Em relação a custos, os biopolímeros catiônicos apresentam ainda um custo superior aos dos coagulantes inorgânicos. Um dos coagulantes orgânicos atualmente utilizados são os taninos. O tanino é um polímero orgânico-catiônico, produzido a partir de tanino de acácia negra, um coagulante de origem vegetal, que apresenta habilidade em reagir e precipitar proteínas.

Os taninos atuam em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação. Dentre as vantagens dos coagulantes a base de tanino, destaca-se a manutenção do pH da água tratada por não consumir alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em uma faixa de pH de 4,5

– 8,0. Outras vantagens com relação ao uso de taninos vegetais como coagulantes seriam: a propriedade de adsorção dos metais dissolvidos na água, aglutinando-os por precipitação no meio, facilitando assim a sua remoção; e a eliminação ou redução da toxidez existente na água oriunda de fontes contendo cianofíceas ou bactérias clorofiladas (SOUZA, 2012).

Os sais de alumínio são agentes inorgânicos não biodegradáveis que acrescentam elementos químicos à água ou ao lodo. Como principal dificuldade do processo destaca-se o lodo inorgânico gerado, de difícil manuseio por parte das empresas em função de seu volume e do elevado teor de umidade.

Os sais de ferro são, também, muito utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos colóides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH.

Sais de alumínio e ferro são ambientalmente indesejáveis, pois os lodos produzidos podem disponibilizar íons solúveis que comprometem a saúde humana. É necessário, portanto, buscar coagulantes ambientalmente mais compatíveis (VAZ, 2010).

## **METODOLOGIA**

A estação de tratamento de efluentes, objeto do presente trabalho, situa-se no município de Piraí do Sul, localizado no Estado do Paraná. O sistema de tratamento adotado na E.T.E. é de lodos ativados, com eficiência maior que 90% na remoção de matéria orgânica, medida em DBO. O tratamento do efluente na planta em estudo é dividido em 4 etapas: Pré-tratamento e tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

*Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada*

A fase de pré-tratamento tem por objetivo a remoção de materiais flutuantes de dimensões diversas para que não interfiram em equipamentos e processos das etapas subsequentes através de gradeamento. Na fase primária, aproximadamente 5% da DBO é removida por decantação, gerando o lodo primário.

A etapa secundária compreende o reator biológico, onde é removida praticamente toda a matéria orgânica biodegradável, através da ação de microrganismos. Este reator é chamado tanque de aeração, e nele existem aeradores com difusores, destinados a gerar oxigênio e fazer a mistura do efluente com o lodo biológico. Nesta etapa é dosado antiespumante a base d'água e quando necessário adiciona-se nitrogênio (ureia) e fósforo. Depois de permanecer no tanque de aeração por 8 horas o efluente segue para o decantador secundário. Nesta etapa o efluente líquido, é separado do lodo biológico. O lodo é removido através de sistema de vácuo para o tanque de lodo biológico e o efluente líquido é enviado para o tratamento terciário.

A próxima etapa é o Tratamento terciário, necessário porque na indústria de celulose são produzidas grandes quantidades de material coloidal, que não é possível extrair no sistema de lodos ativado devido à matéria orgânica de difícil degradação pelas ações de microrganismo, sendo preciso de tratamento físico químico para polimento e remoção de cor. O tratamento terciário é um tratamento químico, feito com a mistura rápida de aditivos químico no meio líquido e sua principal função é remoção de sólidos em suspensão e poluentes em águas residuárias, antes de sua descarga no corpo receptor.

O processo de tratamento terciário da planta em estudo é formado pela caixa I, caixa II e decantador terciário. Na caixa I, o efluente recebe a adição de um agente floculador, responsável pela clarificação do efluente, este agente é o Sulfato de Alumínio a 50%. Na Caixa II, é feita mistura completa do Sulfato com o efluente proveniente da caixa I. Na saída é adicionado polímero para aglomeração dos flocos, facilitando a sedimentação. No decantador terciário, os sólidos em suspensão no efluente proveniente da caixa II decantam e são enviados para o adensador, quando necessário, ou direto para as prensas, através de bomba e o líquido (efluente clarificado) é lançado no corpo do rio receptor. Na canaleta de saída para rio é dosado antiespumante a base d'água.

