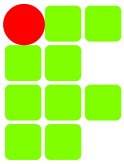


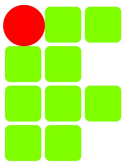
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO
CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA
DIRETORIA DE ENSINO

THOMAS SILVA

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS DE ALUMÍNIO COM USO DE HIDRATO DE ALUMÍNIO.

Cuiabá

2012



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO.
CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA

CURSO TECNOLOGO EM GESTÃO AMBIENTAL

THOMAS SILVA

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS DE ALUMÍNIO COM USO DE HIDRATO DE ALUMÍNIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Tecnólogo em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Campus Cuiabá - Bela Vista para obtenção do título de graduado.

Orientador: Prof.ª Dra. Rozilaine Aparecida Pelegrine Gomes de Faria.

Cuiabá

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

S586o

SILVA, Thomas

Otimização do sistema de tratamento de efluentes da indústria de embalagens de alumínio com uso de hidrato de alumínio. / Thomas Silva - Cuiabá, MT : O Autor, 2013.

39 f.il.

Orientadora - Profª Dra. Rozilaine Aparecida Pelegrine Gomes de Faria

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Campus Cuiabá – Bela Vista. Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.

1. Esgoto industrial 2. Hidrato de alumínio 3. Cal hidratada I. Faria, Rozilaine Aparecida Pelegrine Gomes de II. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso.

CDD: 628.35

THOMAS SILVA

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS DE ALUMÍNIO COM USO DE HIDRATO DE ALUMÍNIO

Trabalho de Conclusão de Curso Tecnólogo em Gestão Ambiental, submetido à Banca Examinadora composta pelos Professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso Campus Cuiabá Bela Vista como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduado.
Aprovado em: _____.

_____
Profª. Draª. Rozilaine Aparecida Pelegrine Gomes de Faria.

_____
Prof.ª Drª. Carla Maria Abido Valentini

_____
Prof. MSC. Eucarlos de Lima Martins

Cuiabá
2012

Dedico este trabalho a todos que participaram ativamente do meu processo de formação; a minha família, especialmente ao meu Filho Isaque Emanuel Cassiano da Silva que me motiva a ser alguém melhor todos os dias, minha mãe Diana Aparecida da Silva, por todo amor e dedicação; e à minha avó Carmelina dos Santos Silva, por me ensinar na sua simplicidade o valor do conhecimento (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde e por estar sempre presente nos guiando com sua graça e luz. Agradeço especialmente a minha mãe, esposa e meu filho Isaque por me motivarem com seu amor para que pudesse buscar o melhor todos os dias. Agradeço aos meus amigos e familiares pela confiança depositada em mim e por acreditar que um sonho é possível de ser realizado quando se sonha junto. Agradeço à Profª Drª. Rozilaine Aparecida Pelegrine Gomes de Faria que me acompanhou transmitindo conhecimento e tranquilidade. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso por proporcionar o conhecimento científico por meio do qual construí minha carreira profissional na área ambiental. Aos Professores Mestres e Doutores que a mim repassaram seus conhecimentos, fazendo que meu desenvolvimento fosse o melhor possível. À equipe de Técnicos Químicos e Gerencia da Indústria por acreditar e se dedicar à realização deste trabalho. Aos colegas do Curso Tecnólogo em Gestão Ambiental por me acolher com carinho e proporcionar um ambiente familiar longe de casa. Agradeço à Banca avaliadora pela rica contribuição enriquecendo com seu conhecimento este trabalho.

RESUMO

A otimização de um sistema de tratamento de efluentes é um fator muito importante, pois a carga poluidora e o grau de risco ambiental característicos do efluente gerado no processo produtivo podem causar danos graves ao meio ambiente e a saúde da população. A estação de tratamento de efluentes (ETE) avaliada neste estudo funciona em modo automatizado, e por esta razão, a cal hidratada ($Ca(OH)_2.nH_2O$) utilizada anteriormente como agente alcalinizante, não oferece uma boa eficiência na remoção dos contaminantes contidos nas águas servidas, especialmente os fluoretos, por causa de suas características físico-químicas. O objetivo do trabalho foi avaliar a otimização operacional da ETE com uso de hidrato de alumínio ($Al(OH)_3.3H_2O$) como agente alcalinizante em substituição da cal hidratada, avaliando sua eficiência na remoção de fluoretos, demanda química de oxigênio (DQO), estabilização do pH e a quantificação do lodo industrial. O indicador de eficiência abordado no trabalho foi o Cpk, uma medida de centralização que indica a capacidade que um processo tem em se manter dentro da faixa de trabalho especificada. Desta forma, será possível avaliar a eficiência entre o processo com uso de cal hidratada em relação ao processo com uso de hidrato de alumínio.

Palavras-chave: Cpk; Esgoto industrial; Hidrato de Alumínio; Cal Hidratada.

ABSTRACT

The optimization of a treatment system wastewater from a aluminum packaging industry is a very important factor because the pollution load and the degree of environmental risk characteristic of wastewater generated in the production process can cause severe damage to environment and people's health. A Wastewater Treatment Plant (WTP) evaluated in this study operates in automated mode, and for this reason, hydrated lime ($Ca(OH)_2.nH_2O$) used as alkalinizing agent, does not provide a good efficiency in removal of contaminants contained in wastewater, especially fluoride, because of their physicochemical characteristics. The objective of this study was to evaluate the operational optimization of WTP with use of aluminum hydrate ($Al(OH)_3.3H_2O$) as alkalizing agent in place of hydrated lime, evaluating their efficiency in removing fluoride, chemical oxygen demand (COD), pH stabilization and quantification of industrial sludge. The efficiency indicator work was discussed in the Cpk, a measure of centralization that indicates the ability of a process has to remain within the range specified job. This way, you can evaluate the efficiency of the process with the use of hydrated lime for the process with the use of aluminum hydrate.

Keywords: Cpk; Industrial Wastewater; Aluminum Hydrate, Hydrated Lime.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO....13

OBJETIVOS....14

Objetivo Geral....14

Objetivos Específicos....14

REFERENCIAL TEÓRICO....15

Características dos Efluentes industriais:....15

Influência do flúor no meio ambiente e na saúde pública....17

Tratamento de efluentes industriais....19

Controle estatístico de processo....22

MATERIAL E MÉTODOS....24

Caracterização do processo produtivo....24

Caracterização da área de estudo....25

Caracterização do efluente gerado....29

Análises dos parâmetros....29

RESULTADOS E DISCUSSÃO....29

Analise de pH....29

Análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio....30

Análise de Fluoreto....32

Geração de lodo....34

CONCLUSÃO....36

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....37

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Indivíduos saudáveis (A) e indivíduos com os sintomas visíveis (B) apresentados pela dracena.....19

Figura 2: Fluxo Processo Produtivo.....27

Figura 3: Fluxo ETE.....28

Figura 4: Valores de pH na saída da estação de tratamento de efluentes para o período estudado para os processos A (2010) e B (2011). 30

Figura 5: Comparativo da eficiência do sistema de tratamento de efluente a partir da porcentagem de remoção de DQO para o período estudado dos processos A (2010) e B (2011).....31

Figura 6: Resultados diários da porcentagem de remoção de DQO no período de maio, junho e julho para os processos A (2010) e B (2011).....32

Figura 7: Valores médios de Fluoreto obtidos na saída da estação de tratamento de efluentes, para o período de estudo para os processos A (2010) e B (2011).....33

Figura 8: Medidas diárias da concentração de fluoreto na saída da estação de tratamento de efluentes para os processos A (2010) e B (2011).....34

Figura 9: Quantidade de lodo produzida (ton/mês) durante o período estudado para os processos A (2010) e B (2011).....35

INTRODUÇÃO

Em uma indústria de embalagens de alumínio, em diferentes etapas ao longo da cadeia produtiva utilizam-se volumes consideráveis de água, óleos (emulsionados ou não) e produtos químicos diversos como: ácido sulfúrico (H_2SO_4 a 40% e a 98% v/v), hidróxido de sódio (NaOH), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF) e ácido fosfórico (H_3PO_4).

A legislação ambiental no Brasil, e em vários países, regulamenta o tratamento para o descarte de efluentes nos corpos hídricos e solo limitando os parâmetros (DQO, DBO, pH, Óleos e Graxas, Fluoretos, entre outros) com Valores Máximos Permitidos (VMP) visando à preservação da qualidade das águas para as gerações futuras. A Resolução Federal do CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, e a indústria geradora deve atender a especificação sobre tratamento e descarte de águas residuárias.

Para atendimento dos parâmetros legais estabelecidos é necessária uma boa eficiência no processo de tratamento das águas residuárias para remoção adequada da carga poluidora.

Em efluentes com alta concentração de íons H^+ a cal hidratada ($Ca(OH)_2.nH_2O$) é bastante utilizada como agente alcalinizante e auxiliar de coagulação. Este produto apresenta baixo custo, porém devido a sua baixa solubilidade em água acaba ocasionando incrustações e entupimentos nas tubulações e válvulas de dosagem, prejudicando o tratamento.

Por causa das dificuldades operacionais observadas houve a necessidade de buscar alternativas para substituição desse agente alcalinizante, e encontrou-se no hidrato de alumínio a possibilidade da utilização desse composto como agente de neutralização/coagulação em substituição à cal hidratada.

De acordo com Rubio e Tessele (2002) “O desenvolvimento científico e tecnológico na área de controle da poluição apresenta um quadro crescente no volume de atividades, com ênfase na formação de recursos humanos, otimização dos processos existentes e a busca de novas tecnologias”. A tecnologia é um fator muito importante quando se trata de controle da poluição, porém a operacionalidade do sistema também tem grande relevância.

Os desafios trazidos pelos problemas relativos à poluição são cada vez maiores, por isto é necessária à integração entre as instituições governamentais e privadas envolvidas na questão do controle da poluição (RUBIO e TESSELE, 2002).

Por esta razão, o papel das fontes geradoras é buscar a melhor tecnologia que ofereça maior eficiência nos processos produtivos de modo a mitigar ou eliminar os impactos advindos de suas atividades.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a otimização no sistema de tratamento de efluentes em uma indústria de embalagens de alumínio substituindo a cal hidratada por hidrato de alumínio ($Al(OH)_3.3H_2O$) como agente de neutralização/coagulação.

Objetivos Específicos

a) Eliminar os riscos de danos ao meio ambiente por despejo de efluente sem tratamento adequado.

b) Avaliar eficiência na precipitação dos Fluoretos.

c) Avaliar a estabilização do pH no efluente final;

d) Avaliar a eficiência remoção da DQO no efluente tratado;

e) Avaliar a característica quantitativa na geração do lodo;

f) Avaliar o atendimento à Resolução do CONAMA 430/11.

g) Verificar se o Cpk dos parâmetros avalia a eficiência da unidade de tratamento.

REFERENCIAL TEÓRICO

Características dos Efluentes industriais:

Os efluentes industriais são normalmente caracterizados por conter em sua composição matéria orgânica, nutrientes, sólidos em suspensão, óleos e graxas, e poluentes tóxicos como muitos compostos orgânicos e metais, em determinadas concentrações que alteram o equilíbrio dos ecossistemas.

Alguns tipos de atividades industriais apresentam características próprias, como valores de pH, DQO, DBO ou compostos orgânicos potencialmente cancerígenos como benzeno (Tabela 1).

Richter e José Netto (1991) afirmaram que a maioria dos compostos orgânicos podem ser oxidados química ou biologicamente, gerando compostos finais mais estáveis como o CO_2, NO^-_3 e H_2O. Para promover a oxidação da matéria orgânica (MO) existe certa necessidade, denominada demanda, que pode ser:

a) Demanda bioquímica de oxigênio (DBO): quantidade de oxigênio necessária ao metabolismo das bactérias aeróbias para degradar a MO.

b) Demanda química de oxigênio (DQO): permite a avaliação da carga de poluição de esgotos domésticos ou industriais em termos de quantidade de oxigênio necessária para a sua total oxidação em dióxido de carbono e água.

McBride (1989) relatou que o abaixamento do pH favorece adsorção de metais, pois os íons H^+ aumentam sua disponibilidade.

O despejo de efluentes sem tratamento adequado no meio ambiente altera todo ciclo de vida dos organismos vivos, podendo extinguir espécies e alterar paisagens e ecossistemas. Por esta razão, alguns poluentes de alto grau de toxicidade, por ser acumulativo e de grande persistência no meio ambiente, são rigorosamente controlados pelos órgãos ambientais.

Tabela 1: Características dos efluentes de algumas tipologias industriais.

ATIVIDADE INDUSTRIAL	PRINCIPAIS POLUENTES	CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE
Indústrias de Acabamento de Metais (Galvanoplastia)	- Metais: Cobre, Cromo, Zinco, Cádmio, Prata e Chumbo - Cianeto e Sulfato	- Efluentes com grandes quantidades de metais dissolvidos - pH entre 2 e 6
Indústrias Metalúrgicas	- DBO, DQO, sólidos em suspensão, óleos e graxas, nitrogênio, cloreto, Fluoretos e fosfato	- Apresentam consumo elevado de água e grande volume de efluentes
Indústrias Mecânica e Eletrônica	- metais e pequenas quantidades de solventes - pequena carga orgânica	- potencialmente muito tóxicos
Indústrias de Laticínios	- elevadas concentrações de DBO, DQO, sólidos suspensos e óleos e graxas	- Alta carga orgânica.
Indústrias de Bebidas	- DBO, DQO, sólidos suspensos - cor - metais pesados,	- Grande volume de efluentes e muito poluente

	pesticidas, óleos e fosfatos	
Indústrias de Minerais Não Metálicos	- sólidos suspensos e metais dissolvidos - baixa concentração de DBO_5	- Alto potencial poluídos devido a carga de sólidos suspensos e em suspensão e metais pesados.
Indústrias Químicas	- DQO, DBO e sólidos suspensos. - Amônia - Aromáticos tais como benzol, fenol, cloro benzeno e anilinas.	- Indústrias de produção muito diferentes entre si produzem efluentes muito diferenciados! - Mesmo as indústrias de pequeno porte apresentam alto potencial poluidor

Fonte: SANTOS, 2002.

Nota: de acordo com sua caracterização, o efluente gerado na indústria de embalagens de alumínio se enquadra na atividade de metalurgia.

Influência do flúor no meio ambiente e na saúde pública.

A exposição humana a poluentes no ar, na água, no solo e nos alimentos é um grande contribuinte, direto e indireto, para o aumento da morbidade e da mortalidade (PHILIPPI Jr., 2005).

Os riscos ambientais à saúde são diversos, bem como os meios de dispersão. Normalmente são provocados por ações humanas, mas também podem ocorrer por eventos naturais, os quais lançam poluentes no meio ambiente. Uma vez lançados, estes sofrem um processo de dispersão por meio do ar, água, solo ou dos alimentos. A exposição ocorre quando os seres vivos entram em contato com essas substancias (PHILIPPI Jr., 2005).