Esta estação recebe efluente industrial proveniente do processo de fabricação de celulose fibra longa não branqueada, composto do efluente das máquinas secadoras de celulose, da lavagem de toras no pátio de madeira, descarga de caldeiras, condensado contaminado da evaporação, limpezas na estação de tratamento de água, refrigeração de gaxeta e esgoto sanitário. A junção de todos os efluentes produz uma vazão média de 9.400 m<sup>3</sup>/dia.

Para este trabalho, o efluente foi coletado para análise após o tratamento primário e secundário. A Tabela 1 apresenta as características do efluente bruto e após estas duas etapas. Estes últimos serão os valores base para avaliação da eficiência dos coagulantes analisados neste trabalho.

**Tabela 1** – Características do efluente em estudo

<b>Parâmetro</b>	<b>Efluente Bruto</b>	<b>Efluente secundário</b>
D.Q.O (mg/l)	1769	439
DBO(mg/l)	338	91
pH	10,5	7,9
Sulfeto (mg/l)	1,5	0,5
Temperatura (°C)	+/-50	+/-35
Cor (ptCo)	300	780
Sólidos sedimentáveis (ml/l)	50	0,5
Turbidez (NTU)	43	85
Condutividade (µs/ cm <sup>3</sup> )	1219	967

## *Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada*

A análise de DBO foi feita para avaliar cargas poluidoras e a eficiência do sistema de tratamento, utilizando um Aparelho DBOTRAK. As análises de pH foram feitas utilizando o aparelho pHmetro de bancada, marca Qualxtron, modelo QX1500, conforme manual de instruções do equipamento. As análises de turbidez foram feitas utilizando o aparelho turbidímetro de bancada, marca Instruherm, modelo TD-300, conforme manual de instruções do equipamento. As análises de sulfeto, sólidos suspensos e DQO foram feitas conforme manual do espectrofotômetro (DR-2800) do fabricante HACH. As análises de cor foram realizadas em Laboratório no Colorímetro DM-Cor, expresso como PtCo, conforme manual do equipamento. Para determinar a condutividade do efluente foi utilizado um Condutivímetro Orion – 145, com eletrodo e sonda de temperatura. O Jar Test foi utilizado para encontrar ponto ótimo de floculação para decantação. Foram adicionados os produtos químicos ao meio ao efluente líquido, fazendo que partículas dispersas e com baixas velocidades de decantação se agreguem, proporcionando condições de rápida decantação.

Foi coletada amostra do efluente secundário e agitado para completa homogeneização, transferido para o copo de Becker de 500ml para melhor avaliação do pH ótimo de floculação. As dosagens das concentrações dos coagulantes são apresentadas na Tabela 2. Estes valores foram estabelecidos com base na medida de cor e DQO.

**Tabela 2** - Tabela de dosagem de coagulantes

<b>Coagulante</b>	<b>Concentrações (ppm)</b>			
<i>Sulfato de Alumínio</i>	400	600	800	-
<i>Tanino</i>	759	800	900	1000
<i>Alumínio em pó</i>	200	400	700	
<i>Poliamina</i>	80	100	150	200
<i>Cloreto de Ferro</i>	400	600	800	

## **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

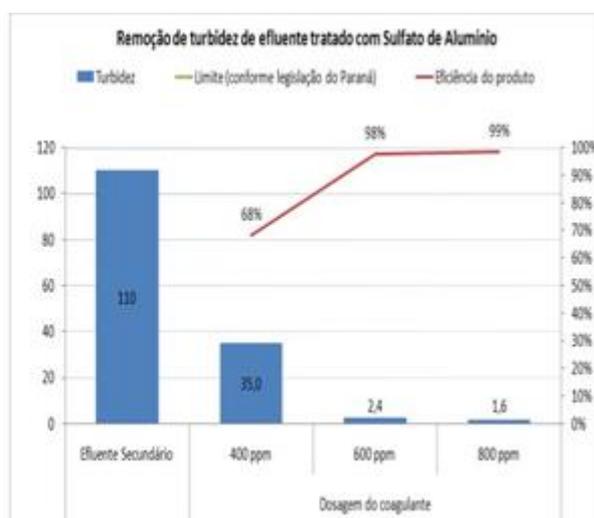
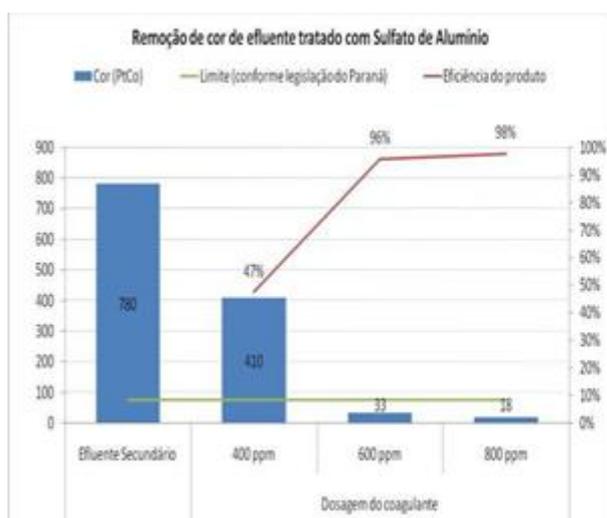
Com objetivo de otimizar a dosagem dos coagulantes Sulfato de Alumínio, Tanino, Alumínio em pó, Poliamina, Cloreto de Ferro na redução de cor e turbidez do efluente, nas condições de mistura rápida no tratamento de efluente de fabricação de celulose, foram medidos os valores de turbidez e cor das amostras tratadas, após um tempo de sedimentação

pré-estabelecido de 15 minutos. Os resultados para remoção de cor e turbidez obtida para cada coagulante são apresentados a seguir.

As Figura 1 e Figura 2 apresentam os gráficos que mostram a eficácia do tratamento do efluente em estudo com o coagulante inorgânico sulfato de alumínio. Os maiores valores na remoção de cor (98%) e turbidez (99%) foram obtidos empregando a concentração de 800 ppm no tempo de sedimentação de 15 min. Porém observa-se que com uma dosagem menor, de 600ppm, já resultou em ótimos valores de remoção de cor e turbidez.

**Figura 1** – Gráfico da eficiência da remoção da cor do efluente tratado com sulfato de alumínio após tratamentos primário e secundário.

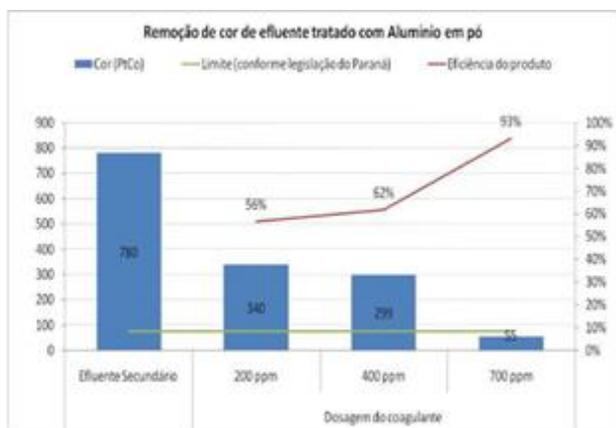
**Figura 2** - Gráfico da eficiência da remoção da turbidez do efluente tratado com sulfato de alumínio após tratamentos primário e secundário.