De acordo com a Resolução do CONAMA 430/2011 a concentração máxima permitida de fluoreto no efluente tratado para disposição em corpos d'água é de 10mg/L.

Sua ocorrência é natural na crosta terrestre, na forma de diversos compostos como fluorita (CaF_2), criolita (Na_3AlF_6) e apatita ($Ca_3(PO_4)_2$). É emitido na forma de fluoreto de hidrogênio (HF), principalmente pela ação dos vulcões; mas, também, pela poeira dos solos e pelo spray oceânico. Quanto às fontes antrópicas, elas são originárias de processos industriais como as indústrias de alumínio, de produção de fertilizantes e indústrias de fabricação de vidros e cerâmicas (CETESB, 2010).

De acordo com Mirlean *et al*. (2002), "No Brasil não se tem estudos publicados sobre o enriquecimento do Flúor em zonas industriais". Contudo, de acordo com a CETESB (2010), após um estudo realizado visando o monitoramento de áreas potencialmente afetadas por fluoretos, elegeu-se a espécie *Cordyline terminalis*, vulgarmente conhecida como dracena, como bioindicadora. O critério de seleção baseou-se, principalmente, em sua sensibilidade aos fluoretos gasosos e no fato de ela ser uma planta amplamente utilizada no paisagismo de jardins domésticos e industriais (Figura 1).

O fluoreto comporta-se, seja no transporte ou na dispersão, de maneira diferente da maioria dos outros poluentes atmosféricos, devido à sua alta reatividade, especialmente na forma do ácido fluorídrico (HF). Assim, não foi observado, até agora, transporte a longa distância das fontes emissoras em quantidades significativas deste poluente. No entanto, em áreas mais próximas às emitentes, são frequentemente encontradas concentrações de risco para as plantas, nas camadas de ar mais próximas ao solo (CETESB, 2010).

Figura 1: Indivíduos saudáveis (A) e indivíduos com os sintomas visíveis (B) apresentados pela dracena.
Fonte: CETESB (2010).

Conforme dados do Ministério da Saúde (MS) (2009), nos últimos anos houve grande aumento nas ocorrências de doenças bucais, mesmo em regiões onde não se tem a fluoretação das águas de consumo humano. De acordo com os estudos, isto se deve ao aumento da ingestão média de fluoretos por meio de múltiplas fontes. Em uma revisão sistemática da literatura sobre o tema, realizada pela Universidade de York, Inglaterra, foram identificados 33 estudos que investigaram os efeitos sistêmicos e adversos provocados pelo fluoreto à saúde tais como câncer, fraturas ósseas, síndrome de Down, defeitos de nascimento, efeitos renais, efeitos na tireoide, inteligência, entre outros.

Nenhuma pessoa pode estar exposta a concentrações iguais ou superiores a 5,0 mgF/Kg corporal, que corresponde à Dose Provavelmente Tóxica (DPT) (MS, 2009).

Tratamento de efluentes industriais

De acordo com a Norma Brasileira NBR 9800/1987, efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanações de processo industrial, águas de refrigerações poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.

De acordo com Giordano (1999), os processos de tratamento a serem adotados, as suas formas construtivas e os materiais a serem empregados são considerados a partir dos seguintes fatores: a legislação ambiental regional; o clima; a cultura local; os custos de investimento; os custos operacionais; a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes industriais; a qualidade do efluente tratado; a segurança operacional relativa aos vazamentos de produtos químicos utilizados ou dos efluentes; explosões; geração de odor; a interação com a vizinhança; confiabilidade para atendimento à legislação ambiental; possibilidade de reuso dos efluentes tratados.

As características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes podem variar muito com o tipo de atividade industrial, e com isto, o tipo de tratamento também pode variar com base em sua caracterização. O tratamento adequado é primordial para que sejam removidas as impurezas e assim possam ser devolvidos à natureza sem causar danos ambientais e à saúde humana.

De acordo com Nunes (2010), os processos de tratamento utilizados são classificados de acordo com princípios físicos, químicos e biológicos:

a) **Processos físicos:** dependem das propriedades físicas do contaminante tais como, tamanho de partícula, peso específico, viscosidade, etc. Exemplos: gradeamento, sedimentação/decantação, filtração, flotação, equalização, etc.

b) **Processos químicos:** dependem das propriedades químicas dos contaminantes o das propriedades químicas dos reagentes incorporados. Exemplos: coagulação, precipitação, troca iônica, oxidação, neutralização, osmose reversa, ultrafiltração.

c) **Processos biológicos:** utilizam reações bioquímicas para a eliminação dos contaminantes solúveis ou coloidais. Podem ser anaeróbicos ou aeróbicos. Exemplo: lodos ativados, lagoas

aeradas, biodiscos (RBC), filtro percolador, valas de oxidação, reatores sequenciais descontínuos (SBR).

Entre os principais processos físico-químicos que podem afetar a concentração de substâncias, encontram-se a adsorção, a volatilização, a sedimentação, a ionização, a precipitação, a dissolução, a hidrólise, a fotólise, a oxidação e a redução (Mancuso e Santos 2003).

Segundo Hespanhol e Mierzwa (2005), a opção pelo uso da cal hidratada está relacionada ao baixo custo em relação a outras técnicas. Entretanto este processo gera um grande volume de lodo, interfere com agentes complexantes quando da estabilização da lama de hidróxidos, a dosagem excessiva pode reduzir a qualidade do efluente.

A cal hidratada oferece vantagem comercial quando se avalia o custo por kg, porém exige algumas particularidades operacionais como: agitação constante da suspensão em água, verificação constante do sistema de dosagem devido ao alto índice de incrustações e entupimentos, e a redução da vida útil dos filtros da ETE.

Como processo alternativo no tratamento das águas residuárias da indústria de embalagens de alumínio pode-se aplicar o hidrato de alumínio ($Al(OH)_3.3H_2O$) em substituição da cal hidratada. Suas características físico-químicas proporcionam bom desempenho e baixa manutenção, porém o custo por kg é mais elevado, razão pela qual muitas empresas preferem manter a cal hidratada.

Além da cal hidratada, outros agentes coagulantes podem ser utilizados em sistemas de tratamento. Entre estes tem-se o hidrato de alumínio, também conhecido como alumina hidratada, hidróxido de alumínio, alumina tri-hidratada e tri-hidróxido de alumínio, o hidrato de alumínio é obtido pelo processo Bayer, onde o minério de bauxita é tratado com soda cáustica à alta pressão e temperatura, fazendo com que somente a gibsita

($Al(OH)_3$), seja dissolvida, formando uma solução de aluminato de sódio. Por ser totalmente solúvel em água, a elevação do pH se torna mais rápida, sua composição elimina o risco de incrustações e entupimentos no sistema de dosagem mantendo a estabilidade necessária para um bom tratamento (GOMES, 2006).

Controle estatístico de processo.

O Controle Estatístico de Processo (CEP) foi criado pelo americano Dr. Walter Shewhart do Bell Laboratories na década de 20, juntamente com nascimento da área de qualidade. Seu trabalho se tornou a base das principais técnicas e ferramentas que fariam nascer nas empresas americanas os departamentos de qualidade durante a segunda guerra (AMARAL e ROZENFELD, 1997).