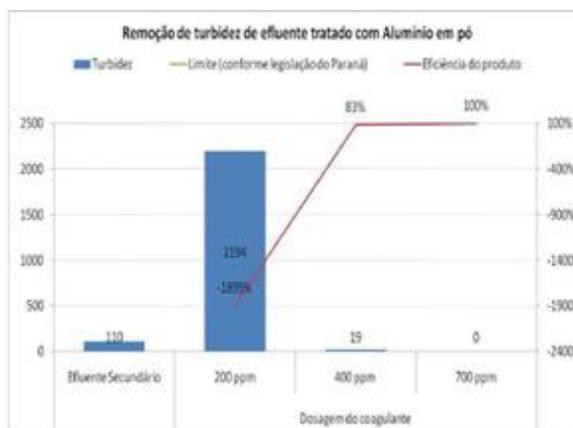
As Figura 3 e Figura 4 apresentam os gráficos que mostram a eficácia do tratamento do efluente em estudo com o coagulante inorgânico alumínio em pó. Os maiores valores na remoção de cor (93%) e turbidez (100%) foram obtidos empregando a concentração de 700 ppm no tempo de sedimentação de 15 min. Dosagens menores não forneceram resultados satisfatórios.

## *Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada*

**Figura 3** - Gráfico da eficiência da remoção da cor do tratado com alumínio em pó após tratamentos primário e secundário.



**Figura 4** - Gráfico da eficiência da remoção da turbidez do efluente tratado com alumínio em pó após tratamentos primário e secundário.



As Figura 5 e Figura 6 apresentam os gráficos que mostram a eficácia do tratamento do efluente em estudo com o coagulante orgânico tanino. Os maiores valores na remoção de cor (98%) e turbidez (99%) foram obtidos empregando a concentração de 1000 ppm e 750 ppm, respectivamente, no tempo de sedimentação de 15 min. Mesmo atingindo bons valores para turbidez, a menor dosagem (750 ppm) não é suficiente para remoção da cor necessária, sendo assim, deve-se considerar que a dosagem ótima para o coagulante orgânico tanino é de 1000 ppm.

As Figura 7 e Figura 8 apresentam os gráficos que mostram a eficácia do tratamento do efluente em estudo com o coagulante inorgânico cloreto de ferro. Os maiores valores na remoção de cor (93%) e turbidez (96%) foram obtidos empregando a concentração de 800 ppm, no tempo de sedimentação de 15 min. Dosagens menores não forneceram resultados satisfatórios.

Figura 5 - Gráfico da eficiência da remoção da cor do tratado com tanino após tratamentos primário e secundário.

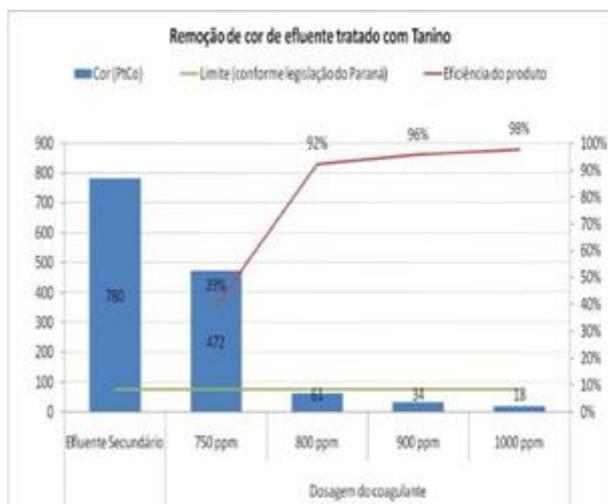


Figura 6 - Gráfico da eficiência da remoção da turbidez do efluente tratado com tanino após tratamentos primário e secundário.

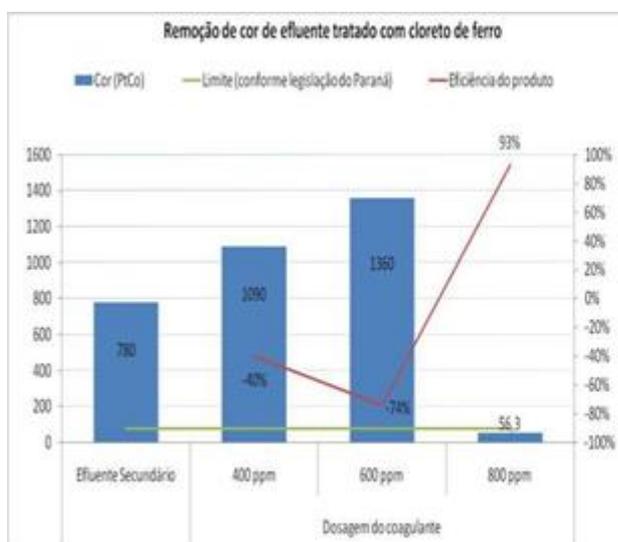
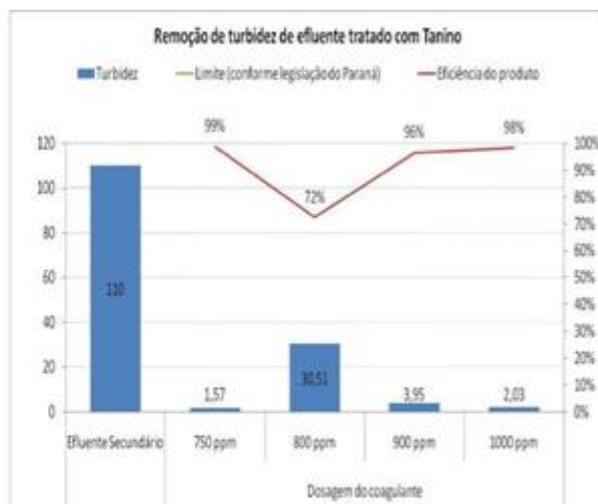


Figura 7 - Gráfico da eficiência da remoção da cor do efluente tratado com cloreto de ferro após tratamentos primário e secundário.

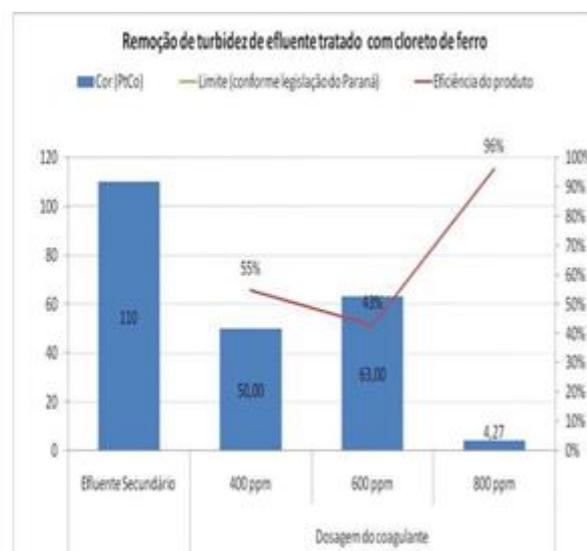
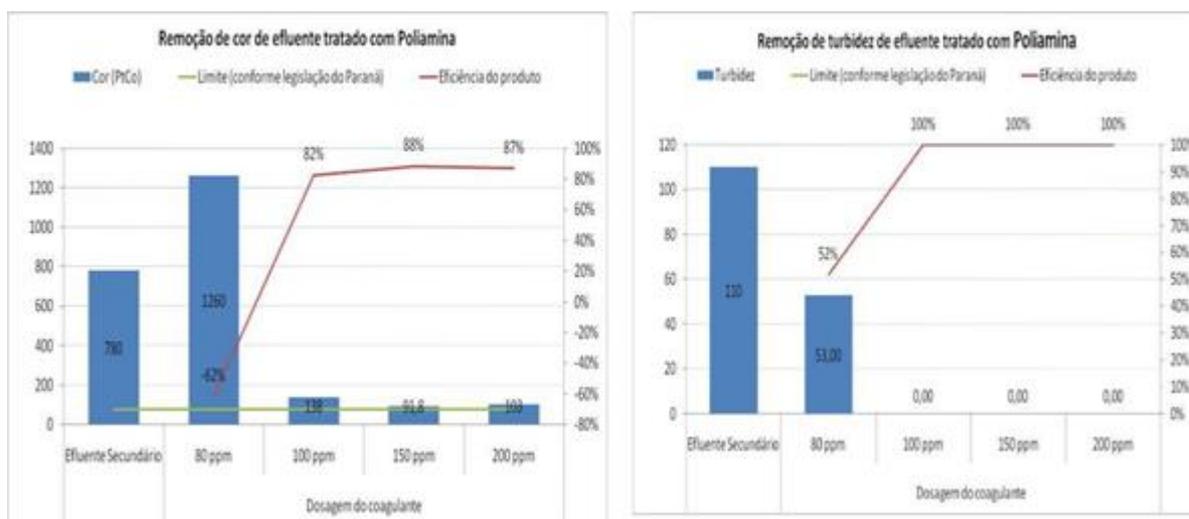