Entre os índices de controle estatístico de processo estão os índices de capabilidade (Cpk), que podem ser obtidos diretamente dos dados registrados, indicando em um processo sob controle estatístico, a relação entre a faixa de tolerância especificada para uma dada característica e a variabilidade devida às causas comuns.

De acordo com Bastos (2001) “O estudo de capacidade do processo revela quais as causas de variação não natural presentes no processo e o que deve ser feito para eliminá-los de modo a obter a sua verdadeira capacidade de processo”.

O Cpk é o índice que leva em conta a centralização do processo com base em dois cálculos matemáticos, o CPU e CPL. O CPU é calculado em referencia ao limite superior, e o CPL em relação ao limite inferior.

$$CPU_p = \frac{LSE - \overline{\overline{X}}}{3\hat{\sigma}_S} \quad \ldots(1)$$

$$CPL = \frac{\overline{\overline{X}} - LIE}{3\hat{\sigma}_S} \quad \ldots(2)$$

Onde:

a)CPU: variação superior da tolerância dividida por 3 vezes o desvio padrão do processo;

b)CPL: variação inferior da tolerância dividida por 3 vezes o desvio padrão do processo;

c) $\overline{\overline{X}}$: média das amostras;

d) $\hat{\sigma}_S$: desvio padrão;

e)LSE: limite superior de especificação;

f) LIE: limite inferior de especificação.

Quando o processo possui uma faixa de trabalho com LSE e LIE, utiliza-se as duas formulas e o menor resultado indicará o deslocamento do processo em relação a média, e também indicará onde devem ser direcionadas as ações para buscar aproximar os resultados de CPU e CPL.

Sendo assim:

- Cpk ≥1,33 = Processo capaz;
- Cpk < 1,33 ≥ 1,00 = Processo aceitável;
- Cpk < 1,00 = Processo incapaz.

MATERIAL E MÉTODOS.

Todas as análises foram realizadas em triplicata de acordo com a *21ª Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"* - APHA/ AWWA no período de maio a julho de 2011 referentes ao processo com hidrato de alumínio (processo B), e para o processo A, os dados foram coletados do banco de dados da indústria no mesmo período de 2010.

Para determinação do pH utilizou-se um medidor eletrônico da marca Mettler, modelo Delta 350, calibrado nas soluções tampão pH 2, 4, 7 e 10 de acordo com as recomendações do fabricante.

Para determinação da DQO foram utilizadas soluções padrão Merck reagente A (Código 1.14538.0065) e reagente B (Código 1.14682.0495). Após preparação das amostras, as mesmas foram analisadas em Espectrofotômetro Merck modelo Nova 60, devidamente calibrado.

As analises de fluoreto foram realizadas utilizando-se o Kit Fluoride Merck código 14598 de acordo com as recomendações do fabricante.

A avaliação quantitativa do lodo gerado nos processos A e B foram realizadas qualitativa e quantitativamente, observando-se a consistência do material prensado e sua quantidade em toneladas por mês.

Caracterização do processo produtivo.

O processo produtivo (Figura 2) inicia-se no recebimento das lâminas em forma de bobinas e segue pelas etapas de corte, estamparia, corte da boca da lata, lavagem, secagem, impressão, aplicação do verniz externo, forno de cura 1, aplicação do verniz

interno, Forno de cura 2, Formação do pescoço e flange, formação em paletes e armazenagem.

O setor de apoio é composto pela ETE, Torres de resfriamento, Sistema de Água Deionizada (SAD), Compressores, Sistema de óleo solúvel (SOS), serve como suporte para o processo produtivo.

As águas residuárias geradas no processo produtivo são originadas das etapas de Lavagem, SOS e SAD, e são destinadas para a estação de tratamento para descontaminação.

Após o tratamento, o efluente é reutilizado para irrigação da vegetação e gramados, o lodo gerado é destinado para um aterro industrial para disposição em células impermeabilizadas, e os óleos contaminados são enviados para reuso através do processo de re-refino.

Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado na ETE de uma indústria de Embalagens de Alumínio, localizada no Distrito Industrial do município de Cuiabá/MT.

Entre o processo produtivo e utilidades há uma geração diária de 120m³ de esgoto industrial por dia. Este efluente é submetido a tratamento físico-químico e posteriormente reutilizado para irrigação da área plantada.

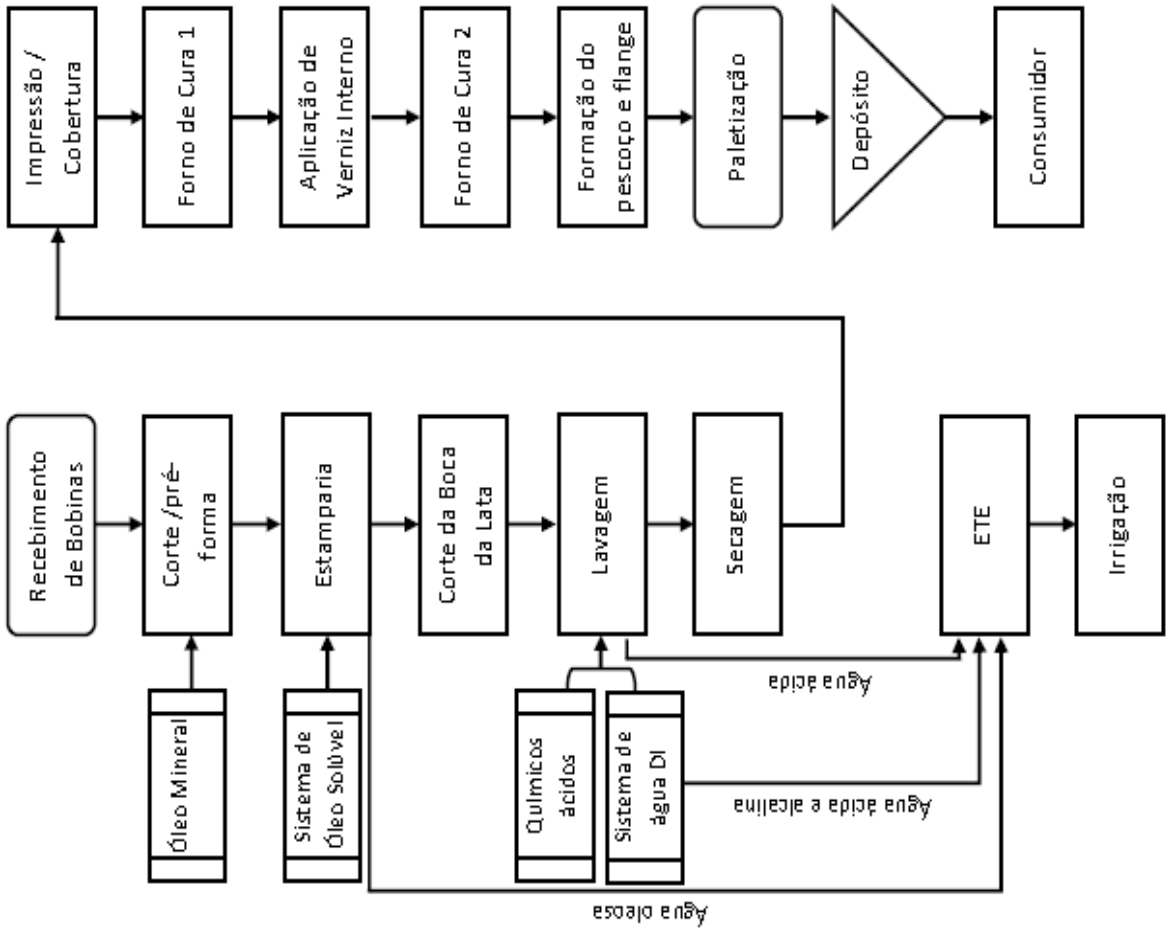
Foi feita também a avaliação quantitativa do lodo gerado a fim de medir a carga poluidora em ambos os processos.