Figura 8 - Gráfico da eficiência da remoção da turbidez do efluente tratado com cloreto de ferro após tratamentos primário e secundário.

## *Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada*

As Figura 9 e Figura 10 apresentam os gráficos que mostram a eficácia do tratamento do efluente em estudo com o coagulante inorgânico poliamina. Os maiores valores na remoção de cor (88%) e turbidez (100%) foram obtidos empregando a concentração de 900 ppm, no tempo de sedimentação de 15 min. Deve-se observar que a dosagem de 800 ppm deste coagulante forneceu uma redução de 100% na turbidez, porém nenhuma das dosagens forneceu resultados satisfatórios para remoção de cor. Todos os resultados de cor obtidos ficaram acima do limite permitido pela legislação. A maior porcentagem de remoção de cor e turbidez, ou seja, a melhor eficiência atingida e a concentração de cada reagente coagulante está apresentada na Tabela 3. Com exceção da poliamina, todos os outros coagulantes apresentaram bons resultados na remoção de cor e turbidez do efluente em análise. Por este motivo, optou-se por excluir a poliamina das análises seguintes, conforme mostra a Tabela 4. Nesta tabela valores de pH próximos a 6,0 até 8,5 caracterizam os melhores tratamentos.



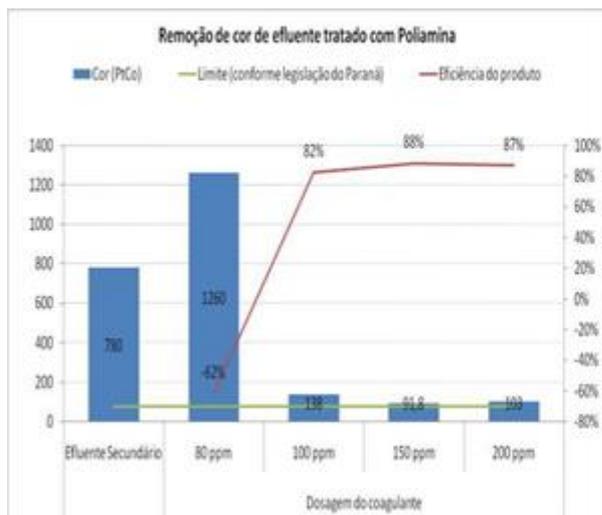


Figura 7 - Gráfico da eficiência da remoção da cor do efluente tratado com poliamina após tratamentos primário e secundário.