A ETE possui dois sistemas operacionais: Sistema Contínuo e Sistema Descontínuo (Figura 3).

a) Sistema Contínuo: este sistema recebe as águas servidas do processo de lavagem, compressores e sistema de água deionizada (SAD) seguindo ao fluxo normal de tratamento;

b) Sistema Descontínuo: este sistema recebe toda água oleosa gerada no sistema de óleo solúvel (SOS). Quando o volume

atinge o limite de 25m³, faz-se a dosagem de H_2SO_4 e submete-se a solução ao sistema de agitação conhecido por “Batelada” para quebra da emulsão, seguida de repouso por 48 horas para separação das fases de água ácida e óleo mineral.

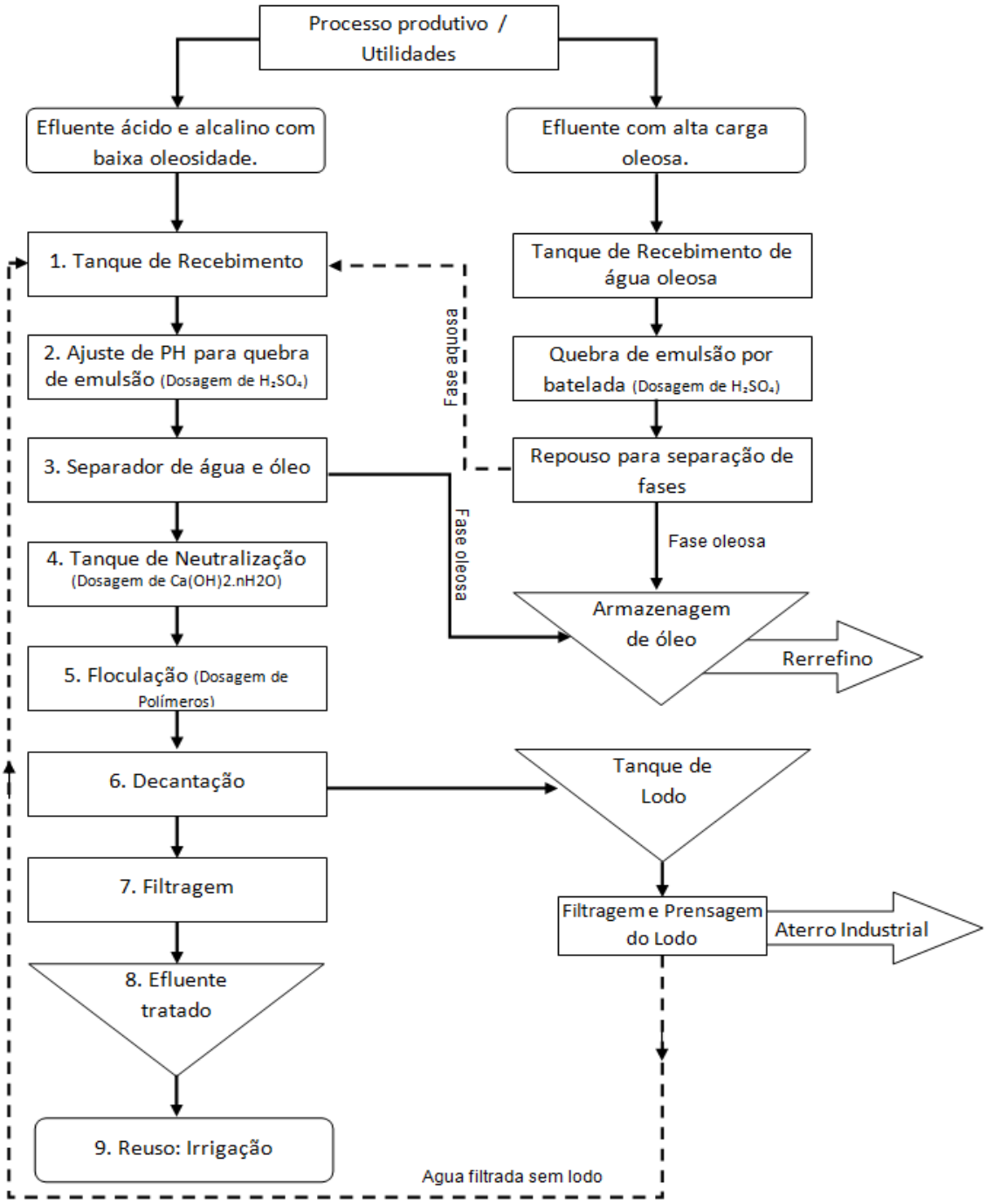


LEGENDA					
	Operação		Sentido de Fluxo		Processos paralelos
	Armazenagem		Inicio e Fim.		

Figura 2: Fluxo Processo Produtivo

Processo Contínuo

Processo descontínuo



LEGENDA					
▭	Operação	⟶	Sentido de Fluxo	▭	Inicio e Fim.
▽	Armazenagem	⇨	Transporte	⟵	Retorno

Figura 3: Fluxo ETE.

Caracterização do efluente gerado.

No processo produtivo, e áreas de apoio, são gerados cerca de 120 m³/dia de esgoto industrial com características químicas e físicas variadas entre ácidos, alcalinos e água oleosa.

Análises dos parâmetros.

Para uma amostra pontual foi realizada em triplicata as análises dos parâmetros pH, fluoreto, DQO, de maneira a ratificar a reprodutibilidade dos resultados. A caracterização foi realizada em laboratório externo de acordo com a 21ª Edição do "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" - APHA/ AWWA, tendo como referencia a Resolução do Conama nº 430/2011.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analise de pH

Na avaliação operacional notou-se que para processo A (cal hidratada) o pH ideal para uma boa floculação foi entre 7,5 e 8,5. Com pH mais baixo observou-se a formação dos flóculos menores e uma decantação mais lenta e de baixa densidade transferindo o resíduo para os filtros.

Para o processo B (hidrato de alumínio) foi possível operar com um pH entre 6,5 e 7,5 sem prejudicar a formação dos flóculos de lodo apresentando boa densidade para uma decantação .

A media dos três meses avaliada foi de pH 8,2 para o processo A no período de maio a julho de 2010, e pH 6,5 para o processo B no mesmo período em 2011 (Figura 4).

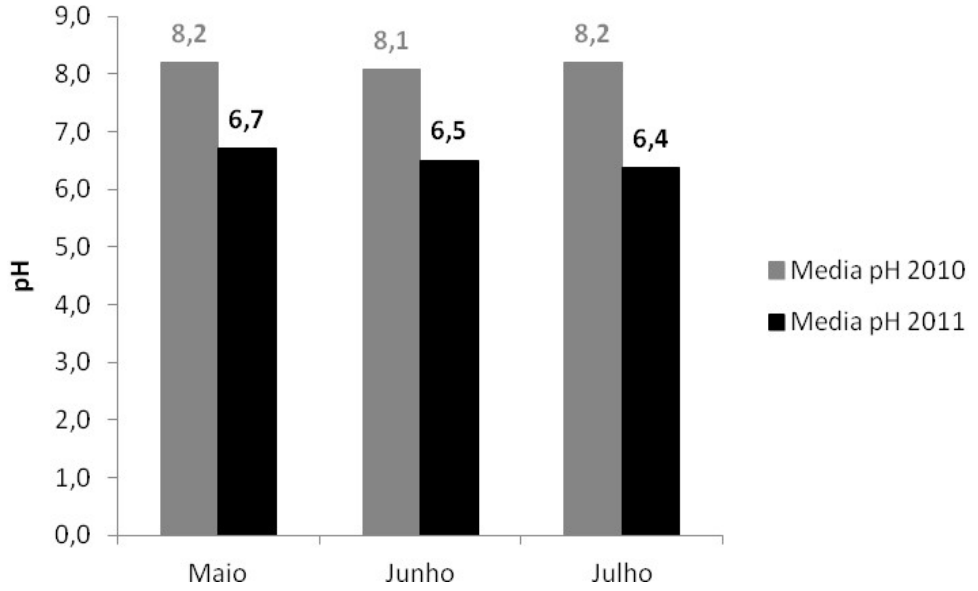


Figura 4: Valores de pH na saída da estação de tratamento de efluentes para o período estudado para os processos A (2010) e B (2011).

Segundo Basso *et al*. (2010), a formação de precipitados na água de irrigação podem contribuir para obstrução das tubulações e emissores do sistema de irrigação principalmente, nas águas com nível de pH acima de 7.

Visualmente observou-se que o pH acima de 7,0 causou "amarelamento" das gramíneas nos locais irrigados e alta ocorrência de entupimentos dos bicos emissores devido à formação de sais de cálcio e magnésio. De acordo com estudos realizados pela indústria agropecuária Agrojet (200-), para se evitar a incrustação da tubulação e emissores, o pH deve ser mantido entre 5,5 e 6,5. Neste caso, o processo B demonstrou melhor eficiência no atendimento aos requisitos operacionais recomendados para o sistema de irrigação sem prejudicar o sistema de tratamento.

Análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio

Conforme a resolução federal do CONAMA nº 430/2011 Art. 16 a remoção mínima da DQO é de 60%. Por não haver ainda de forma objetiva uma legislação especifica para o reuso de efluente

industrial tratado na irrigação, este parâmetro foi definido como métrica com base nas condicionantes da Licença de Operação da unidade fabril onde prevê o atendimento aos padrões de lançamentos preconizados na legislação em vigor.

Na Figura 5 são apresentados os valores médios de remoção de DQO para os dois processos. Entre as amostras analisadas, o valor médio nos três meses foi de 78% de remoção para o processo A, com uma perda gradativa de eficiência. Sendo a remoção máxima de 83% ocorrida em maio/2011 para o processo B, a menor remoção ocorreu em julho de 2010 com 75% para o processo A. Essa condição pode estar associada à concentração de oxidante da matéria orgânica ou à variação do pH por falha de dosagem da mistura de cal. Segundo Tondello (2010), o pH mais elevado proporciona uma melhor remoção da DQO. Sendo assim, a falha no ajuste do pH prejudica sua remoção.

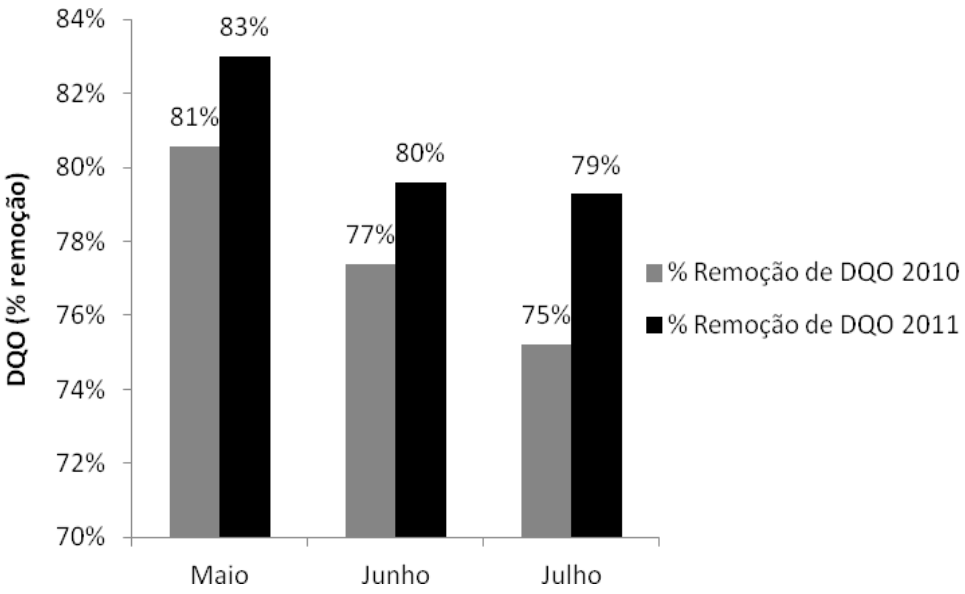


Figura 5: Comparativo da eficiência do sistema de tratamento de efluente a partir da porcentagem de remoção de DQO para o período estudado dos processos A (2010) e B (2011).

O resultado obtido no processo A atende ao padrão estabelecido na legislação em vigor, entretanto com base no desvio padrão de 0,07 e através do calculo do Cpk (CPU) obteve-se o valor de 0,90, que de acordo com Bastos (2001) é um

resultado insatisfatório, pois há possibilidade de ocorrência de valores abaixo de 60%, o que de acordo com os dados coletados expressos na Figura 6, no mês de junho pode-se observar um ponto abaixo da especificação comprovando a análise estatística.

Em relação ao processo B, observou-se um valor médio de 81% na remoção da DQO, e um desvio padrão de 0,06, não muito diferente do processo A, porém, devido à maior estabilidade do pH, a média ficou mais distante do limite mínimo permitido em 3% proporcionando um Cpk de 1,23. De acordo com Bastos (2001), é um resultado aceitável, mas passível de melhorias. Na figura 6 pode-se observar que alguns pontos ficaram próximos de 60%, mas não houveram ocorrências de não conformidades.

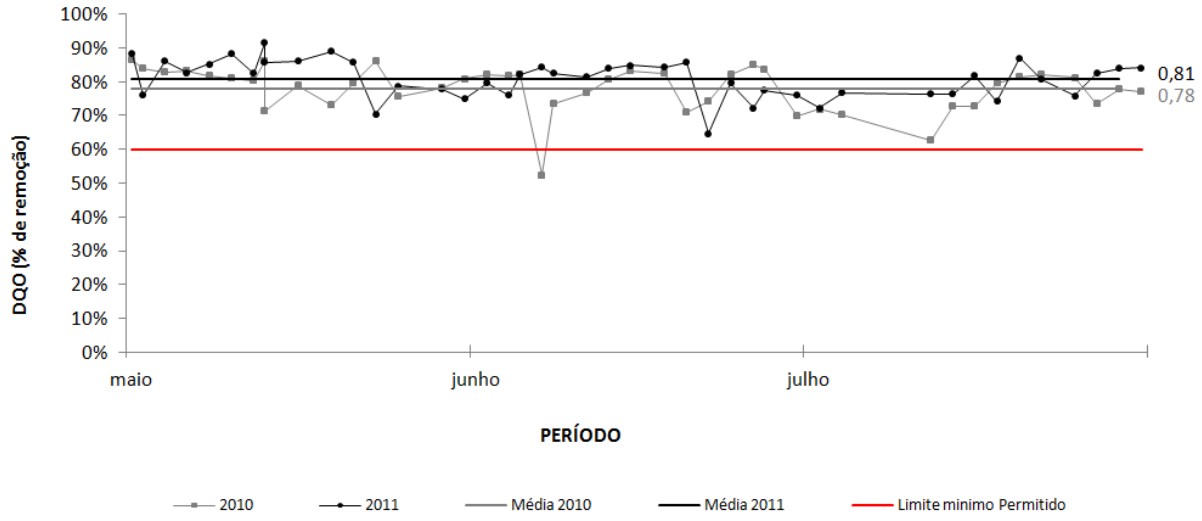


Figura 6: Resultados diários da porcentagem de remoção de DQO no período de maio, junho e julho para os processos A (2010) e B (2011).