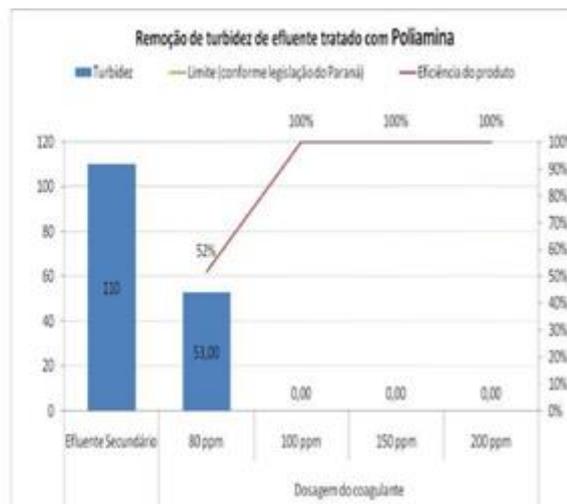


Figura 10 - Gráfico da eficiência da remoção da turbidez do efluente tratado com poliamina após tratamentos primário e secundário

**Tabela 3** – Tabela com melhores eficiências de remoção de cor e turbidez alcançadas e concentrações de cada agente coagulante utilizado

Coagulante	Remoção de cor (%)	Remoção de cor (%)	Concentração (ppm)
Sulfato de Alumínio	98%	99%	800
Tanino	98%	98%	1000
Alumínio em pó	93%	100%	700
Poliamina	88%	100%	150
Cloreto de Ferro	93%	96%	800

**Tabela 4** – Caracterização efluente tratado com cada agente coagulante utilizado.

Coagulante	pH	Condutividade	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Sólidos suspensos
Sulfato de Alumínio	5,5	1269	68	3	12
Tanino	7,0	1230	213	6	38
Alumínio em pó	7,5	1468	81	9	14
Cloreto de Ferro	5,7	1420	51	12	9

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A indústria em estudo possui um eficiente sistema de tratamento de efluentes, consistindo de um tratamento primário que engloba o gradeamento, decantação e redução de temperatura, uma etapa secundária biológica por lodo ativado/aeróbico e um tratamento terciário de floculação por sulfato de alumínio. Quando o efluente alcança o tratamento terciário já ocorreu uma expressiva redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) do efluente, mas a cor ainda persiste, daí a razão para a floculação. (Flores, 1998). Os coagulantes testados mostraram-se eficientes na remoção da cor e turbidez do efluente de fábrica de celulose, exceto para a Poliamina que não apresentou uma boa remoção de cor. Dentre os agentes coagulantes testados para a remoção de cor e turbidez do efluente, o sulfato de alumínio obteve elevadas eficiências, mostrando-se um agente coagulante mais promissor para o tratamento deste tipo de efluente.

## **REFERÊNCIAS**

BARCELLOS, C. H.; CARVALHO, A. R. P. Tratamento Biológico de Efluentes. In: Kurita, Soluções em Engenharia e Tratamento de Água. Disponível em: [http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento\\_Biologico\\_de\\_Efluentes.pdf](http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento_Biologico_de_Efluentes.pdf). Acesso em: 05 jan. 2014

BARROS, M. J.; NOZAKI, J. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. Química Nova, v. 25, n. 5, p. 736-740, 2002.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. 2009. São Paulo, Brasil.

FLORES, D. M. M.; FRIZZO, S. M. B.; FOELKEL, C. E. B. Tratamentos alternativos do efluente de uma indústria de celulose branqueada e papel. Ciência Florestal, v. 8, n. 1, 2009.

*Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade - v.5, n.3 - 2014*

FONSECA, J. A. V. M.; BARBOSA, M.; Oliveira, N. P.; SALAN, R. S.; SOBRINHO, G. D.; BRITO, N. N.; CONEGLIAN M. R. C. Tratamento de efluentes líquidos de indústria de papel e celulose. In: III Fórum de Estudos Contábeis, 2003, Rio Claro. Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro, São Paulo, Br