Análise de Fluoreto

Na Figura 7 são apresentados os valores médios de fluoreto obtidos na saída do sistema de tratamento.

Em relação ao processo A, com uso da cal hidratada, a média de fluoreto obtida nos três meses foi de 7,5 mg/L, com um desvio padrão de 1,7. O Cpk obtido foi de 0,48 (CPL) indicando um processo insatisfatório (Bastos, 2001), ou seja, não oferece

segurança em atender ao limite especificado pela norma. Este resultado está associado à baixa solubilidade da cal hidratada em relação à vazão da ETE, e o tempo de reação insuficiente para promover a precipitação do fluoreto dissolvido no efluente.

Quanto ao processo B, foi obtida a média de fluoreto no trimestre de 3,04 mg/L, desvio padrão de 1,79. Pelo fato da média de concentração de fluoreto estar distante do VMP, Cpk obtido neste processo foi de 1,29. O desvio padrão nos dois processos ficou bem próximo. Isto se deve a variação de pH no efluente bruto. Sendo assim, o processo é estatisticamente aceitável dando maior segurança em relação ao processo A devido a alta solubilidade do hidrato de alumínio aumentando a velocidade da reação proporcionando maior remoção dos fluoretos.

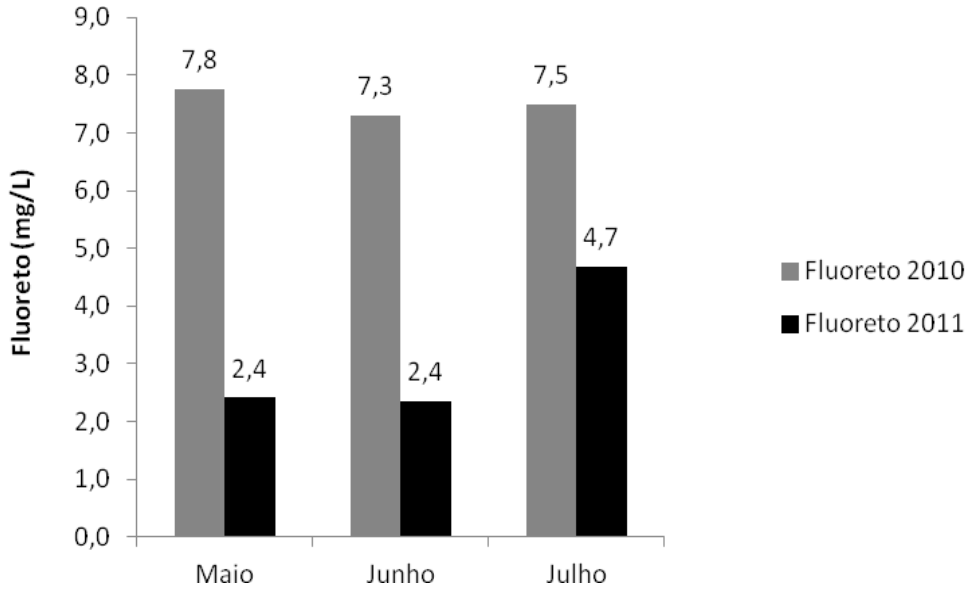


Figura 7: Valores médios de Fluoreto obtidos na saída da estação de tratamento de efluentes, para o período de estudo para os processos A (2010) e B (2011).

Na Figura 8 pode-se verificar que o desvio padrão foi semelhante para ambos os casos, entretanto, o processo B apresentou maior precipitação do fluoreto, o que reduz o risco de ocorrência de não conformidades.

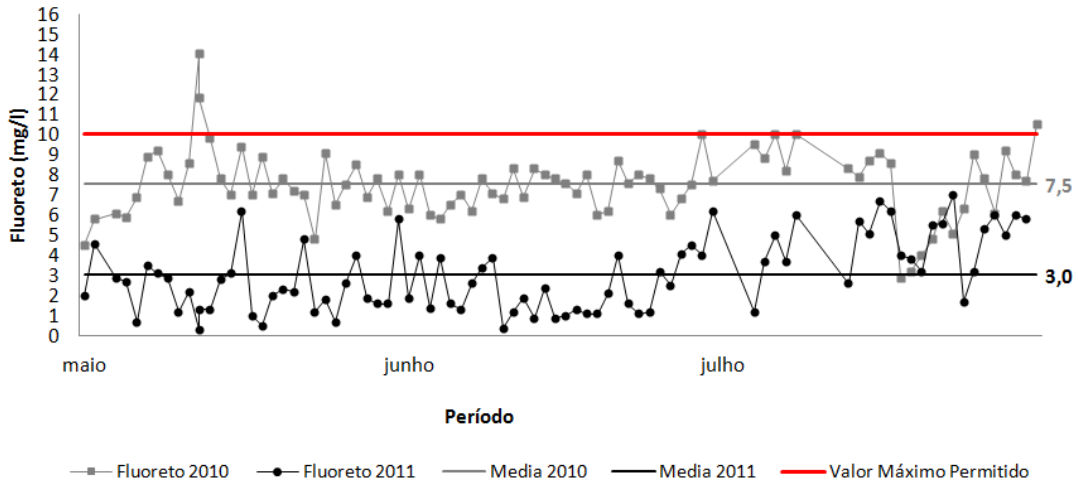


Figura 8: Medidas diárias da concentração de fluoreto na saída da estação de tratamento de efluentes para os processos A (2010) e B (2011).

Geração de lodo.

Ambos os processos apresentaram uma boa formação da "torta" (lodo prensado), boa consistência e facilidade de descarga. No entanto, para o processo A houve uma frequência maior de descarga, e com base nos registros de troca, também uma frequência maior na troca das lonas de filtragem. A variação na quantidade de lodo gerado observada no processo A pode ser influenciada pela concentração da mistura de cal, pois seu preparo é manual.

No processo B, foi observada uma redução de 43% na quantidade gerada no período avaliado de maio a julho em 2011. Por ser uma solução homogênea, no processo de coagulação/floculação apenas os sólidos dissolvidos no efluente bruto foram precipitados em forma de lodo. Entretanto, no processo A, possivelmente além dos sólidos dissolvidos também foram agregados ao lodo as partículas de cal dosadas na etapa de neutralização, provocando o aumento no volume do lodo gerado (Figura 9). Contudo este pode ser um objeto de pesquisa futuro

buscando verificar a relação da composição química do agente coagulante com o volume do lodo gerado.

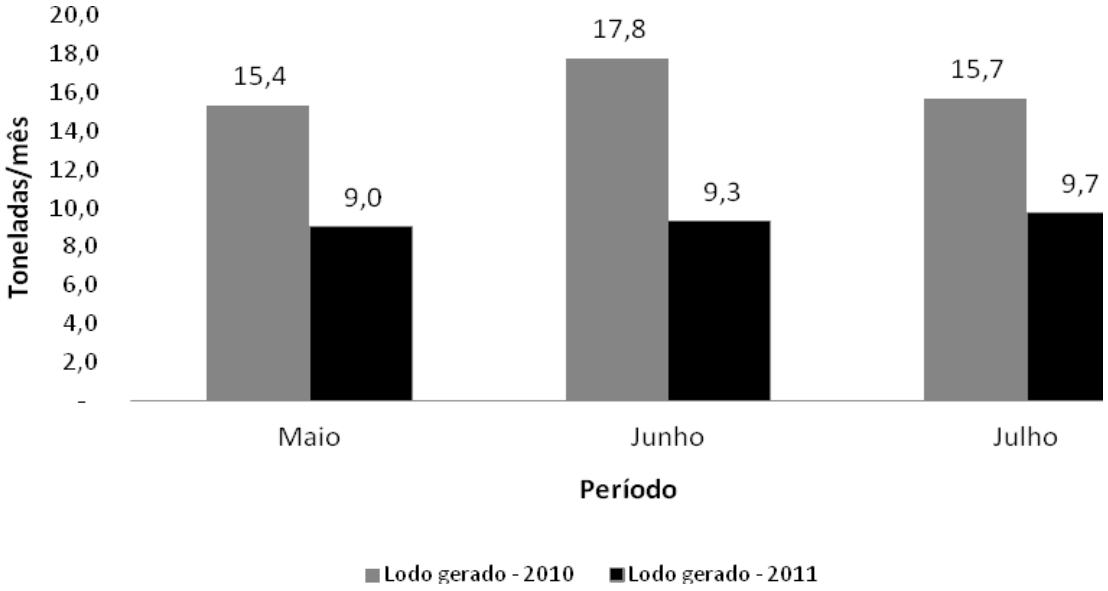


Figura 9: Quantidade de lodo produzida (ton/mês) durante o período estudado para os processos A (2010) e B (2011).

CONCLUSÃO.

Os resultados obtidos demonstram que a otimização do processo de tratamento de efluentes com o uso de hidrato de alumínio proporcionou uma maior eficiência na precipitação dos Fluoretos, maior estabilidade na remoção de DQO e menor volume na geração de lodo, além de permitir melhores condições de irrigação do esgoto tratado com pH na faixa mais adequada para este fim. O hidrato de alumínio é técnica viável como tratamento para efluentes de indústria de embalagens de alumínio apresentando alta eficiência na precipitação de fluoretos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGROJET. Indústria de Equipamentos Agropecuários. **Irrigação Localizada**. Apresenta textos sobre sistemas de irrigação localizada. Disponível em: <http://www.ebah.com.br>. Acesso em 14 de out. 2012.

2. AMARAL, Daniel Capaldo; ROZENFELD, Henrique. **Índices de Capabilidade do Processo (Cp, Cpk)**, 1999. Apresenta textos sobre controle estatístico de processos. Disponível em: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/>. Acesso em 03 de out. 2012.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10790:** Cal virgem e cal hidratada para tratamento de água de abastecimento público. Rio de Janeiro, 1995. 5p.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800:** Critérios para lançamentos de efluentes líquidos industriais no sistema coletor publico de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987. 1p.

5. BASSO, L. H. *et al*. **Embrapa Seminários:** Sistemas de produção – Irrigação e Fertirrigação. 2. ed. Versão eletrônica, 2010.

6. BASTOS, João. **Estatística Industrial – Capabilidade do Processo**. Portugal, 2001. Apresenta textos sobre estatística. Disponível em: <http://www.dge.ubi.pt/gqualidade/>. Acesso em 21 de mai. 2012.

7. BRASIL. Ministério da Saúde: Secretaria de Atenção à Saúde Departamento de Atenção Básica. **Guia de recomendações para uso de fluoretos no Brasil**. Ed. 1. Série A: Normas e Manuais Técnicos. Coordenador Gilberto Alfredo Pucca Junior. Brasília, DF. Secretaria de Atenção à Saúde, 2009, 41 p.

8. CETESB. **Fluoretos Gasosos**, 2010. Apresenta estudo sobre a influência do fluoreto na vegetação. São Paulo. Apresenta sobre obre a influência do fluoreto na vegetação. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 30 de set. 2012.

9. BRSAIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Lex:** Coletânea de Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012, Brasília, Edição Especial, p. 420-427, mai. 2011.

10. FONTANELLA, D.F. **Performance de ETE:** Otimização da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Cerâmica. Criciúma: Ed. UNESC, 2003, 61 p.

11. GIORDANO, G. **Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos**. Niterói – RJ, 1999. Dissertação de Mestrado (Ciência Ambiental) Universidade Federal Fluminense, 1999.

12. GOMES, C.J. **Gestão de Relacionamento com Clientes no mercado Industrial**: Um Estudo de Caso na Novelis do Brasil. Ouro Preto: Ed. UFOP, 2006. 147p.

13. HESPANHOL, Ivanildo; MIERZWA, José Carlos. **Água na Indústria - uso racional e reuso.** Revisão de Laura Martinez Moreira e Tatiana Costa. São Paulo, SP. Oficina de Textos, 2005, 143 p.

14. IQA - **Fundamentos de controle estatístico de processo CEP**. 2005. Apresenta textos sobre controle estatístico de processos. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br>. Acesso em 03 de out. 2012.

15. MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H. F. **Reuso de Água**. 1. ed. São Paulo, Manole, 2003, 198 p.

16. McBRIDE, M.B. **Reactions controlling heavy metal solubility in soils**. Soil Science, New Brunswick, v. 10, p. 1-56, 1989.

17. McBRIDE, M.B.; RICHARDS, B.K.; STEENHUIS, T.; RUSSO, J.J.; SAUVÉ, S. **Mobility and solubility of toxic metals and nutrients, in soil fifteen years after sludge application**. Soil Science, New Brunswick, v.162, n. 7, p. 487-500, 1997.

18. MIRLEAN, Nicolai *et al*. **Propagação da poluição atmosférica por flúor nas águas subterrâneas e solos de regiões próximas às indústrias de fertilizantes.** 2000. 8 f. Artigo (acadêmico) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2001.

19. NUNES, José Alves. **Tratamento Biológico de águas residuárias**. 2 ed. São Paulo, SP. Abes, 2010, 265 p.

20. PHILIPPI, Arlindo JR. Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. **Coleção Ambiental, 2**. Manole, São Paulo, p. 87-93, 2005.

21. POSSA, M.V.; SANTOS, M.D.C. **Tratamento de Drenagem ácida de Mina por processo de Neutralização Controlada:** Seminário Brasil - Canadá de Recuperação Ambiental de Áreas Mineradas. Rio de Janeiro: Ed. CETEM, 2003. 21 p.

22. RICHTER, Carlos A.; JOSÉ NETTO, M.A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 1. ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1991, 35 p.

23. RUBIO, J.; TESSELE, F. **Tratamento de minérios:** Processo para o Tratamento de Efluentes na Mineração. 3. Ed.: CETEM. Cap. 16. p. 639-681, 2002.

24. SANTOS, M.O.R. **O Impacto da Cobrança pelo Uso da Água no Comportamento do Usuário.** 2002. 241 f. Tese (Livre-Docência) – Universidade Federal do Rio de janeiro.

25. TONDELLO, Tiago. **Estudo da remoção de Cromo e DQO por processo físico-químico.** 2010. 12 f. Monografia (Pós Graduação) – Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul.