

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

NICOLE CHINI COLONETTI

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO QUÍMICA VISANDO O
REÚSO DOS EFLUENTES GERADOS NAS ETAPAS DE POLIMENTO E
ESQUADRAMENTO DE UMA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

CRICIÚMA

2014

NICOLE CHINI COLONETTI

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO QUÍMICA VISANDO O
REÚSO DOS EFLUENTES GERADOS NAS ETAPAS DE POLIMENTO E
ESQUADRAMENTO DE UMA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientadora: M. Sc. Nadja Zim Alexandre

CRICIÚMA

2014

NICOLE CHINI COLONETTI

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO QUÍMICA VISANDO O
REÚSO DOS EFLUENTES GERADOS NAS ETAPAS DE POLIMENTO E
ESQUADRAMENTO DE UMA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 27 de Junho de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. (a) Nadja Zim Alexandre - Mestre - (UNESC) - Orientador

Prof. (a) Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann - Mestre - (UNESC)

Prof. José Alfredo Dallarmi da Costa – Mestre - (UNESC)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, como forma de agradecimento por todo apoio e dedicação durante esses longos anos de estudos. Esse trabalho representa o alicerce da edificação do meu futuro.

Muito Obrigada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concebido o dom da vida.

Aos meus avós paternos e maternos, que mesmo não estando mais neste plano, me guiam e iluminam todos os dias. As estrelas mais iluminadas do céu me lembram vocês!

Aos meus pais, Fátima e Getulio, por toda força, dedicação e empenho em prol a minha educação. Eu amo vocês!

Ao meu querido irmão, Guilherme, por perder horas de seu tempo me auxiliando com as “incógnitas” da Engenharia.

À minha linda sobrinha, Luiza, que mesmo tão pequena consegue passar a lição de como a vida é melhor sorrindo.

À todos os meus colegas de trabalho pelo conhecimento, ajuda e informações repassadas, em especial ao “Ovelha”, ao “Zé”, ao Daniel Ferrari e a Thays Rodrigues, por terem sido peças fundamentais para o desenvolvimento e conclusão do meu trabalho. O meu muito obrigada!

À minha querida Orientadora, Prof.^(a) Nadja Zim Alexandre, pela orientação e amizade de suma importância no decorrer do semestre.

Ao meu Supervisor de Campo, Mainar Allgaier, por ter despendido tempo e confiança em meu trabalho.

À banca examinadora, Prof.^(a) Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann e o Prof. José Alfredo Dallarmi da Costa, por terem aceito o convite e desafio.

À todos os amigos que passaram na minha vida durante estes cinco anos de graduação e contribuíram para essa conquista profissional, em especial à Marina Rabello, Alex Benedet, Mayara Orben, Monike Demarch, Tiago Torres, Joelma Teza, Giovano Isidoro, Carlos Gerzoschkowitz Jr., e a toda equipe da Empresa Junior de Engenharia e Consultoria Ambiental - ECO Jr., a qual tive o imenso prazer de fazer parte. Serei eternamente grata!

Agradeço enfim a todos que diretamente e/ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho. O meu muito OBRIGADA!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

O presente estudo possui como objetivo principal avaliar e otimizar o processo de clarificação química dos efluentes gerados para reúso nas etapas de polimento e esquadramento de uma indústria de revestimentos cerâmicos, localizada no Sul de Santa Catarina. O tratamento físico-químico realizado através do processo de coagulação e floculação não apresenta a qualidade desejada pela produção da indústria, ocasionando desgastes excessivos com ferramentas abrasivas de corte, incrustações nos sistemas e altos custos despendidos com o tratamento. Para atender o proposto objetivo, foram realizados testes de jarros ou *Jar Test*, variando-se as dosagens do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) e do Polímero Aniônico de Poliacrilamida, a fim de obter as dosagens ótimas em escala laboratorial e converter para a planta industrial. Desta forma, avaliaram-se os parâmetros de turbidez, sólidos suspensos, dureza total e o pH dos efluentes. Os efluentes são divididos em duas linhas, onde a Linha A apresenta vazão média de $90\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ e a Linha B de $120\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Os ensaios realizados apresentaram dosagens ideais de coagulante de $10,28\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para a Linha A e $14,38\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para a Linha B. As vazões ajustadas e dosadas na planta industrial serão de $0,92\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ para a Linha A e $1,73\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ para a Linha B. Os efluentes das Linhas A e B apresentaram em escala laboratorial dosagens de $0,5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de polímero para a clarificação. Essas duas vazões ampliadas para a planta industrial representam dosagens de $45,00\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ na Linha A e $60,00\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ na Linha B. Os resultados obtidos indicam que o tratamento físico-químico de coagulação e floculação apresenta-se como uma boa alternativa para a clarificação desses efluentes. O tratamento realizado apresentou-se eficiente nos parâmetros de sólidos suspensos e turbidez, mas não para a redução da dureza total. Sugere-se ainda que caso a empresa verifique a necessidade da redução do parâmetro de dureza total, adote outro tipo de tratamento para tal fim, como o abrandamento ou a precipitação química. Recomenda-se que a empresa realize algumas modificações na planta industrial com o objetivo de melhorar o processo e obter uma maior eficiência com o mesmo.

Palavras chaves: Coagulação. Floculação. Clarificação. Dosagem ótima. Efluentes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos por via úmida	24
Figura 2 - Mecanismo de agregação das partículas. Forças de atração e repulsão entre os colóides e o meio aquoso (a) desestabilização das cargas dos colóides, através da adição do coagulante (b) e formação de aglomerados de partículas através da adição do auxiliar de coagulação (polieletrólito) (c)	34
Figura 3 - Etapas do tratamento físico-químico contendo as unidades de gradeamento, coagulação, floculação e sedimentação	38
Figura 4 – Fluxograma contendo as etapas do sistema de tratamento de efluentes e ETE em escala industrial. Canaletas de saída dos efluentes (a) gradeamento para a retenção de sólidos grosseiros (b) tanque de equalização/mistura e local de dosagem do coagulante (c) decantador circular e local de dosagem do polímero (d) decantador lamelar (e) tanque armazenador do efluente tratado ou água para reúso no processo (f) peneira hidrodinâmica e lodo gerado pelos decantadores (g)	41
Figura 5 – Layout representativo do sistema de tratamento de efluentes e ETE da indústria em questão. A linha vermelha caracteriza o efluente para tratamento e a linha azul, o efluente ou água tratada para reúso no processo	42
Figura 6 - Ilustração dos reagentes. PAC sem diluição (a), PAC diluído a 1% (b) e o polímero diluído a 0,1% (c).....	45
Figura 7 - Aspecto físico dos efluentes brutos da Linha A (a) e da Linha B (b).....	50
Figura 8 - Efluentes da Linha A com as melhores dosagens de coagulante aplicadas (1,5mL (a), 1,8mL (b) e 2,1mL (c)). Em destaque o efluente com a dosagem ideal..	52
Figura 9 - Efluentes da Linha B com as melhores dosagens de coagulante aplicadas (1,5mL (a), 1,8mL (b) e 2,1mL (c)). Em destaque o efluente com a dosagem ideal..	53
Figura 10 - Efluentes da Linha A com as melhores dosagens de polímero aplicadas(0,8mL (a), 1,0mL (b) e 1,2mL (c)). Em destaque o efluente com a dosagem ideal.....	54
Figura 11 - Efluentes da Linha B com as melhores dosagens de polímero aplicadas (0,8mL (a), 1,0mL (b) e 1,2mL (c)). Em destaque o efluente com a dosagem ideal..	54
Figura 12 - Gráfico apresentando a eficiência dos parâmetros de sólidos suspensos, dureza total e turbidez dos efluentes das Linhas A e B.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de grades e seus respectivos espaçamentos.....	29
Tabela 2 - Principais agentes coagulantes e faixa de pH ideal para uma boa coagulação.....	32
Tabela 3 - Comparativo entre o coagulante PAC utilizado em escala industrial e laboratorial.....	44
Tabela 4 - Comparativo entre o polímero aniônico de poliacrilamida utilizado em escala industrial e laboratorial	45
Tabela 5 - Características dos efluentes brutos das Linhas A e B	51
Tabela 6 - Resultados obtidos nos ensaios para avaliar a melhor dosagem de coagulante nas Linhas A e B.....	52
Tabela 7 - Resultados obtidos nos ensaios para avaliar a melhor dosagem de polímero nas Linhas A e B	53
Tabela 8 - Dosagens ótimas de coagulante e auxiliar de coagulação das Linhas A e B	55
Tabela 9 – Resumo das vazões e dos resultados das concentrações e dosagens ótimas em escala laboratorial e industrial dos reagentes, para as Linhas A e B.....	58
Tabela 10 - Características dos efluentes tratados das Linhas A e B	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
$Al_2(SO_4)_3$	Sulfato de alumínio
$Aln(OH)mCl(3n-m)$	Policloreto de Alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de cerâmica para revestimentos, louças sanitárias e congêneres
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CO_3^-	Carbonato
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Coord.	Coordenador
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
$Fe_2(SO_4)_3$	Sulfato férrico
$FeCl_3$	Cloreto férrico
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Sulfato ferroso
H^+	Íons de hidrogênio
HCO_3^-	Bicarbonato
Mg^{++}	Magnésio
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma Brasileira
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OH^-	Hidróxidos
PAC	Policloreto de Alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	15
2.2 REÚSO DA ÁGUA	16
2.3 INDICADORES DE QUALIDADE	19
2.3.1 Características físicas da água	19
2.3.2 Características químicas da água	20
2.3.3 Características biológicas da água	21
2.4 INDÚSTRIA CERÂMICA	21
2.4.1 Cerâmica de revestimentos	22
2.4.2 Matérias-primas	23
2.4.3 Processo produtivo de revestimentos cerâmicos	23
2.5 EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	27
2.5.1 Sistema de tratamento de efluentes	28
2.5.1.1 Tratamento físico.....	29
2.5.1.2 Tratamento físico-químico por coagulação e floculação.....	30
2.6 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS	36
3 METODOLOGIA	37
3.1 GERAÇÃO DE EFLUENTES	38
3.1.1 Descrição do sistema de tratamento de efluentes e ETE	39
3.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	43
3.2.1 Procedimento de coleta das amostras	43
3.2.2 Comparativo dos produtos químicos (escala industrial e laboratorial)	44
3.2.3 Materias e equipamentos	46
3.2.4 Ensaio em Jar Test	46
3.3 AMPLIAÇÃO DA ESCALA	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO.....	50
4.2 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DAS DOSAGENS ÓTIMAS.....	51
4.2.1 Cálculo para a dosagem ótima	54
4.2.1.1 Linha A	55
4.2.1.2 Linha B	56

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES TRATADOS	59
4.3.1 Eficiência e qualidade do tratamento	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS.....	64
ANEXO(S).....	68
ANEXO A – ANÁLISE DO EFLUENTE BRUTO DA LINHA A	69
ANEXO B – ANÁLISE DO EFLUENTE TRATADO DA LINHA A	70
ANEXO C – ANÁLISE DO EFLUENTE BRUTO DA LINHA B.....	73
ANEXO D – ANÁLISE DO EFLUENTE TRATADO DA LINHA B	74

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o rápido crescimento econômico do país associado à exploração dos recursos naturais, resultaram em problemas como a escassez de água e a poluição dos recursos hídricos.

O desenvolvimento industrial de maneira desordenada representa uma das principais causas para o agravamento desses problemas, pois seus processos produtivos geram diferentes tipos de resíduos e efluentes, que se não controlados e dispostos corretamente, podem causar sérios danos ao meio ambiente.

A sensibilização da população pela necessidade de um desenvolvimento sustentável vem se ampliando e, com isso, as empresas impulsionadas pela opinião pública passaram a adotar práticas de conservação em benefício ao meio ambiente.

A água, elemento essencial ao surgimento e à manutenção da vida, é indispensável para o desenvolvimento de diversas atividades criadas pelo homem e apresenta, por essa razão, valores econômicos, sociais e culturais (MORAN; MORGAN; WIERSMA, 1985; BEECKMAN, 1998 apud MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Segundo Giordano (2004), nas atividades industriais, a utilização de água pode estar diretamente associada às etapas do processo industrial, incorporada aos produtos como matéria-prima (compondo, com outras substâncias, o produto final) ou até mesmo como meio de transporte; como para a lavagem de máquinas, pisos e tubulações.

A indústria de revestimentos cerâmicos utiliza quantidades expressivas de água nas etapas de seu processo.

A água exerce um papel muito importante na produção de revestimentos cerâmicos. Ela pode ter funções especificamente tecnológicas, quando atua como matéria-prima ou funções auxiliares, quando atua como líquido para refrigeração ou lavagem. (BLASCO, A. et al, 1992, p. 76, tradução da autora).

Nas etapas de polimento e esquadramento das peças cerâmicas, as máquinas carecem de água continuamente em todo o processo, com a função de reduzir o atrito existente entre as ferramentas de corte e o material, refrigerar e retirar os resíduos gerados que podem ficar sobre as peças, causando riscos e arranhões.

O consumo de água nestas etapas ocasiona a geração dos efluentes líquidos, que somente poderão ser lançados nos corpos receptores se atenderem aos

limites de padrões de lançamentos de efluentes, conforme prioriza a Lei Estadual nº 14.675 de 13 de abril de 2009 e a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430 de 13 de maio de 2011 (SANTA CATARINA, 2009; BRASIL, 2011).

Assim, com o intuito de minimizar os impactos ambientais, atender as legislações e obter economia com custos operacionais e tarifários, a empresa de revestimentos cerâmicos em estudo realiza o tratamento dos efluentes gerados nas etapas de polimento e esquadramento, reutilizando-os no processo.

O reúso de efluentes tratados para fins não potáveis tem sido cada vez mais aceitos. A viabilidade desta alternativa tem sido comprovada. Enquanto o tratamento do efluente convencional tem como objetivo natural atender aos padrões de lançamentos, a motivação para o reúso é a redução de custos e muitas vezes, a asseguuração do abastecimento de água. (GIORDANO, 2004, p. 61).

Atualmente, o tratamento realizado nos efluentes líquidos gerados nas etapas de polimento e esquadramento não apresenta a qualidade desejada para o reúso no processo, ocasionando desgastes excessivos com ferramentas abrasivas de corte, incrustações nos sistemas e altos custos despendidos com o tratamento não otimizado.

Assim, a fim de adequar a qualidade do efluente tratado para o reúso, o presente estudo objetiva avaliar e otimizar o processo de clarificação química dos efluentes gerados nas etapas de polimento e esquadramento.

Para atender o proposto objetivo, se faz necessário atingir algumas metas intermediárias, como:

- a) descrever o processo produtivo e a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) das etapas de polimento e esquadramento;
- b) quantificar os efluentes gerados nessas etapas;
- c) definir a dosagem ótima de produtos químicos auxiliares da clarificação;
- d) avaliar a eficiência do tratamento com a utilização dos novos parâmetros de dosagem de produtos e;
- e) propor melhorias para a ETE em operação.

Para tal fim, foram realizados ensaios de tratabilidade através de “Testes de Jarros” ou *Jar Test*, visando a obtenção da dosagem ótima dos reagentes em escala laboratorial. Respectivamente, foram analisados parâmetros físico-químicos

como sólidos suspensos, turbidez, dureza total e potencial hidrogeniônico (pH) dos efluentes.

Os testes para a definição da dosagem ótima foram realizados no laboratório da própria empresa e as análises dos parâmetros físico-químicos em laboratório externo.

O tratamento atual consiste no tratamento físico-químico, por meio das unidades de gradeamento, coagulação, floculação e sedimentação das impurezas presentes nos efluentes.

Para o devido tratamento, utilizou-se dois reagentes químicos com diferentes funções, o Policloreto de Alumínio (PAC) atuando como coagulante e o polímero aniônico de poliacrilamida em solução de 0,1% (m/v), como auxiliar da coagulação.

Após a obtenção dos resultados, as dosagens ideais obtidas em laboratório foram ampliadas e inseridas no sistema de tratamento atual existente, a fim de otimizar as características do efluente tratado para o reuso no processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial, serão abordados os temas pertinentes ao assunto de pesquisa do trabalho, iniciando com uma abordagem rápida sobre a problemática ambiental acerca da disponibilidade hídrica e a importância do reúso. Além disso, serão descritas as principais características físicas, químicas e biológicas de qualidade da água. Na sequência, será apresentada uma breve introdução à respeito da indústria de revestimentos cerâmicos com processo produtivo por via úmida, com foco nas matérias-primas utilizadas e nas etapas de polimento e esquadramento. Para finalizar, serão abordados os sistemas de tratamento de efluentes existentes, destacando o processo físico-químico de coagulação e floculação.

2.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

A água, através dos mares e oceanos, representa aproximadamente cerca de 70% da superfície da Terra. Desse total, 97,5% da água existente é salgada e apenas 2,5% é considerada doce. Dessa parcela de água doce disponível, estima-se que 13% encontra-se no Brasil (ANA, 2012).

Do total de água doce existente, 68,9% está sob a forma de gelo e neve eterna; 30,8% no solo e subsolo, sendo 29,9% em reservatórios subterrâneos (difícil acesso) e 0,9% em situações diversas, como umidade do solo e pântanos. Apenas 0,3% do total de água doce existente encontra-se em lugares de fácil acesso, como em rios, lagos e lagoas (REBOUÇAS, 1999 apud SARRETA, 2013).

A água doce é indispensável para o desenvolvimento de atividades industriais, agrícolas e de usos domésticos, além de ser o elemento essencial para o consumo humano e para a manutenção da vida de todos os organismos vivos.

Em termos globais, 69% dessa água destina-se à irrigação, 23% são usadas pela indústria e apenas 8% destina-se ao consumo doméstico (ANA, 2012). Para Barros e Amin (2008, p. 75), esses dados comprovam que “a água é um bem econômico e um recurso estratégico essencial ao desenvolvimento econômico e social dos países”.

A disponibilidade hídrica do Brasil é bastante confortável, se comparado aos demais países do globo terrestre. No entanto, a distribuição desigual e a constante

poluição dos recursos hídricos tem provocado grande preocupação em âmbito mundial.

A degradação ambiental tem se agravado nas últimas décadas, particularmente, no que se refere a poluição dos recursos hídricos. O desenvolvimento industrial vem se caracterizando como uma das principais causas para o agravamento desse problema, pois seus processos geram diferentes tipos de resíduos e efluentes na forma líquida, sólida e gasosa, que geralmente são descartados de maneira inadequada. (CANTELLI, 1999, p. 1).

Para ANA (2012), a água devido à sua mobilidade, à sua distribuição não uniforme e a sua poluição, deve ser considerada um recurso limitado, e seus usos devem ser planejados da maneira mais eficiente possível.

Nesse sentido, a Resolução do CONAMA nº 430/2011 que dispõe sobre “as condições e padrões de lançamentos de efluentes”, ressalta no Art. 27 que as fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos, devem buscar práticas de gestão de efluentes com vistas ao uso eficiente da água e sempre que possível, e adequado, devem implantar o sistema de reúso (BRASIL, 2011).

Reutilizar os efluentes tratados no processo industrial torna-se economicamente e ambientalmente mais viável do que lançá-los novamente aos corpos receptores.

2.2 REÚSO DA ÁGUA

O aumento da demanda e tarifas de água para atender, principalmente, o consumo humano, agrícola e industrial, a poluição dos recursos hídricos, as restrições nas legislações ambientais quanto ao lançamento de efluentes, vêm motivando os setores econômicos a adotarem práticas de racionalização (HESPANHOL, I. (Coord.), 2004).

O reaproveitamento ou reúso da água pode ser designado como o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outros fins menos nobres, podendo ser realizado de forma direta ou indireta.

O reúso direto é caracterizado quando o despejo, após sofrer um processo de tratamento, é utilizado na própria fonte que o gerou (reúso “*in plant*”) ou em outras fontes geradoras (reúso “*off plant*”). Já o reúso indireto, se caracteriza pelo

aproveitamento do efluente tratado, porém, diluído previamente nas águas do corpo receptor onde foi lançado (CAVALCANTI, 2009).

Gondim Filho (2011, p. 2) afirma que “apesar da importância do tema, o Brasil ainda não dispõe de instrumentos legais e infralegais que normatizem a reutilização de águas residuárias”.

Neste sentido, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) aprovou a Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005 que dispõe sobre “modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água”, e descreve no Art. 2º as seguintes definições acerca da água e seu reúso (BRASIL, 2005):

I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

II - reúso de água: utilização de água residuária;

III - água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

IV - reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

V - produtor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso;

VI - distribuidor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso e;

VII - usuário de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso.

De acordo com o Art. 3º, o reúso direto não potável de água, abrange as seguintes modalidades:

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais e;

V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Contextualizando a Resolução 54/2005, o reúso da água constitui-se em uma prática de racionalização e de conservação dos recursos hídricos, podendo ser utilizada como instrumento para regular a oferta e a demanda de água e contribuir para o problema da escassez.

A Resolução considera ainda que a prática de reúso reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes. Para as indústrias, a prática pode ocasionar ganhos ambientais, econômicos e sociais significativos.

Os ganhos ambientais estão relacionados com a redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água. Isso possibilita, então, que um volume maior de água permaneça disponível para outros usos. Em certas condições é possível assistir na redução da poluição hídrica por meio da minimização do descarte de efluentes (HESPANHOL, I. (Coord.), 2004). Além disso, o reúso permite que a empresa esteja adequada quanto às normas ambientais de lançamentos de efluentes em vigor.

Os benefícios econômicos ocorrem devido a mudanças nos padrões de produção e consumo e, conseqüentemente, na redução dos custos de produção e dos fatores de cobrança pelo uso da água (HESPANHOL, I. (Coord.), 2004).

Por fim, os benefícios sociais estão relacionados com a melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresa socialmente responsável e preocupada com o meio ambiente.

2.3 INDICADORES DE QUALIDADE

As substâncias presentes na água determinam o conceito de qualidade, estando o mesmo relacionado de acordo com o uso e suas características.

Para caracterizar a água quanto aos seus componentes, parâmetros conhecidos como indicadores de qualidade são levados em consideração, representando as características físicas, químicas e biológicas da água (MOTA, 1997 apud CARVALHO, 2008).

2.3.1 Características físicas da água

Os principais parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente as águas residuárias são: teor de sólidos, turbidez, cor e temperatura.

Segundo Giordano (2004), os sólidos são compostos por substâncias dissolvidas e em suspensão, podendo estes ser de composição orgânica e/ou inorgânica.

Para Nunes (2004), são considerados sólidos dissolvidos àquelas substâncias ou partículas que apresentarem dimensões inferiores a 10Å; e sólidos em suspensão, as que possuírem dimensões superiores a 1000Å.

Assim, os sólidos totais representam a soma dos sólidos dissolvidos e dos sólidos em suspensão. Os sólidos em suspensão são ainda subdivididos em sólidos coloidais, sedimentáveis e flutuantes.

Os sólidos coloidais são aqueles mantidos em suspensão devido ao pequeno diâmetro e pela ação da camada de solvatação que impede o crescimento dessas partículas. Os sedimentáveis e os flutuantes são aqueles que se separam da fase líquida por diferença de densidade. Além do aspecto relativo a solubilidade, os sólidos são analisados conforme a sua composição, sendo classificados em fixos e voláteis. Os primeiros de composição inorgânica e os últimos de composição orgânica. (GIORDANO, 2004, p. 8).

A turbidez é considerada um indicador de presença de material sólido em suspensão, de qualquer natureza, com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos colóides. A presença destas partículas na água provoca a dispersão e a absorção da luz, deixando a água com aparência nebulosa (turva) (CARVALHO, 2008).

A turbidez pode ser medida através do equipamento chamado turbidímetro e é indicada em termos de Unidades de Turbidez (NTU - *Nephelometric Turbidity Unit*).

Para Nunes (2004), a água pura é ausente de cor, e a sua presença ocorre devido a existência de substâncias coradas dissolvidas ou coloidais, de origem mineral e orgânica. Pode-se distinguir a cor real da aparente, sendo que a primeira ocorre devido à presença de substâncias dissolvidas e a segunda; pela existência de matérias em suspensão.

A presença de cor na água é originada, normalmente, de minerais ou vegetações naturais, tais como substâncias metálicas (compostos de ferro e manganês), humus, algas, protozoários ou até mesmo de despejos industriais. A água colorida apresenta aspecto desagradável e é indesejável ao abastecimento público.

A temperatura mede a intensidade de calor da água e está relacionada com a ionização de compostos, velocidade das reações químicas e bioquímicas, na solubilidade dos gases e no pH. A temperatura interfere ainda no desempenho do tratamento de águas, nas unidades de mistura rápida, no processo de floculação, decantação e filtração (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991 apud CARVALHO, 2008).

2.3.2 Características químicas da água

Os principais parâmetros químicos de qualidade analisados das águas residuárias são: pH, alcalinidade, acidez e dureza.

O pH representa, segundo Sperling (1996, apud Fontanella, 2003, p. 19), “a concentração de íons de hidrogênio (H^+) presentes na água, sendo um indicador da condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da mesma”. Os valores baixos de pH tendem a ser corrosivos, enquanto valores altos tendem a ser alcalinos e formar incrustações.

A faixa de pH varia de 0 a 14, onde o mesmo apresenta condições ácidas quando inferior a sete e condições alcalinas quando superior. O pH sendo igual a sete, caracteriza a neutralidade da água.

Denomina-se de alcalinidade a capacidade da água em consumir ácido, devido à presença de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^-) ou hidróxidos (OH^-).

A alcalinidade da água está relacionada com a coagulação e prevenção de corrosões nos equipamentos e tubulações de ferro.

A dureza pode ser considerada como um atributo conferido à água pela presença de alguns íons metálicos, principalmente cálcio (Ca^{++}) e magnésio (Mg^{++}), sendo expressa em termos de CaCO_3 (carbonato de cálcio) (AZEVEDO NETTO et al., 1987 apud CARVALHO, 2008).

“Águas com dureza de até 75mg.L^{-1} de CaCO_3 são consideradas moles. De 75 a 150mg.L^{-1} de CaCO_3 são moderadamente duras e acima de 150mg.L^{-1} de CaCO_3 são consideradas duras” (CETESB, 1973 apud PAVEI, 2006, p. 42).

A dureza se classifica em dois tipos, dureza temporária e permanente. A dureza temporária está relacionada com a presença de carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio. Já a dureza permanente, é devido a presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio (PAVEI, 2006). A dureza total é representada pela soma das durezas temporária e permanente.

Teores elevados de dureza podem causar sabor desagradável, efeito laxativo e produzir incrustações nos sistemas (MOTA, 1997 apud CARVALHO, 2008).

2.3.3 Características biológicas da água

“Entre as impurezas das águas, podem-se incluir os microrganismos como as bactérias, vírus e protozoários, que podem ser patogênicos e, dessa forma, causar doenças ou epidemias” (CARVALHO, 2008, p.8).

O tratamento biológico visa a remoção da matéria orgânica biodegradável e de alguns nutrientes, diminuindo a carga orgânica e tornando viável o lançamento de efluentes no corpo receptor.

2.4 INDÚSTRIA CERÂMICA

A indústria cerâmica possui uma participação significativa na economia brasileira. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor e consumidor de revestimentos cerâmicos do mundo, superado, em termos de volume, apenas pelo mercado chinês (ANFACER, 2014).

Fatores como elevada produtividade, custos baixos de produção, disponibilidade de insumos minerais e energéticos, diante de um mercado consumidor doméstico em franca expansão, relatam o crescimento da indústria cerâmica no Brasil (JUNIOR; BOSCHI; MOTTA, et al, 2010).

A indústria cerâmica é subdividida em setores que possuem características bastante heterogêneas e com níveis de avanços tecnológicos muito distintos.

Para ANFACER (2014), subdivide-se a indústria cerâmica em sete setores, sendo eles:

- Cerâmica branca;
- Cerâmica de alta tecnologia ou Cerâmica avançada;
- Cerâmica vermelha;
- Materiais abrasivos;
- Materiais refratários;
- **Revestimentos cerâmicos (placa cerâmica);**
- Vidro, cimento e cal.

O setor de revestimentos cerâmicos experimentou um crescimento vigoroso a partir dos anos 1990.

Segundo a ANFACER (2014), o setor de revestimentos cerâmicos do Brasil atualmente é constituído por 94 empresas, com 117 plantas industriais instaladas em 18 estados brasileiros.

A maior concentração de empresas encontra-se nos Estados de São Paulo e Santa Catarina, com destaque para os municípios de Santa Gertrudes (SP) e Criciúma (SC), e com forte expansão na região Nordeste.

2.4.1 Cerâmica de revestimentos

As cerâmicas de revestimentos são materiais em forma de placas usados na construção civil para cobrir e dar acabamento a superfícies lisas de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes residenciais, comerciais, industriais e de locais públicos. Recebem diversas designações, tais como: azulejo, porcelanato, piso, ladrilho, pastilha, dentre outros.

Os materiais de revestimentos são destacados no setor pela sua alta durabilidade, resistência mecânica e física, facilidade de limpeza, resistência ao ataque de líquidos e produtos químicos, além de possuir amplas possibilidades de utilização.

2.4.2 Matérias-primas

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 13816:1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a placa cerâmica constitui-se em uma “lâmina fina fabricada de argilas e outras matérias-primas inorgânicas, usadas como revestimentos para piso e parede”.

Os revestimentos cerâmicos são constituídos de uma grande variedade de matérias-primas, que se apresentam em dois tipos principais: os materiais argilosos e os não argilosos (FRANCO, 2009).

Os materiais argilosos apresentam grande variedade de tipos e composições, sendo utilizados na produção da massa cerâmica.

Para a NBR 6502:1995, a argila é um “solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002mm, apresentando coesão e plasticidade”. Já Oliveira e Maganha (2006, p. 28) definem a argila como sendo um “material natural, terroso e fino, que ao ser misturado com água adquire plasticidade e pode ser moldado de acordo com o produto a ser fabricado, resultando em um material de elevada qualidade mecânica”.

Os materiais não argilosos possuem como função promover a fusão da massa e dar sustentação ao corpo cerâmico. Os compostos minerais normalmente utilizados são o quartzo, talco, feldspato, calcário, dentre outros (ANFACER, 2014).

As matérias-primas utilizadas na produção de engobes e esmaltes, responsáveis pelo revestimento e decoração do material, também são compostos minerais e apresentam em sua composição chumbo, magnésio, sódio, estanho, zinco, zircônio e alumínio (ANFACER, 2014).

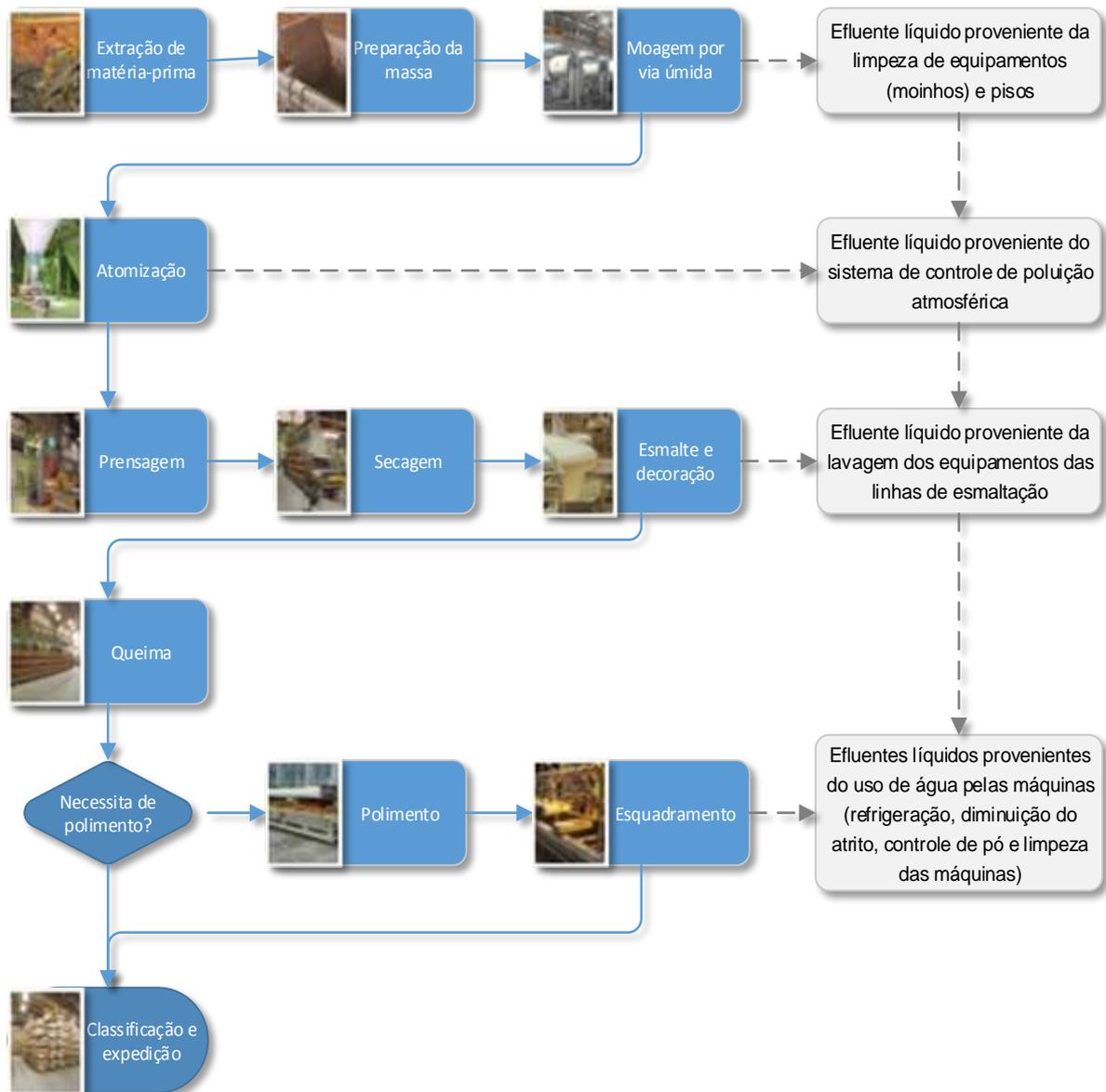
2.4.3 Processo produtivo de revestimentos cerâmicos

O processo de revestimentos cerâmicos pode ser classificado de acordo com o tipo de processo de preparação da massa; ou seja, por via úmida ou via seca.

No processo de via úmida, a moagem e a mistura das matérias-primas são realizadas em moinhos de bola em meio aquoso e posteriormente, a secagem e a granulação da massa em *spray dryer* (atomizador). Já no processo por via seca, as placas cerâmicas são feitas por moagem a seco, através de moinhos de martelo e pendulares e, depois, levemente umidificadas para a prensagem.

No sul do Brasil, o processo mais utilizado compreende operações de moagem por via úmida. Assim, ilustrando o processo por via úmida, a Figura 1 apresenta as etapas de fabricação de revestimentos cerâmicos por via úmida, destacando-as que consomem água e geram efluentes líquidos.

Figura 1 - Representação esquemática do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos por via úmida



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

A produção de revestimentos cerâmicos tem início com a extração das matérias-primas nas jazidas de mineração. Os minerais devem ser de alta qualidade, evitando a presença de matéria orgânica e/ou contaminantes que possam vir a afetar

a qualidade final do produto. Em seguida, as matérias-primas são transportadas e estocadas em locais específicos para posterior utilização.

A preparação da massa cerâmica envolve a mistura de matérias-primas, que são pesadas e quantificadas de acordo com o produto desejado, a fim de obter uma composição homogênea, denominada de massa cerâmica. Em seguida, a massa cerâmica é encaminhada à moagem.

A moagem realizada em moinhos de bola é efetuada em meio aquoso, promovendo maior interação entre os diversos componentes da massa. O interior desses moinhos contém esferas de material cerâmico de alta alumina ou seixos rolados, que dão origem a uma suspensão aquosa das matérias-primas finamente moídas, chamada de “barbotina”.

A barbotina é armazenada em tanques para homogeneização e posteriormente encaminhada ao atomizador. Segundo Ferrari (2000, p. 30), “a barbotina é bombeada para a parte superior do atomizador onde, por um bico dosador, esta massa líquida é borrifada, entrando em contato com o ciclone de ar quente a uma temperatura de, aproximadamente, 150°C”. A barbotina aquecida vira pó, este comumente chamado de pó atomizado.

A massa atomizada segue para a prensagem a fim de dar forma a peça cerâmica, através de uma pressão que conforma a peça no formato específico. Na prensagem, existe uma consolidação permanente do material devido ao aumento na compactação do corpo, que persiste mesmo depois da retirada da carga.

Após a etapa de formação, as peças geralmente ainda contêm quantidade significativa de água, proveniente da etapa de preparação da massa. Segundo Oliveira e Maganha (2006), para evitar tensões e conseqüentemente defeitos nas peças (trincas, bolhas, empenos), as mesmas são submetidas aos secadores a uma temperatura em torno de 100°C. Nesta etapa, as peças perdem cerca de 80% de umidade (EMPRESA CERÂMICA, 2014). Após a secagem, as peças seguem para as linhas de esmaltação e decoração.

O processo de esmaltação é, basicamente, a aplicação de uma camada fina de engobe, que tem como utilidade servir de base para o esmalte e funcionar como impermeabilizante das peças. Após a aplicação, as peças recebem uma camada de esmalte que influencia diretamente no aspecto estético e higiênico do material, melhorando algumas propriedades físicas, como a resistência mecânica e elétrica (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

Alguns materiais são submetidos a decoração, a qual pode ser realizada por diversos métodos, como serigrafia, máquinas digitais, pincel, dentre outros.

Após a decoração, as peças seguem para a etapa de queima nos fornos, onde o revestimento esmaltado é queimado a uma temperatura da ordem de 1160°C e em seguida, resfriado (MIRANDA, 2002 apud ZANETTE, 2004).

Através do processo de queima, o revestimento cerâmico adquire características mecânicas adequadas e estabilidade química para as diversas utilizações (PEREIRA, 2004). Para Oliveira e Maganha (2006, p. 39), é “nesta fase que os produtos adquirem suas propriedades finais, as quais incluem sua cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência à flexão, às altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, dentre outros”.

Após a etapa de queima, o revestimento cerâmico está pronto para ser classificado, embalado e expedido ao cliente.

Atualmente, no entanto, as cerâmicas de revestimentos, a fim de aumentar a beleza, o brilho e a qualidade dos produtos fabricados, submetem as peças cerâmicas às etapas de polimento e esquadramento.

Na etapa final do processo, uma grande parte da produção é direcionada para o polimento. Esse processo consiste em um equipamento dotado de várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos que, em contato com as peças em rotação alta, velocidade controlada em presença de água, executam o polimento, que confere beleza e brilho ao produto. (BITTENCOURT; BENINCÁ (2002 apud FONTANELLA, 2003, p. 18).

A etapa de polimento é realizada em três fases: nivelamento, preparação e polimento.

A primeira fase consiste no nivelamento da superfície da peça, a fim de extrair imperfeições que a mesma venha a apresentar. Estas imperfeições podem ser de curvatura, riscos superficiais ou pequenas deformações.

A segunda etapa consiste em realizar a preparação para o polimento. Cada cabeça da máquina polidora possui a finalidade de apagar os riscos deixados pelas cabeças anteriores e deixar a peça totalmente uniforme (lisa) (BITTENCOURT; BENINCÁ, 2002 apud FONTANELLA, 2003).

E, por fim, a terceira e última etapa consiste no polimento propriamente dito. A peça cerâmica pronta recebe o brilho desejado do produto.

A quantidade e a qualidade da água são essenciais para um bom polimento.

A água é utilizada continuamente no processo, possuindo a função de auxiliar no polimento do material, controlar o pó proveniente das operações, bem como, para o controle da temperatura e manutenção da limpeza na superfície do revestimento durante o processo. (PEREIRA, 2004, p. 45).

Após o polimento, as peças são encaminhadas para a fase de esquadramento.

Para Fontanella (2003, p. 18), “o esquadramento tem por finalidade realizar o ajuste da retilinearidade e tamanho dimensional das peças cerâmicas”. O processo é realizado em máquinas de retífica que, através de discos diamantados de corte, realizam o processo. As peças retificadas apresentam praticamente o mesmo tamanho, facilitando o alinhamento na hora do assentamento.

Como no polimento, é necessária a aplicação contínua de água no decorrer de todo o processo, ajudando a amenizar o atrito existente entre os discos diamantados e as peças, manutenção da limpeza e, auxiliando no resfriamento do sistema.

Após estes procedimentos, as peças são classificadas, embaladas e expedidas ao cliente final.

2.5 EFLUENTES INDUSTRIAIS

O uso da água e a conseqüente geração de efluentes líquidos para a fabricação de revestimentos cerâmicos pelo processo de via úmida, normalmente ocorre nas etapas de moagem de matérias-primas, na esmaltação, decoração, no polimento e esquadramento das peças cerâmicas. A água é utilizada também para a refrigeração e lavagem de equipamentos, pisos e demais instalações industriais, bem como no controle da poluição (lavador de gases) e no sistema de esgoto sanitário (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

Giordano (2004) afirma que “excluindo-se os volumes de água incorporados aos produtos pelas perdas por evaporação e/ou térmicas, as águas tornam-se contaminadas por resíduos do processo industrial, originando assim, os efluentes líquidos”.

Os principais contaminantes que podem estar presentes nesses efluentes são decorrentes das matérias-primas inorgânicas utilizadas, tais como: sulfatos,

fosfatos, cálcio, magnésio, zinco, chumbo, níquel e cobalto oriundos de produtos como esmaltes, resinas e da própria argila (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006). Esses efluentes, se lançados sem tratamento prévio em um corpo receptor, podem acarretar sérios danos à biota.

De forma geral, os efluentes da indústria cerâmica apresentam elevada concentração de sólidos. Como resultado, os efluentes apresentam altos índices de turbidez. Também, há constante ocorrência de metais.

Assim, para remover as impurezas contidas nas águas e obter a clarificação dos efluentes, as estações de tratamento são utilizadas para tratar as águas residuárias, envolvendo diferentes processos.

2.5.1 Sistema de tratamento de efluentes

O tratamento de efluentes industriais envolve processos necessários à remoção de impurezas, baseados na transformação dos poluentes em suspensão e dissolvidos em gases inertes ou sólidos sedimentáveis, para a posterior separação das fases sólida e líquida (GIORDANO, 2004).

“Os processos de tratamento de efluentes podem ser classificados de acordo com a natureza dos fenômenos utilizados para a remoção dos poluentes, podendo estes serem físicos, químicos ou biológicos (JORDÃO, 2005 apud GOMES, 2012).

Para Di Bernardo (1993, apud SCHOENHALS, 2006), dentre os processos existentes de tratamento de efluentes destacam-se os físicos, que são caracterizados por métodos de separação de fases, através de processos como sedimentação, decantação, filtração, centrifugação ou flotação dos resíduos.

Os métodos físicos abrangem a remoção de sólidos grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável.

Os processos químicos ocorrem através da adição de produtos químicos e, geralmente, são realizados quando não há possibilidade do tratamento físico ou biológico. Mas, o tratamento químico vem sendo utilizado como uma alternativa complementar, melhorando a eficiência dos tratamentos anteriores (JORDÃO, 2005 apud GOMES, 2012).

“Os métodos químicos podem ser utilizados para remover sólidos em suspensão e coloidais, nutrientes e metais pesados” (CAVALCANTI, 2009, p. 38).

Para Sperling (2005, apud GOMES, 2012), os processos biológicos possuem como principal objetivo a remoção de matéria orgânica, por meio de reações bioquímicas realizadas com o uso de microrganismos.

2.5.1.1 Tratamento físico

O tratamento de efluentes sempre se inicia com a remoção dos materiais que flutuam ou estão suspensos, através do uso de grades e telas. “Grades são dispositivos formados de barras metálicas, paralelas, de mesma espessura e igualmente espaçadas” (ODEBRECHT, 2010, p. 18).

O uso de grades possibilita a retenção dos sólidos grosseiros em suspensão, que segundo Sperling (1996) apresentam diâmetro igual ou superior a 1cm, e impedem a obstrução e danos às unidades e equipamentos (tubulações, bombas, dentre outros) de jusante. Sua utilização aumenta a eficiência dos tratamentos posteriores.

As grades podem ser simples ou mecanizadas, sendo diferenciadas quanto a sua forma de limpeza. As primeiras são de limpeza manual e as últimas de limpeza mecânica. Sua espessura dependerá do tipo de efluente a ser tratado e suas características. (NUNES, 2004, p. 89).

As grades são classificadas ainda de acordo com o espaçamento e tamanho dos sólidos que se pretende reter, podendo ser diferenciadas em grosseiras, médias e finas (CAVALCANTI, 2009).

A Tabela 1 mostra os tipos de grades existentes com seus respectivos espaçamentos.

Tabela 1 - Tipos de grades e seus respectivos espaçamentos

TIPOS DE GRADES	ESPAÇAMENTO (cm)
Grades grosseiras	4,0 - 10,0
Grades médias	2,0 - 4,0
Grades finas	1,0 - 2,0

Fonte: CAVALCANTI, 2009

Após a remoção dos sólidos grosseiros, tem-se a sedimentação simples ou primária, devido a presença considerável de sólidos sedimentáveis no efluente. Essa sedimentação acontece sem o auxílio de produtos químicos e proporciona economia

de produtos e alívio nas unidades subseqüentes de tratamento (NUNES, 1996 apud ZANETTE, 2004).

No entanto, quando o efluente a ser tratado apresenta partículas finas (suspensões coloidais), os métodos físicos de separação por si só não são efetivos, sendo necessário a utilização de produtos químicos para aumentar a eficiência do tratamento e obter a clarificação.

2.5.1.2 Tratamento físico-químico por coagulação e floculação

A coagulação e a floculação, fenômenos sequenciais, são processos físico-químicos utilizados para a clarificação de efluentes, de modo a promover a redução de sólidos em suspensão e coloidais do meio (CAVALCANTI, 2009).

Uma planta de tratamento físico-químico consiste em uma série de etapas onde se desenvolvem os processos físicos de sedimentação e homogeneização, seguido das etapas químicas de neutralização, coagulação e floculação. A separação dos sólidos formados nestas últimas etapas se dará por métodos físicos. O processo físico-químico de tratamento de efluentes é muito adequado para o tratamento de efluentes da indústria cerâmica. (BLASCO, 1998 apud ZANETTE, 2004, p. 21).

O processo de coagulação tem como objetivo precípua aglomerar as impurezas que encontram-se em suspensão, para que possam ser removidas por decantação ou filtração.

As forças de atração molecular entre as partículas, conhecidas como Forças de *Van der Waals*, são causadas pela interação de partículas dipolares permanentes ou induzidas, enquanto as forças de repulsão ocorrem devido ao Potencial Zeta (Schoenhals, 2006).

“O Potencial Zeta pode ser definido como a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta e o meio líquido no qual se desenvolve, e mede o potencial de uma partícula em movimento livre em um líquido” (SCHOENHALS, 2006, p. 15). A eliminação das cargas eletrostáticas superficiais é verificada pela diminuição do Potencial Zeta.

As partículas coloidais e os sólidos em suspensão apresentam em sua maioria cargas elétricas negativas, produzindo forças de repulsão suficientemente grandes, ao ponto de mantê-las separadas em suspensão. Ao desestabilizar as

cargas com o uso de coagulantes, as partículas coloidais se aglomeram progressivamente, possibilitando a sua separação.

Segundo Nunes (2004), a mistura do coagulante deve ser feita em tanques específicos de mistura rápida, situados a montante da etapa de floculação.

A mistura do coagulante e do efluente provoca a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos denominados gel, produzindo, na solução, íons positivos. Estes íons desestabilizam as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, reduzindo o potencial zeta a ponto próximo de zero, denominado ponto isoelétrico, permitindo a aglomeração das partículas, e consequentemente, a formação dos flocos. (NUNES, 2004, p. 125).

Alguns fatores podem influenciar no processo de coagulação, como a espécie e quantidade de coagulante, teor e tipo da cor e turbidez, características químicas da água, tempos de misturas, a temperatura e agitação (CETESB, 1973 apud PAVEI, 2006).

Os agentes coagulantes normalmente utilizados no tratamento de efluentes são compostos por cátions polivalentes (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , dentre outros) que neutralizam as cargas elétricas negativas das partículas suspensas (CAVALCANTI, 2009).

Os principais coagulantes utilizados são o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), cloreto férrico ($FeCl_3$), sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) e o Policloreto de Alumínio (PAC) $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$.

Para Nunes (2004), o sulfato de alumínio devido ao seu baixo custo, excelente formação dos flocos e disponibilidade no mercado, é o coagulante inorgânico mais utilizado no mundo atualmente, podendo ser encontrado na forma sólida ou em solução. No entanto, o PAC, na maioria dos casos, revela-se como um coagulante superior ao sulfato de alumínio.

O policloreto de alumínio é um polímero mineral de elevado peso molecular, que apresenta efetividade em uma larga faixa de pH. Coagula fortemente substâncias suspensas ou coloidais dispersas no meio, propiciando a formação de flocos grandes, rígidos e pesados, com elevada velocidade de decantação.

É disponibilizado na forma líquida, permitindo fácil manuseio, estocagem e aplicação. Sua desvantagem em relação ao sulfato de alumínio é o custo relativamente maior.

Para Santos (2011, p.39) o PAC ainda apresenta mais uma vantagem importante:

[...] em função da sua basicidade, durante a hidrólise, libera, em igualdade de dosagem de íons metálicos, uma quantidade de ácido consideravelmente menor do que o cloreto de alumínio e dos coagulantes tradicionais, como sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Isso provoca uma menor variação do pH do meio tratado ou um menor consumo de neutralizante para reconduzir o pH ao seu valor original.

A Tabela 2 apresenta os principais agentes coagulantes e faixa de pH ideal para uma boa coagulação.

Tabela 2 - Principais agentes coagulantes e faixa de pH ideal para uma boa coagulação

COAGULANTE	FAIXA ACEITÁVEL (pH)
Sulfato de alumínio	5,0 - 8,0
Cloreto férrico	5,0 - 11,0
Sulfato ferroso	8,5 - 11,0
Sulfato férrico	5,0 - 11,0
Policloreto de Alumínio (PAC)	...

Fonte: TÉCNICA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, 1987 apud CAVALCANTI, 2009, p. 249; NUNES, 2004 adaptado por autor, 2014

A necessidade de correção do pH do efluente a ser tratado decorre pelo fato da coagulação exigir valor ótimo, quando ocorre a formação dos flocos.

No caso de efluentes alcalinos, após a homogeneização, é necessário corrigir o pH utilizando um produto acidificante, como o ácido sulfúrico ou o gás carbônico. Por outro lado, se o efluente for ácido, a correção pode ser feita com o auxílio de alcalinizantes como a soda cáustica, carbonato de sódio, amoníaco ou a cal (NUNES, 2004). Para o autor, a correção de pH é uma solução técnica e econômica, pois a sua ação acarreta em dosagens menores para a formação de bons flocos.

Segundo Nunes (2004, p. 130), tem-se verificado que “os flocos formados nos efluentes industriais necessitam de maior densidade para sedimentar”. Assim, após a coagulação, o efluente é direcionado para a unidade subsequente de mistura lenta, objetivando fazer com que os coágulos formados (partículas desestabilizadas) formem partículas maiores, denominadas flocos (NUNES, 2004).

“A etapa de floculação promove o contato entre as partículas desestabilizadas, de modo a possibilitar uma agregação em forma de flocos maiores e mais densos, possíveis de separação” (NALCO, 1988 apud MIERZWA; HESPANHOL, 2005, p. 49).

O gradiente de velocidade é o parâmetro mais importante na cinética de floculação. O nível de intensidade de mistura e o tempo de mistura influenciam as características físicas da formação dos flocos (SCHOENHALS, 2006).

Os polímeros sintéticos ou polieletrólitos são muito utilizados para o tratamento de efluentes, servindo como auxiliares de coagulação. Os mesmos possuem a “capacidade de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos e a resistência às forças de cisalhamento, além de reduzir em torno de 20% no consumo de coagulantes” (NUNES, 2004, p. 130).

Os polímeros podem variar no peso molecular, estrutura, intensidade, tipo de carga e composição (WAKEMAN, 1999 apud SANTOS, 2011).

De acordo com Santos Filho (1985, apud ZANETTE, 2004), os polímeros são solúveis em água e sua carga elétrica pode ser negativa (aniônica), positiva (catiônica) ou não iônica.

Santos Filho (1985, apud ZANETTE, 2004, p. 2) ao comentar sobre os polímeros e suas cargas elétricas explana que:

[...] o polímero catiônico é aquele que, quando dissolvido na água, se ioniza, adquire carga positiva e atua como um autêntico cátion. O aniônico, de maneira semelhante, adquire carga negativa e atua como ânion. O não iônico é aquele que não se ioniza em água. Os polímeros não iônicos não são polieletrólitos, mas são incluídos nesta categoria devido a semelhança de suas aplicações.

Os polímeros catiônicos neutralizam as cargas elétricas negativas das partículas, anulando o potencial zeta dos mesmos. Já os polímeros aniônicos e os não aniônicos, não interferem diretamente no potencial zeta, pois eles não neutralizam as cargas, mas formam uma espécie de “ponte” entre a sua cadeia e as partículas já coaguladas, formando flocos de diâmetros maiores (NUNES, 2004; DI BERNARDO, 2002 apud NOVAIS, 2012).

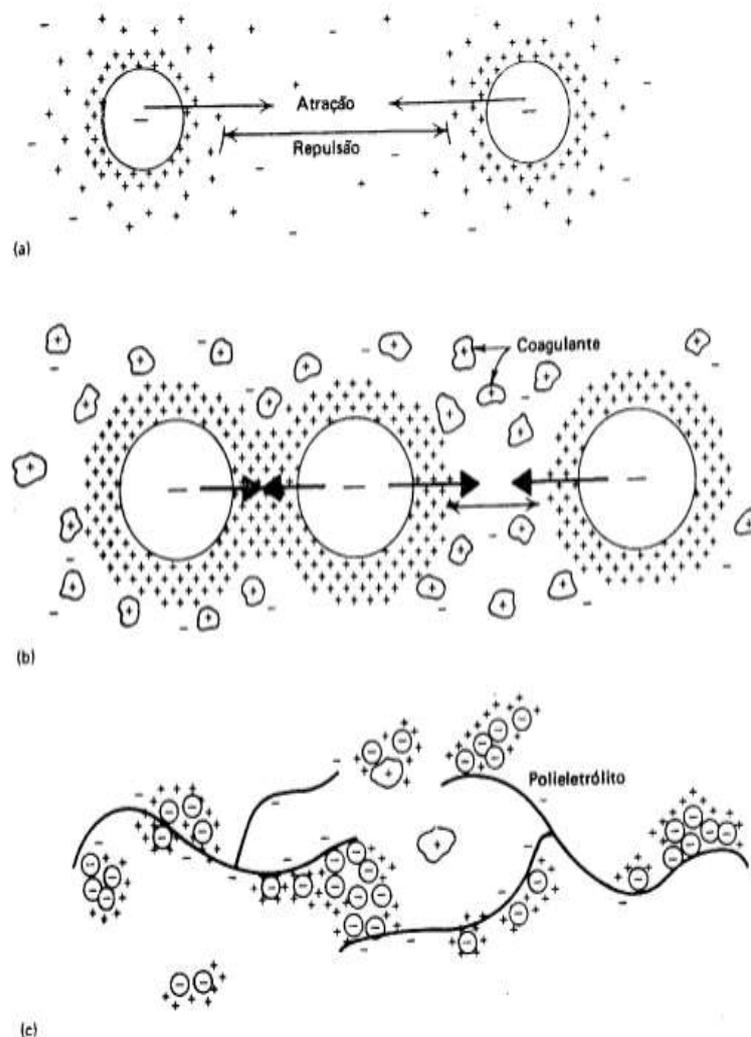
Os polímeros aniônicos possuem efetividade com o pH variando entre 7 a 14, e os não aniônicos, com o pH variando entre 1 a 8 (CAVALCANTI, 2009).

Um dos polímeros mais utilizados em tratamento de águas residuárias são os polímeros aniônicos a base de poliacrilamida. Esses polímeros são comercialmente disponíveis na forma sólida (granular) e necessitam de intensa agitação durante a dissolução, sendo eficientes em dosagens muito baixas (ENTRY, 2002 apud SANTOS, 2011).

O polímero aniônico de poliacrilamida atua fortemente na clarificação da água, na velocidade de sedimentação dos flocos, bem como na compactação do lodo formado.

A Figura 2 representa o mecanismo de agregação das partículas, através da desestabilização das mesmas com o uso de coagulantes e, por conseguinte, a agregação dos flocos formados pela adição de polieletrólito.

Figura 2 - Mecanismo de agregação das partículas. Forças de atração e repulsão entre os colóides e o meio aquoso (a) desestabilização das cargas dos colóides, através da adição do coagulante (b) e formação de aglomerados de partículas através da adição do auxiliar de coagulação (polieletrólito) (c)



Fonte: (SANTOS FILHO, 1973 apud SCHOENHALS, 2006, p.17)

Após a floculação, os efluentes seguem para a etapa de sedimentação. O processo de sedimentação, método físico de separação, possui como objetivo separar da água os flocos formados, para sua clarificação. Essa separação é resultado da

ação da gravidade e inércia sobre os flocos e a água (KIANG; METRY, 1982 apud MIERZWA; HESPANHOL, 2005). As partículas sendo mais pesadas que a água tendem a depositar-se no fundo.

A etapa de sedimentação acontece geralmente em decantadores, e que segundo Nunes (1996 apud Fontanella, 2003, p. 29), os mesmos são “dimensionados em função das taxas de escoamento, conforme o tipo e as características do efluente”.

Os decantadores, normalmente, são de dois tipos, clássicos ou lamelares, podendo ser de formato retangular ou circular.

“Os decantadores lamelares são baseados na aplicação de módulos lamelares ou tubulares que admitem a adoção de velocidades críticas de sedimentação mais elevadas que a dos decantadores convencionais” (CAVALCANTI, 2009, p. 215).

Nos decantadores convencionais, os “efluentes fluem vagorosamente através dos decantadores, e os sólidos em suspensão que possuem uma densidade maior do que a do líquido, sedimentam gradualmente para o fundo do decantador” (SPERLING, 1996, p.184).

Já a entrada do efluente no decantador de lamelas é feita lateralmente, de modo a propiciar uma distribuição uniforme entre as lamelas ou nos módulos tubulares. Os flocos se sedimentam até o fundo do equipamento de onde são extraídos, enquanto que o efluente clarificado assoma a superfície.

Os sólidos sedimentados em ambos os tipos são removidos como lodo, e sua retirada pode ser realizada de forma mecânica ou manual, dependendo do equipamento.

No caso de instalações que geram quantidades significativas de lodo e que a economia de água é um fator relevante, o sistema mecânico prevalece.

O lodo é recolhido no fundo dos decantadores, direcionado a uma caixa que deverá situar-se ao lado e, posteriormente, recalcado para adensamento, filtros-prensas ou leitos de secagem, dentre outros, conforme a concentração em que se encontra. (NUNES, 2004, p. 139).

O processo de sedimentação é uma das etapas de clarificação dos efluentes, devendo ser aplicado conforme as características de cada efluente e do processo de tratamento.

2.6 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS

Os ensaios de coagulação e floculação, também denominados de *Jar Test*, simulam em escala laboratorial, um processo físico-químico clássico, existente ou a ser implantado em escala plena.

Este ensaio permite definir os tipos e as concentrações mais adequadas de reagentes para a clarificação do efluente, tempo de reação com os produtos químicos adicionados, tempo de decantação, gradientes de velocidades, dentre outros fatores (CAVALCANTI, 2009).

A dosagem dos reagentes para a clarificação do efluente é de difícil determinação, uma vez que existem complexas interações entre os mesmos e os componentes presentes nos efluentes a serem tratados, entre eles fatores como o pH, a temperatura, intensidade e a duração da mistura (SCHOENHALS, 2006).

A formação de bons flocos ocorre quando se emprega dosagem de coagulante adequada. Pequenas dosagens não chegam a atingir próximo do ponto isoelétrico, enquanto altas dosagens podem reverter o sinal das cargas, restabilizando-as, sendo ambas prejudiciais. (NUNES, 2004, p. 129).

Geralmente, nos processos industriais, quando os resultados indicarem uma boa clarificação com o mínimo de produtos químicos utilizados e um tempo razoavelmente curto de sedimentação das impurezas, pode-se dizer que a dosagem ideal dos produtos químicos foi encontrada.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado em uma indústria de grande porte, líder no segmento e destaque nacional na produção de revestimentos cerâmicos, com a sua matriz localizada no Sul de Santa Catarina.

Por motivos de sigilo e acordo firmado previamente entre a empresa em questão e a autoria deste trabalho, o empreendimento não terá seu nome citado.

A empresa possui cinco unidades industriais com parque fabril modernizado, utilizando tecnologia de ponta na produção de revestimentos cerâmicos.

A unidade em estudo apresenta 65 mil metros quadrados de área construída e capacidade produtiva anual de 10,8 milhões de metros quadrados, divididos em porcelanatos, pisos e azulejos. Atualmente, a unidade é vista como a modelo do grupo, devido a sua capacidade produtiva e produtos sofisticados produzidos.

A gestão ambiental da empresa é controlada pelo setor de Meio Ambiente e todo o programa de gestão é baseado nos requisitos da NBR ISO 14001:2004 e princípios de Produção mais Limpa (P+L).

A empresa desenvolve uma série de atividades voltadas à minimização dos impactos ambientais gerados pelo seu processo produtivo, dentre estas, destacam-se o tratamento dos efluentes líquidos para reúso e atmosféricos, gerenciamento dos resíduos sólidos com envio adequado para reciclagem e/ou disposição final. São realizados também monitoramentos ambientais com o objetivo de verificar a qualidade dos recursos hídricos, efluentes e outras emissões, comparando os resultados obtidos com as legislações ambientais vigentes.

Atualmente, o tratamento realizado nos efluentes líquidos gerados nas etapas de polimento e esquadramento não apresenta a qualidade desejada para o reúso no processo, ocasionando desgastes excessivos com ferramentas abrasivas de corte, incrustações nos sistemas e altos custos despendidos com o tratamento não otimizado. Assim, o presente estudo consiste em avaliar e otimizar o processo de clarificação química dos efluentes gerados nessas etapas, a fim de adequar a qualidade dos efluentes tratados para o reúso. Nesta ocasião, analisou-se os efluentes brutos e tratados em termos de sólidos suspensos, pH, turbidez e dureza total.

Para atender o objetivo proposto, foram realizados ensaios laboratoriais com equipamento *Jar Test*, utilizando diferentes dosagens de coagulante e polímero, visando a determinação da dosagem ótima dos mesmos e avaliando a qualidade do efluente tratado.

O *Jar Test* ainda é o ensaio mais utilizado para avaliar o processo de coagulação e floculação. “O equipamento pode realizar até seis testes ao mesmo tempo, possibilitando uma comparação imediata e avaliando a melhor dosagem de coagulante e floculante a ser utilizada no processo” (RODRIGUES, 2004, apud SANTOS, 2011, p. 42).

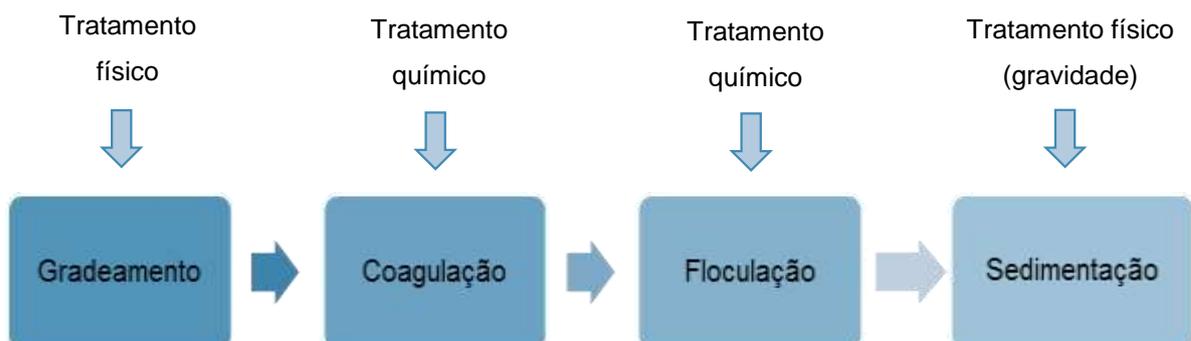
Os ensaios foram desenvolvidos no laboratório da própria empresa e os efluentes resultantes das dosagens ideais foram levados para laboratório externo para a caracterização dos parâmetros físico-químicos. Após a obtenção dos resultados, as dosagens ideais foram convertidas para a vazão da planta de tratamento.

A eficiência do tratamento foi avaliada em termos de sólidos suspensos, turbidez e dureza total.

3.1 GERAÇÃO DE EFLUENTES

Os efluentes abordados no presente estudo são originados nas etapas de polimento e esquadramento, conforme descrição do processo apresentada no item 2.4.3 do presente estudo, e apresentam características condizentes com as matérias-primas utilizadas para a sua fabricação. O tratamento realizado atualmente nos efluentes é o físico-químico, composto por unidades de gradeamento, coagulação, floculação e sedimentação, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Etapas do tratamento físico-químico contendo as unidades de gradeamento, coagulação, floculação e sedimentação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

O sistema de tratamento de efluentes, bem como, a ETE da indústria em estudo serão descritos no tópico a seguir.

3.1.1 Descrição do sistema de tratamento de efluentes e ETE

Os efluentes líquidos gerados são divididos em duas linhas, sendo chamadas de Linhas A e B. As duas linhas juntas produzem em média 300 mil metros quadrados mensais de revestimentos cerâmicos.

Na Linha A, o efluente é gerado por uma máquina polidora e duas máquinas de retífica, com vazão média de $90\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Na Linha B, o efluente é gerado por duas máquinas de retífica, com vazão média de $120\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

Após a geração dos efluentes, os mesmos são conduzidos por gravidade através de canaletas, passam por grades com espaçamento de 1cm para a remoção dos sólidos mais grosseiros e são direcionados para dois tanques de equalização ou mistura, com volume de 10m^3 cada.

Os tanques de equalização possuem como finalidade regularizar a vazão e homogeneizar a concentração dos poluentes. A homogeneização é realizada através de misturadores mecânicos com rotação de 20rpm na Linha A e 45rpm na Linha B.

A primeira dosagem de produto químico, o coagulante policloreto de alumínio, é realizada nos tanques de misturas. O PAC, em forma líquida sem diluição, é dosado através de bombas dosadoras.

Em seguida, os efluentes são encaminhados através de bombas de recalque para a ETE, onde dois decantadores circulares de 25m^3 instalados em paralelo recebem os efluentes provenientes das Linhas A e B, ainda sem misturá-los.

Nestes tanques, ocorre a aplicação do polímero aniônico de poliacrilamida, diluído em solução de 0,1%(m/v), responsável pelo adensamento dos flocos formados. O polímero é aplicado também através de bombas dosadoras.

O decantador que recebe o efluente da Linha A realiza o descarte automático do lodo sedimentado em intervalos de 20 minutos, com duração de 20 segundos de abertura das válvulas de descarte. Já o efluente da Linha B, realiza em intervalos de dez minutos, com duração de dez segundos.

Os efluentes clarificados dos dois decantadores são misturados e direcionados para um decantador de lamelas retangular duplo com cones de 20m^3 cada, responsáveis pelo polimento final. Neste decantador, ocorre a sedimentação

dos sólidos suspensos que passaram pelo decantador anterior. Os sólidos são depositados no fundo dos cones e posteriormente são removidos por descarte.

A limpeza das lamelas é feita manual e semanalmente, e o descarte do lodo é realizado automaticamente em intervalos de duas horas, com 20 segundos de abertura das válvulas de descartes.

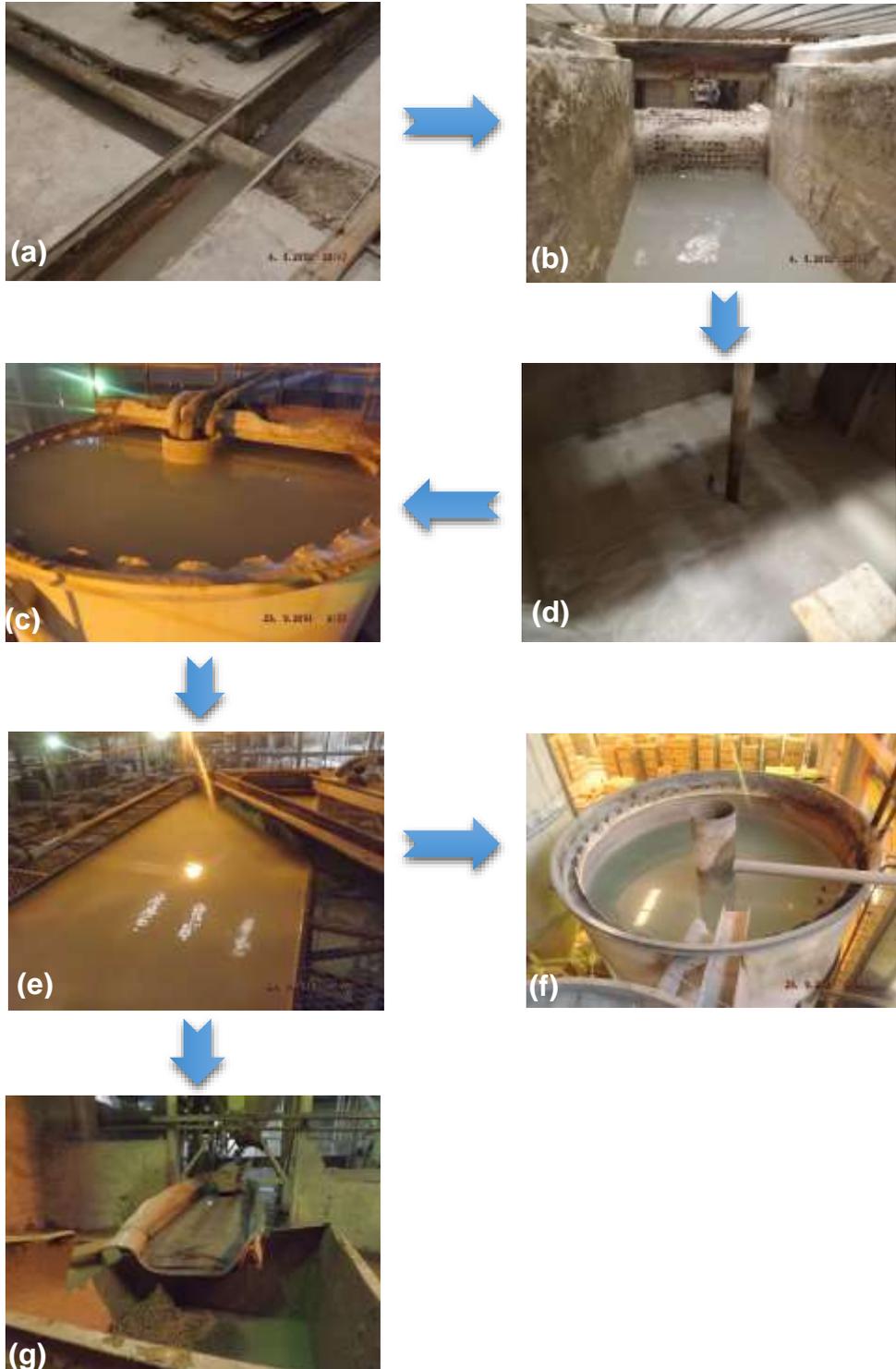
O efluente clarificado do decantador de lamelas segue para uma sequência de dois tanques armazenadores para abastecimento, sendo esta água reaproveitada em circuito fechado nas máquinas de polir e retificar.

Os resíduos (lodos) gerados nesse processo são destinados por calhas para uma peneira hidrodinâmica, onde há retenção dos sólidos mais grosseiros, e o passante líquido da peneira segue para tratamento em outra estação existente na planta fabril.

O lodo gerado é reaproveitado no processo produtivo como matéria-prima para a fabricação dos revestimentos cerâmicos.

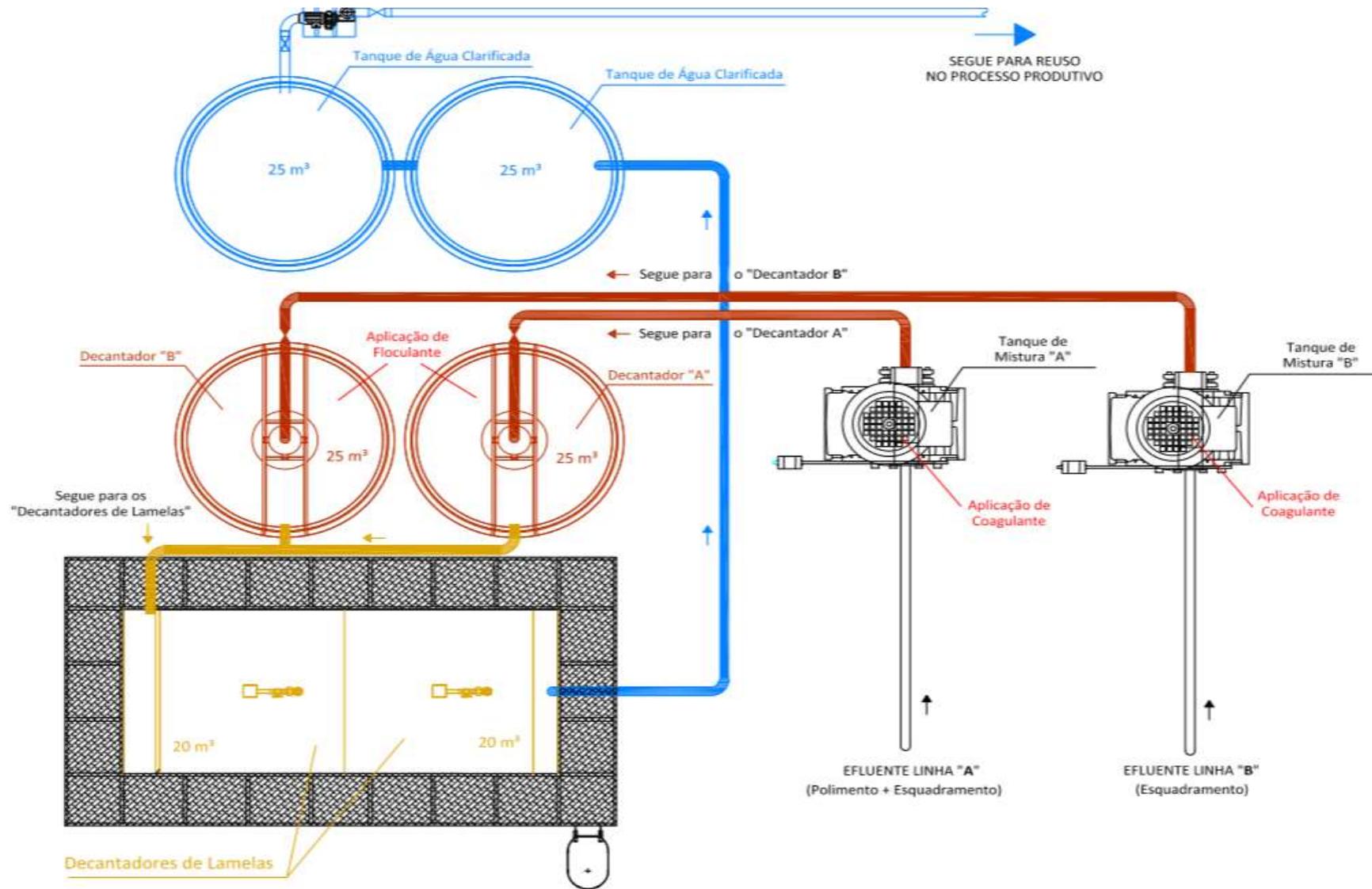
As Figuras 4 e 5, apresentam as etapas descritas anteriormente em escala industrial/real e o *layout* representativo do sistema de tratamento de efluentes, respectivamente.

Figura 4 – Fluxograma contendo as etapas do sistema de tratamento de efluentes e ETE em escala industrial. Canaletas de saída dos efluentes (a) gradeamento para a retenção de sólidos grosseiros (b) tanque de equalização/mistura e local de dosagem do coagulante (c) decantador circular e local de dosagem do polímero (d) decantador lamelar (e) tanque armazenador do efluente tratado ou água para reúso no processo (f) peneira hidrodinâmica e lodo gerado pelos decantadores (g)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Figura 5 – Layout representativo do sistema de tratamento de efluentes e ETE da indústria em questão. A linha vermelha caracteriza o efluente para tratamento e a linha azul, o efluente ou água tratada para reúso no processo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

3.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram realizados de acordo com a metodologia proposta pelos autores Di Bernardo, L.; Di Bernardo, A.; Centurione Filho, P. L. (2002) no livro “*Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*”.

Os principais indicadores de controle de qualidade dos efluentes analisados no estudo foram pH, turbidez, dureza total e sólidos suspensos.

Analisou-se o pH devido a interferência que o mesmo pode causar no processo de coagulação e floculação. Além disso, dependendo do pH, o mesmo pode causar problemas de corrosão ou incrustação nos equipamentos e tubulações.

A elevada presença de sólidos suspensos no efluente tratado e sua utilização nas máquinas de polir e retificar ocasiona riscos e ranhuras nas peças cerâmicas e desgastes nas ferramentas de corte, devido o atrito existente. Por estes motivos, foi necessário realizar a análise da turbidez, tendo em vista que a mesma está diretamente relacionada com a quantidade de sólidos suspensos.

Como a empresa apresenta problemas de incrustações, analisou-se a dureza total para verificar se o problema pode estar relacionado com a quantidade de sais dissolvidos, entre esses, cálcio e magnésio.

Os métodos utilizados para a execução das amostras pelo laboratório foram: Método Fotométrico, para a medição dos sólidos suspensos e turbidez; Método Titulométrico, para a dureza total e o Método Potenciométrico para o pH.

Ressalta-se que o laboratório realiza as análises segundo os métodos propostos pela *American Public Health Association: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: 1995.

3.2.1 Procedimento de coleta das amostras

Primeiramente, foi realizada a coleta e armazenamento, em frascos de 1L, dos efluentes brutos das Linhas A e B, para sua caracterização em laboratório externo.

As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas a fim de manter a temperatura constante. Em seguida, mais duas amostras foram coletadas, armazenadas em bombonas de 20L, identificadas e transportadas para o laboratório

da própria empresa. Observa-se que foi tomado o cuidado de lavar as bombonas com o próprio efluente antes de proceder a coleta.

As amostras foram coletadas nas canaletas de saída dos efluentes, antes da dosagem dos produtos químicos.

O tempo entre a coleta dos efluentes e o início dos ensaios foi de aproximadamente 30 minutos, procurando-se com isso, manter as características e propriedades das amostras.

3.2.2 Comparativo dos produtos químicos (escala industrial e laboratorial)

As Tabelas 3 e 4 apresentam uma análise comparativa dos reagentes utilizados em escala laboratorial e industrial, com o objetivo de apresentar as propriedades e características dos mesmos.

Ressalta-se que para a utilização do PAC em escala laboratorial, foi necessário a sua diluição em 1% (v/v). Já para o polímero, utilizou-se a mesma concentração de 0,1% (m/v) da escala industrial.

Tabela 3 - Comparativo entre o coagulante PAC utilizado em escala industrial e laboratorial¹

Policloreto de alumínio (PAC)	Escala Industrial	Escala Laboratorial
Forma física	Líquida	Líquida (diluído)
pH (25°C)	0,91	4,14
Densidade a 25°C (g/cm³)	1,37	1,37
Aparência	Amarelo e levemente acastanhado	Incolor
Armazenamento	<i>Container</i>	Copo descartável
Aplicação	Puro	Diluído a 1%
Forma de aplicação	Bombas dosadoras	Pipeta

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

¹ Nota: Para a diluição do PAC em escala laboratorial, misturou-se 1mL do reagente em 100mL de água, totalizando a diluição de 1% (v/v).

Tabela 4 - Comparativo entre o polímero aniônico de poliacrilamida utilizado em escala industrial e laboratorial²

POLÍMERO ANIÔNICO DE POLIACRILAMIDA	ESCALA INDUSTRIAL	ESCALA LABORATORIAL
Forma física	Líquida	Líquida
pH (25°C)	5,76	5,76
Densidade a 25°C (g/cm³)	0,96	0,96
Aparência	Incolor viscoso	Incolor viscoso
Armazenamento	Vasca de agitação	Copo descartável
Aplicação	Diluído a 0,1%	Diluído a 0,1%
Forma de aplicação	Bombas dosadoras	Pipeta

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

Abaixo, a Figura 6 mostra a forma física e a aparência dos reagentes químicos utilizados no processo de coagulação e floculação.

Figura 6 - Ilustração dos reagentes. PAC sem diluição (a), PAC diluído a 1% (b) e o polímero diluído a 0,1% (c)



Fonte: do autor, 2014

Para a execução dos ensaios laboratoriais, fez-se necessário a utilização de diversos materiais e equipamentos, brevemente citados a seguir.

² Nota: O produto é fornecido em forma de pó granular branco. A diluição do polímero é realizada pelo operador da ETE em uma vasca sob agitação, mantendo-se em velocidade baixa, de tal forma, que não ocasione a degradação do reagente. Para o ensaio laboratorial, o polímero utilizado foi proveniente da vasca e a solução havia sido preparada a aproximadamente trinta minutos antes da coleta. A solução é feita utilizando 1Kg do reagente em 1000L de água, chegando a diluição de 0,1% (m/v).

3.2.3 Materias e equipamentos

Para a execução dos ensaios foram necessários os seguintes materiais e equipamentos:

- a) água destilada;
- b) balança eletrônica (OHAUS);
- c) caixa térmica;
- d) câmera fotográfica;
- e) copos descartáveis;
- f) cronômetro Digital (CRONOBIO) modelo SW2018;
- g) equipamento de *Jar Test*, constituído de três jarros com capacidade de 2L cada (ALFAKIT);
- h) frascos plásticos para armazenamento das amostras de 1L;
- i) policloreto de alumínio diluído em solução de 1% (v/v);
- j) polímero aniônico de poliácridamida diluído a 0,1% (m/v);
- k) vidrarias diversas: béqueres, pipetas, pipetador, provetas, erlenmeyers.

3.2.4 Ensaio em *Jar Test*

O equipamento *Jar Test* utilizado permite uma variação do gradiente de velocidade entre 30 e 180rpm em suas hélices.

Os ensaios realizados em *Jar Test* permitiram verificar a formação e tamanho dos flocos, tempo de sedimentação e a clarificação dos efluentes.

Para a análise e obtenção da dosagem ideal, anotou-se o tempo de sedimentação em segundos. Classificou-se a formação e tamanho dos flocos e a clarificação dos efluentes em ruim, regular e boa.

Salienta-se que como a empresa em questão não realiza a correção do pH dos efluentes a serem tratados, optou-se neste estudo em não corrigir o pH do meio.

As etapas que integraram o ensaio de *Jar Test* foram:

- a) limpou-se os jarros com água corrente;
- b) separou-se as vidrarias necessárias;
- c) preparou-se os reagentes utilizados com as devidas concentrações;

- d) lavou-se os jarros com água corrente e colocou-se as amostras nos três jarros até o volume de 2L cada, com auxílio de copos descartáveis;
- e) ligou-se o equipamento e ajustou-se a velocidade de rotação dos agitadores para 180rpm;
- f) adicionou-se as alíquotas de PAC diluído em 1%, variando as dosagens de 0,3 a 2,1mL, em intervalos de 0,3mL.
- g) manteve-se a velocidade de agitação por um minuto;
- h) cessou-se a agitação e verificou-se a formação dos flocos, a velocidade de sedimentação e a clarificação dos efluentes. Anotaram-se os dados em planilhas;
- i) selecionou-se a dosagem ideal de coagulante e procedeu-se o ajuste desta dosagem para os demais jarros;
- j) reduziu-se a rotação do equipamento para 70rpm;
- k) aplicou-se aos jarros alíquotas do polímero diluído em 0,1%, variando as dosagens de 0,2 a 1,2mL, em intervalos de 0,2mL.
- l) manteve-se a velocidade de agitação por dez minutos;
- m) cessou-se a agitação e verificou-se o tamanho dos flocos formados, a velocidade de sedimentação e a clarificação dos efluentes. Anotaram-se os dados em planilhas;
- n) selecionou-se a dosagem ideal e acondicionou-se a amostra em frasco adequado de 1L em caixas térmicas, a fim de manter a temperatura. O ponto de coleta no jarro da amostra está situado a 7cm de altura em relação a superfície do líquido;
- o) levou-se a amostra para o laboratório para a realização das análises de pH, turbidez, dureza total e sólidos suspensos.

As etapas listadas de “a” a “o” foram repetidas para as Linhas A e B.

3.3 AMPLIAÇÃO DA ESCALA

Considerando as dosagens ótimas estabelecidas através dos testes de jarros, foi necessário ampliar as mesmas para a vazão real do sistema.

Neste sentido, para obter a solução final da amostra, utilizou-se a metodologia baseada no processo de diluição, através da seguinte fórmula:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Onde:

C_1 indica concentração da solução antes de ser diluída, ou seja, a solução inicial do produto (coagulante ou polímero) (mg.L^{-1});

C_2 indica a concentração da solução depois de ser diluída, ou seja, a solução final da amostra (mg.L^{-1});

V_1 indica o volume ideal de coagulante e polímero a ser utilizado (mL) e;

V_2 indica o volume da amostra utilizada (mL).

E por conseguinte, para achar a vazão real da planta, utilizou-se a metodologia proposta por Nunes (2004, p. 242), através da seguinte fórmula:

$$q = \frac{Q_e \times C_2}{10 \times C}$$

Onde:

q representa a vazão real (L.h^{-1});

Q_e representa a vazão do efluente ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$);

C_2 indica a concentração da solução depois de ser diluída, ou seja, a solução final da amostra (ppm);

C indica a concentração do produto dosado (%).

Para avaliar a eficiência do tratamento em termos de turbidez, dureza total e sólidos suspensos, utilizou-se a equação abaixo, proposta também por Nunes (2004, p. 240).

$$E = \frac{EB - ET}{EB} \times 100$$

Onde:

E indica a eficiência do tratamento (%);

EB indica o parâmetro do efluente na forma bruta (mg.L^{-1});

ET indica o parâmetro do efluente na forma tratada (mg.L^{-1}).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as características dos efluentes brutos e os ensaios realizados para as determinações das dosagens ótimas. Em sequência, serão apresentados os cálculos de ajuste das dosagens ótimas para a planta industrial e as características dos efluentes tratados. Uma breve descrição a respeito da eficiência do tratamento realizado também será descrito.

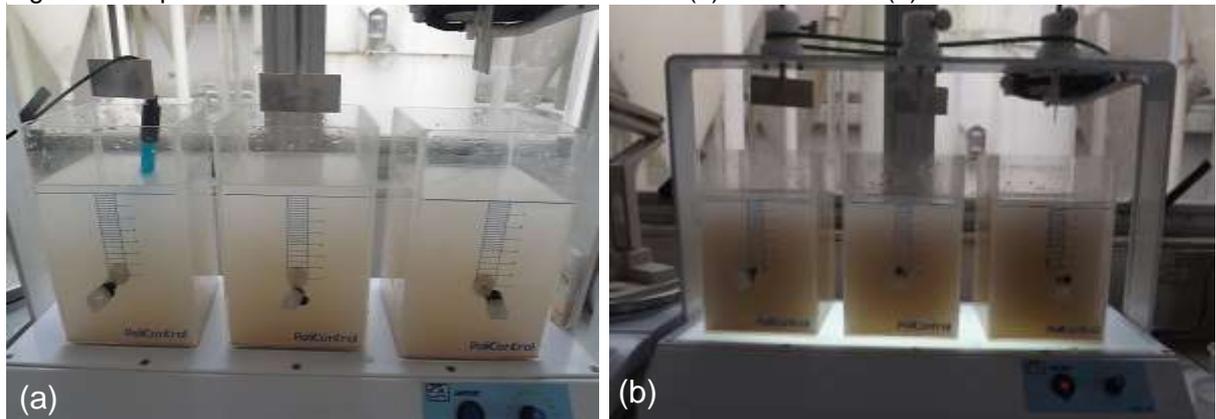
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

A fim de se obter a caracterização dos efluentes brutos das Linhas A e B, foram analisados os parâmetros de pH, turbidez, dureza total e sólidos suspensos.

O aspecto físico dos efluentes brutos podem ser observados na Figura 7 e os resultados da caracterização dos parâmetros físico-químicos na Tabela 5.

Ressalta-se que como os efluentes tratados são para fins de reúso, os resultados das análises físico-químicas não foram comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011 e pela Lei Estadual 14.675/2009.

Figura 7 - Aspecto físico dos efluentes brutos da Linha A (a) e da Linha B (b)



Fonte: do autor, 2014.

Tabela 5 - Características dos efluentes brutos das Linhas A e B

PARÂMETROS	LINHA A	LINHA B	METODOLOGIA
pH	8,3	7,8	Potenciômetro
Temperatura (°C)	18,6	18,4	Termomêtro Digital
Turbidez (NTU)	77,0	65,0	Fotômetro
Dureza Total (mg.L ⁻¹)	320,0	310,0	Titulométrico
Sólidos Suspensos (mg.L ⁻¹)	540,0	700,0	Fotômetro

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

Após a caracterização os efluentes brutos das Linhas A e B, o efluente da Linha A apresentou valor de pH de 8,3 e o efluente da Linha B de 7,8. Portanto, pode-se afirmar que os dois efluentes apresentam características levemente alcalinas.

A quantidade de sólidos suspensos nos efluentes apresentou elevada concentração, sendo que a Linha B superou a Linha A, com 700,0mg.L⁻¹ e 540,0mg.L⁻¹, respectivamente, conforme Tabela 5.

Os altos valores de turbidez confirmam a concentração de sólidos. A Linha A apresentou turbidez de 77,0NTU e a Linha B 65,0NTU.

As concentrações de dureza nas duas amostras apresentaram valores relativamente altos. De acordo com a CETESB (1973 apud Pavei, 2006, p. 42), as águas com concentrações superiores a 150mg.L⁻¹ de CaCO₃ são consideradas duras. A Linha A apresentou dureza total de 320,0mg.L⁻¹ e a Linha B 310,0mg.L⁻¹.

4.2 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DAS DOSAGENS ÓTIMAS

Para a obtenção das dosagens ideais, avaliou-se a boa clarificação com o mínimo de produtos químicos e um tempo razoavelmente curto de sedimentação dos flocos.

A Tabela 6 apresenta as dosagens de coagulante realizadas e os resultados obtidos dos ensaios para a clarificação dos efluentes.

Os resultados foram analisados de acordo com a formação dos flocos, tempo de sedimentação e clarificação dos efluentes através da utilização do coagulante PAC nas duas linhas em estudo.

Tabela 6 - Resultados obtidos nos ensaios para avaliar a melhor dosagem de coagulante nas Linhas A e B

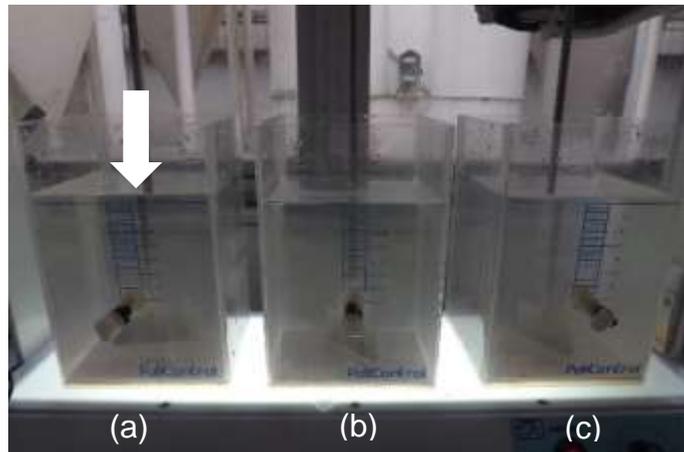
LINHA	DOSAGEM (mL)	FORMAÇÃO DOS FLOCOS	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO (s)	CLARIFICAÇÃO
A	0,3	Ruim	-	Ruim
	0,6	Ruim	70	Ruim
	0,9	Regular	65	Regular
	1,2	Boa	50	Regular
	1,5	Boa	47	Boa
	1,8	Boa	45	Boa
B	2,1	Boa	40	Boa
	0,3	Ruim	-	Ruim
	0,6	Ruim	-	Ruim
	0,9	Ruim	85	Ruim
	1,2	Regular	80	Regular
	1,5	Regular	65	Regular
	1,8	Boa	50	Regular
	2,1	Boa	45	Boa

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

Com os resultados obtidos, verificou-se que a dosagem ideal de coagulante foi de 1,5mL no efluente da Linha A, e 2,1mL para a Linha B.

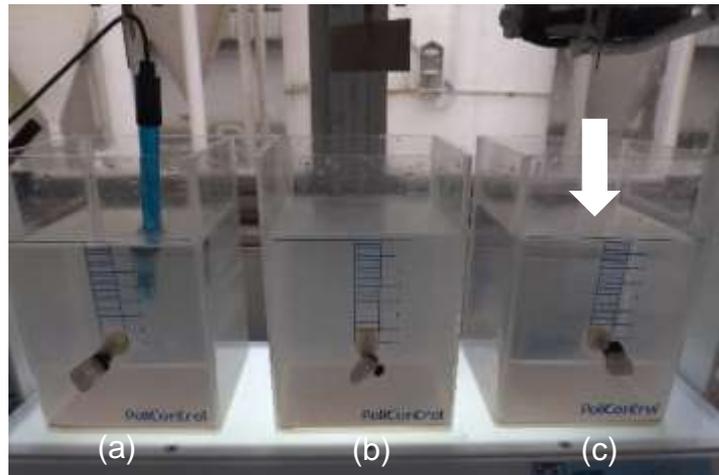
As Figuras 8 e 9 apresentam as três melhores dosagens (1,5, 1,8 e 2,1mL) e destacam as dosagens ideais nas Linhas A e B em estudo.

Figura 8 - Efluentes da Linha A com as melhores dosagens de coagulante aplicadas (1,5mL (a), 1,8mL (b) e 2,1mL (c)). Em destaque o efluente com a dosagem ideal



Fonte: do autor, 2014

Figura 9 - Efluentes da Linha B com as melhores dosagens de coagulante aplicadas (1,5mL (a), 1,8mL (b) e 2,1mL (c)). Em destaque o efluente com a dosagem ideal



Fonte: do autor, 2014.

A Tabela 7 apresenta as dosagens de polímero realizadas e os resultados obtidos dos ensaios para a clarificação dos efluentes.

Os resultados foram analisados de acordo com o tamanho dos flocos, o tempo de sedimentação e clarificação dos efluentes, através da utilização do polímero aniônico de poliácrilamida nas duas Linhas em estudo.

Tabela 7 - Resultados obtidos nos ensaios para avaliar a melhor dosagem de polímero nas Linhas A e B

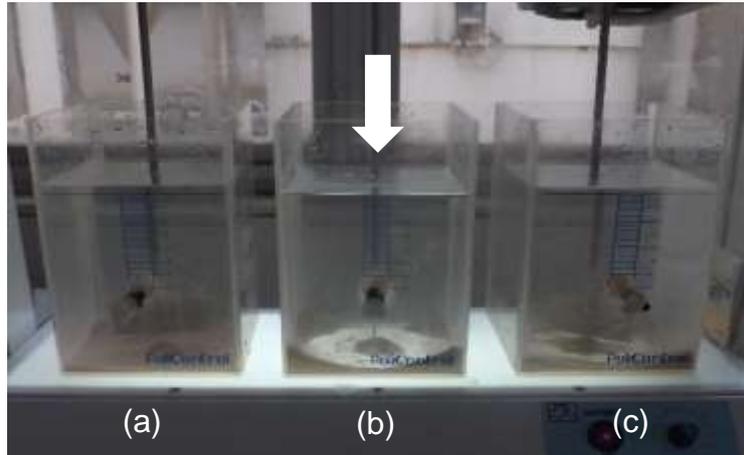
LINHA	DOSAGEM (mL)	TAMANHO DOS FLOCOS	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO (s)	CLARIFICAÇÃO
A	0,2	Ruim	-	Ruim
	0,4	Ruim	35	Ruim
	0,6	Regular	30	Regular
	0,8	Boa	20	Regular
	1,0	Boa	15	Boa
	1,2	Boa	10	Boa
B	0,2	Ruim	-	Ruim
	0,4	Ruim	40	Ruim
	0,6	Ruim	30	Regular
	0,8	Regular	25	Regular
	1,0	Boa	17	Boa
	1,2	Boa	14	Boa

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

A partir dos testes realizados, verificou-se a dosagem ideal de polímero foi de 1,0mL para as duas Linhas.

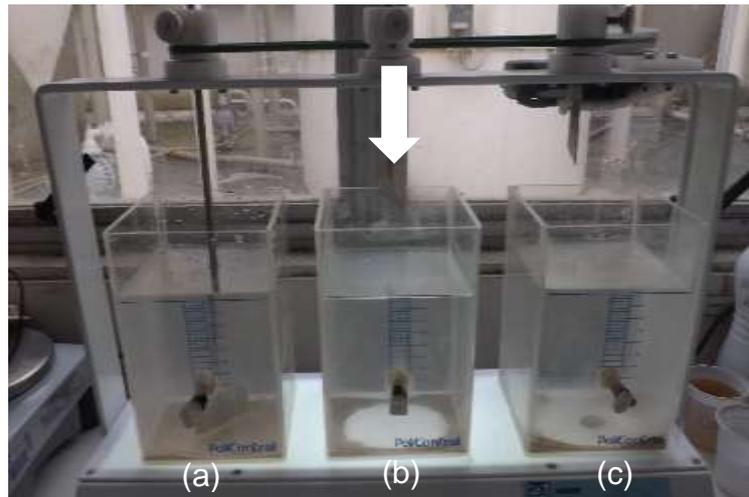
As Figuras 10 e 11 apresentam as três melhores dosagens (0,8, 1,0 e 1,2mL) e destacam as dosagens ideais nas Linhas A e B em estudo.

Figura 10 - Efluentes da Linha A com as melhores dosagens de polímero aplicadas (0,8mL (a), 1,0mL (b) e 1,2mL (c)). Em destaque o efluente com a dosagem ideal



Fonte: do autor, 2014.

Figura 11 - Efluentes da Linha B com as melhores dosagens de polímero aplicadas (0,8mL (a), 1,0mL (b) e 1,2mL (c)). Em destaque o efluente com a dosagem ideal



Fonte: do autor, 2014

A seguir serão apresentados os cálculos das dosagens ótimas ampliadas para a planta industrial, a fim de determinar o volume aplicado.

4.2.1 Cálculo para a dosagem ótima

Após a obtenção das dosagens ideais encontradas nos testes de jarros, fez-se necessário ajustar a escala para a planta industrial.

Ressalta-se que os cálculos foram realizados separadamente por linha e tipo de produto químico utilizado para o devido tratamento.

Os resultados das dosagens ótimas encontradas em escala laboratorial podem ser verificados na Tabela 8 e os resultados ajustados para a planta, a seguir.

Tabela 8 - Dosagens ótimas de coagulante e auxiliar de coagulação das Linhas A e B

DOSAGEM IDEAL (mL)	LINHA A	LINHA B
Policloreto de Alumínio (PAC)	1,50	2,10
Polímero aniônico de poliacrilamida	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

4.2.1.1 Linha A

Cálculo da concentração ótima de coagulante

Concentração do coagulante: 1% (v/v)

Densidade do coagulante: 1,37g.mL⁻¹

Concentração do coagulante (diluído): 13,70g.L⁻¹ ou 13700mg. L⁻¹

Volume do Jarro: 2000mL

Dosagem ótima: 1,5mL

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$13700 \times 1,5 = C_2 \times 2000$$

$$C_2 = 10,28\text{mg. L}^{-1} \text{ ou } 10,28\text{ppm}$$

Concentração ótima: 10,28mg.L⁻¹ ou 10,28ppm

Cálculo para a vazão de dosagem do coagulante na planta industrial:

Vazão de efluente: 90m³.h⁻¹

Concentração ótima: 10,30mg.L⁻¹ ou 10,30 ppm

Obs.: O produto é dosado puro na planta industrial (100%)

$$q = \frac{Q_e \times C_2}{10 \times C}$$

$$q = \frac{90 \times 10,28}{10 \times 100}$$

$$q = 0,92\text{L. h}^{-1} \text{ ou } 15,42\text{mL. min.}^{-1}$$

Vazão de dosagem: 0,92L.h⁻¹ ou 15,42mL.min⁻¹

Cálculo da concentração ótima do polímero

Concentração do polímero: 0,1% (m/v)

Concentração do polímero: 1,0g.L⁻¹ ou 1000mg.L⁻¹

Volume do Jarro: 2000mL

Dosagem ótima: 1,0mL

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$1000 \times 1,0 = C_2 \times 2000$$

$$C_2 = 0,50\text{mg.L}^{-1} \text{ ou } 0,50\text{ppm}$$

Concentração ótima: 0,5mg.L⁻¹ ou 0,5ppm

Cálculo para a vazão de dosagem do floculante na planta industrial:

Concentração do polímero: 0,1% (m/v)

Vazão de efluente: 90m³.h⁻¹

Concentração ótima: 0,5mg.L⁻¹ ou 0,5 ppm

$$q = \frac{Q_e \times C_2}{10 \times C}$$

$$q = \frac{90 \times 0,5}{10 \times 0,1}$$

$$q = 45\text{L.h}^{-1} \text{ ou } 750\text{mL.min}^{-1}$$

Vazão de dosagem: 45L.h⁻¹ ou 750mL.min⁻¹

4.2.1.2 Linha B

Cálculo da concentração ótima de coagulante

Concentração do Coagulante: 1% (v/v)

Densidade do coagulante: 1,37g.mL⁻¹

Concentração do coagulante (diluído): 13,70g.L⁻¹ ou 13700mg. L⁻¹

Volume do Jarro: 2000mL

Dosagem ótima: 2,1mL

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$13700 \times 2,1 = C_2 \times 2000$$

$$C_2 = 14,38mg.L^{-1} \text{ ou } 14,38ppm$$

Concentração ótima: 14,38mg.L⁻¹ ou 14,38ppm

Cálculo para a vazão de dosagem do coagulante na planta industrial:

Vazão de efluente: 120m³.h⁻¹

Concentração ótima: 14,38mg.L⁻¹ ou 14,38 ppm

Obs.: O produto é dosado puro (100%)

$$q = \frac{Q_e \times C_2}{10 \times 100}$$

$$q = \frac{120 \times 14,38}{10 \times 100}$$

$$q = 1,73L.h^{-1} \text{ ou } 28,83mL.min^{-1}$$

Vazão de dosagem: 1,73L.h⁻¹ ou 28,83mL.min⁻¹

Cálculo da concentração ótima do polímero

Concentração do polímero: 0,1% (m/v)

Concentração do polímero: 1,0g.L⁻¹ ou 1000mg.L⁻¹

Volume do Jarro: 2000mL

Dosagem ótima: 1,0mL

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$1000 \times 1,0 = C_2 \times 2000$$

$$C_2 = 0,50mg.L^{-1} \text{ ou } 0,50ppm$$

Concentração ótima: 0,5mg.L⁻¹ ou 0,5ppm

Cálculo para a vazão de dosagem do polímero na planta industrial:

Concentração do polímero: 0,1% (m/v)

Vazão de efluente: 120m³.h⁻¹

Concentração ótima: 0,5mg.L⁻¹ ou 0,5ppm

$$q = \frac{Q_e \times C_2}{10 \times C}$$

$$q = \frac{120 \times 0,5}{10 \times 0,1}$$

$$q = 60L.h^{-1} \text{ ou } 1000mL.min^{-1}$$

Vazão de dosagem: 60L.h⁻¹ ou 1000mL.min⁻¹

A Tabela 9 apresenta um resumo das concentrações, dosagens ótimas em escala laboratorial e industrial de coagulante e de polímero, para a as Linhas A e B.

Tabela 9 – Resumo das vazões e dos resultados das concentrações e dosagens ótimas em escala laboratorial e industrial dos reagentes, para as Linhas A e B

	UNIDADE (UN.)	LINHA A	LINHA B
Vazão do efluente bruto	m ³ .h ⁻¹	90	120
PAC			
Concentração ótima	mg.L ⁻¹	10,28	14,38
	ppm	10,28	14,38
Dosagem ótima - escala laboratorial	mL	1,50	2,10
Dosagem - escala industrial	L.h ⁻¹	0,92	1,73
	mL.min ⁻¹	15,42	28,83
POLÍMERO ANIÔNICO DE POLIACRILAMIDA			
Concentração ótima	mg.L ⁻¹	0,5	0,5
	ppm	0,5'	0,5
Dosagem ótima - escala laboratorial	mL	1,00	1,00
Dosagem - escala industrial	L.h ⁻¹	45,00	60,00
	mL.min ⁻¹	750,00	1000,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

A partir desses resultados, as dosagens ideias serão inseridas na planta industrial de tratamento, a fim de adequar o tratamento realizado para reúso.

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES TRATADOS

Após a obtenção da dosagem ideal e o tratamento dos efluentes das Linhas A e B, os mesmos foram novamente analisados e caracterizados de acordo com os parâmetros de pH, turbidez, dureza total e sólidos suspensos.

Essa avaliação se deu com o objetivo de verificar se as características dos efluentes tratados se enquadram na qualidade desejada pela empresa em estudo.

Os resultados obtidos com o tratamento das Linhas A e B podem ser verificados na Tabela 10 e descritos a seguir.

Tabela 10 - Características dos efluentes tratados das Linhas A e B

PARÂMETROS	LINHA A	LINHA B	METODOLOGIA
pH	8,3	7,0	Potenciômetro
Temperatura (°C)	17,8	17,0	Termomêtro Digital
Turbidez (NTU)	14,0	11,0	Fotômetro
Dureza Total (mg.L ⁻¹)	220,0	290,0	Titulométrico
Sólidos Suspensos (mg.L ⁻¹)	280,0	282,0	Fotômetro

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

Com relação aos valores de pH, os mesmos sofreram uma pequena variação com relação ao efluente bruto nas duas linhas em estudo, isto ocorre devido ao PAC consumir parte da alcalinidade do meio, permitindo assim, uma pequena variação de pH do meio tratado.

O pH ideal para o processo na indústria varia entre 6,5 a 7,5 evitando assim problemas como corrosão ou incrustações nos equipamentos e tubulações. Como pode-se observar, o efluente da Linha A apresentou um valor superior à faixa ideal. Assim, é sugerida a adição de um acidificante, para baixar o pH até a faixa ideal estabelecida. Vale ressaltar aqui, que esta adição deve ser feita no efluente na planta industrial, a fim de evitar equívocos com dosagens.

Os valores de turbidez tanto para a Linha A como para a Linha B reduziram progressivamente. Essa redução ocorre devido a efetividade do tratamento físico-químico para a remoção desse parâmetro, através dos processos de aglomeração das impurezas.

As concentrações de sólidos suspensos, apesar de terem sofrido uma boa redução, ainda apresentam valores relativamente altos. Para uma maior redução destes valores, seria necessária uma maior dosagem de produtos químicos e, conseqüentemente, maiores custos com tratamento do efluente e disposição de

lodos gerados. No entanto, ressalta-se que a concentração de sólidos suspensos obtida na água tratada atende a qualidade desejada para reúso na indústria, não sendo necessária uma maior redução deste parâmetro.

A concentração de dureza total dos efluentes não sofreu grandes alterações. Este fato ocorre devido ao tratamento realizado não ser o indicado para a redução de sais ou sólidos dissolvidos, entre esses, sais de cálcio e magnésio.

De acordo com a CETESB (1973 apud PAVEI, 2006), a água tratada ainda é considerada dura e tende a formar incrustações nas tubulações e nos equipamentos. Esse fato pode justificar as incrustações apresentadas atualmente nos sistemas da empresa.

4.3.1 Eficiência e qualidade do tratamento

Após a realização das análises físico-químicas dos efluentes brutos e tratados, realizou-se o cálculo da eficiência do tratamento em termos de turbidez, dureza total e sólidos suspensos.

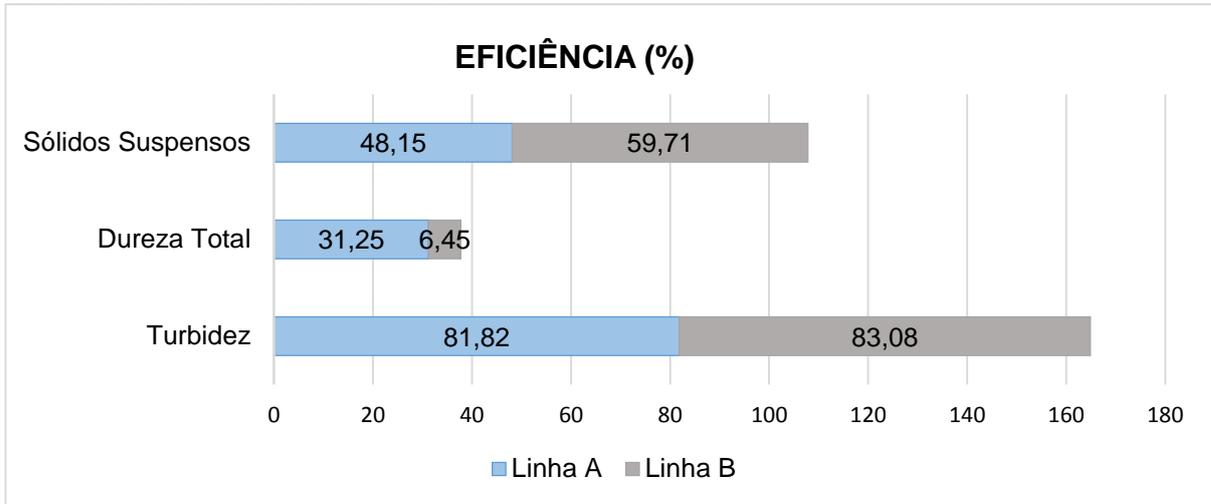
Em termos de sólidos suspensos, o efluente da Linha A apresentou 48,15% de remoção e o efluente da Linha B, 59,71%.

Em termos de turbidez, o efluente da Linha A apresentou eficiência de 81,82% e o efluente da Linha B, 83,08%. Essa eficiência comprova a boa clarificação no tratamento realizado.

Em se tratando de dureza total, o tratamento realizado não apresentou boa eficiência, sendo que os resultados foram de 31,25% para a Linha A e 6,45% para Linha B.

Os resultados de eficiência de tratamento podem ser observados no gráfico ilustrativo apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Gráfico apresentando a eficiência dos parâmetros de sólidos suspensos, dureza total e turbidez dos efluentes das Linhas A e B



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos a partir dos testes e análises realizados indicam que o tratamento físico-químico, através do processo de coagulação e floculação, apresenta-se como uma boa alternativa para o tratamento dos efluentes oriundos das etapas de polimento e esquadramento da indústria de revestimentos cerâmicos e propicia o reúso dos efluentes.

Apesar dos parâmetros de sólidos suspensos e turbidez terem apresentado uma boa redução com o tratamento, a redução da dureza total nos efluentes não se apresentou satisfatória. Aconselha-se assim, que a empresa verifique a real necessidade da redução desse parâmetro, e caso seja necessário, adote o tratamento adequado para tal fim, tais como o abrandamento ou precipitação química.

Os reagentes utilizados, o coagulante policloreto de alumínio e o polímero aniônico de poliacrilamida, apresentaram-se bastante eficientes no processo de coagulação e floculação, tendo em vista o pequeno volume dosado e a boa clarificação dos efluentes.

A mistura do coagulante, para uma boa homogeneização, deve ser realizada em tanques de mistura rápida. No entanto, as rotações dos misturadores na planta industrial são de 20rpm na Linha A e 45rpm na Linha B, consideradas baixas para o processo de coagulação. Por esse motivo, pode ser necessário aplicar uma dosagem maior de coagulante na planta industrial, tendo em vista que os ensaios realizados em laboratório foram realizados com agitações de 180rpm. Sugere-se assim que seja avaliado a condição de agitação e turbulência nos tanques, possuindo como objetivo melhorar o gradiente de velocidade, a homogeneização e a reação do coagulante PAC.

Ainda neste sentido, a mistura do polímero deve ser realizada em tanques de mistura lenta, de maneira a aglomerar as impurezas desestabilizadas no processo de coagulação sem quebrar os flocos formados no processo de floculação. No entanto, o polímero na planta industrial é dosado em decantadores, os quais não possuem mecanismo de agitação. Por esse motivo, pode ser necessário aplicar uma dosagem maior de polímero na planta industrial, tendo em vista que os ensaios em laboratório foram realizados com agitações de 70rpm. Sugere-se assim, que seja avaliado a possibilidade da instalação de um misturador mecânico de baixa rotação.

Recomenda-se ainda que a empresa verifique diariamente o valor do pH do meio tratado e que mantenha o mesmo na faixa entre 6,5 a 7,5. Este valor irá impedir a corrosão e a formação de incrustações nos equipamentos e tubulações. Caso o pH esteja em desacordo, sugere-se a adição de acidificantes ou alcalinizantes para adequar a faixa de pH ideal do meio.

Caso o propósito da empresa seja investir na qualidade do efluente tratado e na estação de tratamento, aconselha-se a instalação de um pHmetro online, para aferir os valores e dosar os produtos automaticamente.

Ainda neste propósito, sugere-se que o operador da ETE verifique as bombas de dosagem dos reagentes diariamente, evitando que problemas como entupimentos por contaminantes venham interferir nos valores de dosagem recomendados neste estudo.

Recomenda-se também, que seja criado um sistema de controle em forma de *check list*, preenchido diariamente pelo operador da ETE, contendo os volumes dos produtos dosados, o pH do meio tratado e as características da água tratada. Caso a clarificação da água não esteja dentro dos níveis de qualidade desejados pela indústria, indica-se a realização de novos ensaios de bancada com diferentes parâmetros, entre esses, a alcalinidade.

Salienta-se que caso a empresa precise descartar os efluentes no corpo receptor (afluente do rio dos Porcos), será necessária a avaliação dos demais parâmetros previstos nas legislações ambientais de lançamentos de efluentes, principalmente metais como zinco e chumbo, que são utilizados na composição do esmalte e decoração dos revestimentos e considerados bastante tóxicos ao meio ambiente.

Propõe-se ainda uma avaliação acerca do dimensionamento da estação de tratamento atual, a fim de verificar se a sua capacidade atual atende a vazão dos efluentes. Sugere-se ainda que sejam realizadas manutenções corretivas em todo o sistema mecânico e elétrico da mesma.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Água na medida certa: a hidrometria no Brasil**. Brasília: ANA, 2012. 72p.: il.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação: referências**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento: terminologia**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 14724: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação**. Rio de Janeiro, 2011. 13 p.

_____. **NBR 6502: Rochas e Solos: terminologia**. Rio de Janeiro, 1995.

ANFACER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. [publicação anual], São Paulo, SP: 2014. Disponível em:

<<http://www.anfacer.org.br/site/default.aspx?idConteudo=159&n=B>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

BARROS, F.; AMIN, M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, América do Norte, 4, fev. 2008. Disponível em:<<http://rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/116/106>>. Acesso em: 15 Abr. 2014.

BLASCO, A., et al. **Tratamiento de Emisiones Gaseosas, Efluentes Líquidos y Resíduos Sólidos de la Indústria Cerâmica**. Espanha: AICE, 1992. 191p.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília – DF, março de 2006. Publicado no D.O.U em 09/03/2006. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br>>. Acesso em: 23 de abr. 2014.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes; complementa e altera a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Publicado no D.O.U nº 92 em 16/05/2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em 19 de abr. de 2014.

CANTELLI, D. L. **Reúso de água de processo industrial: uma proposta para o setor têxtil**. 1999. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999. Disponível em:

<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=vtls000295543>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008. Disponível em: <<http://www.peu.uem.br/Discertacoes/Maria.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2014.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho, 2009. 453 p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos, SP: RiMA, 2002. 237p.

EMPRESA CERÂMICA. **Memorial descritivo do processo produtivo do setor de retífica e polimento**. Informações disponíveis na empresa. Criciúma, 2014. 3p.

FERRARI, K. R. **Aspectos ambientais do processo de fabricação de placas de revestimentos cerâmicos (via úmida), com ênfase nos efluentes líquidos**. 2000. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências na área de Tecnologia Nuclear - Materiais, Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares, São Paulo, 2000. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/KatiaReginaFerrari_M.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2014.

FONTANELLA, D. F. **Perfomance da ETE: Otimização da estação de tratamento de efluentes da indústria cerâmica**. 2003. 61 f. TCC(Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2003.

FRANCO, A.L.C. **Revestimentos cerâmicos de fachada: composição, patologias e técnicas de aplicação**. 2009. 80 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/MonografiaAnaLuciaCostaFranco.pdf>>. Acesso em: 10 abr.2014.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro, 2004. 81p. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/LivialostGallucci/apostila-tratamento-de-efluentes-industriais>>. Acesso em: 03 de mar. 2014.

GOMES, S. R. F. **Tratamento de efluentes para reúso de água: estudo de caso de uma indústria petroquímica**. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão, Desenvolvimento e Formação, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.centropaulasouza.sp.gov.br/pos-graduacao/trabalhos-academicos/dissertacoes/tecnologias-ambientais/2012/sandra-ruri-fugita-gomes.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

GONDIM FILHO, J. G. C. Considerações sobre o reúso de águas para fins agrícolas

nas condições brasileiras. In: **XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICO**, 2011, Maceió. Maceió, 2011. p. 1 - 5. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2de9f2f2874fc11f3d246a12f446787b_2a03d85328c4612ffdf6b47542318c5.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2014.

HESPANHOL, I. (Coord.). **Manual de Conservação e Reúso de Água na Indústria**. Rio de Janeiro: Dim, 2004. 28 p. v 1. Disponível em: <<https://www2.cead.ufv.br/sgal/files/apoio/saibaMais/saibaMais4.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

JUNIOR, M. C.; BOSCHI, A. O.; MOTTA, J. F.M. et al. **Panorama e perspectivas da indústria de revestimentos cerâmicos no Brasil**. 2010. São Paulo.

LEITE, W. P. **Recuperação e recirculação de água no processamento mineral**. 2011. 51 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Recursos Minerais, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.ceermin.demin.ufmg.br/monografias/45.PDF>>. Acesso em: 08 abr. 2014.

MIERZWA, J.C; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. 143p.

MORUZZI, R.B.; SANTOS, J.A.C. dos. **Estudo e adequação de um sistema de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica visando reúso**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia. Espírito Santo do Pinhal, SP. v. 5, n 3. p. 115-128, 2008. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=152>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

NOVAIS, E.S. **Utilização de polímeros catiônicos e aniônicos no tratamento de efluentes**. 2012. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Polímeros – Produção em Plásticos, Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012. Disponível em: <<http://fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/nuplas/dissertacoes/TCCs1sem-2012/Elisângela da Silva Novais.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2014.

NUNES, J.A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4 ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2004. 298p.

ODEBRECHT, T. **Processos realizados para o controle de qualidade da água**. Blumenau, 2010. 37p. Disponível em: <http://www.bc.furb.br/docs/RE/2010/347175_1_1.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2014.

OLIVEIRA, M. C.; MAGANHA, M.F.B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos (Série P + L)**. São Paulo: CETESB, 2006. 84p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>.

PAVEI, S. G. **Análises físico-químicas e microbiológicas da água bruta e tratada utilizada para abastecimento do município de Florianópolis**. 2006. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal

de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/105055/Sabrina_Ghellere.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 maio 2014.

PEREIRA, S.W. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos:**

Aplicação de avaliação do ciclo de vida. 2004. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2004. Disponível em:

<[http://www.ciclodevida.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Dissertacao_Sibeli-Pereira\(4f91982671ce5\).pdf](http://www.ciclodevida.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Dissertacao_Sibeli-Pereira(4f91982671ce5).pdf)>. Acesso em: 08 de mar. 2014.

SANTA CATARINA. **Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina.** Lei

nº 14.675, de 13 de dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.sc.gov.br>. Acesso em: 11 jul. 2009. Disponível em: <http://www.sc.gov.br>. Acesso em: 07 mar. 2014.

SANTOS, G. R. D. **Estudo de clarificação de água de abastecimento público e otimização da estação de tratamento de água.** 2011. 101 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Disponível em: <<http://tpqb.eq.ufrj.br/download/clarificacao-de-agua-de-abastecimento-publico.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2011.

SARRETA, C. R. L. **Sociologia do Direito a água:** percepções sociais, ambientais e culturais dos atores diante do direito universal á água e do processo de privatização.

2013. 268 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Sociais, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013. Disponível

em:<<http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/000008/000008B3.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

SCHOENHALS, M. **Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola.** 2006. 87 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia Química da Universidade, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2006. Disponível

em:<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88890/224900.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 07 abr. 2014.

SILVESTRE, M. E. D. **Água Doce no Brasil:** razões de uma nova política. 2003.

134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003. Disponível em:

<<http://www.prodema.ufc.br/dissertacoes/077.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

SPERLING, V. M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de**

esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996, 2ed., v.1, 243p.

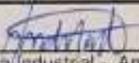
ZANETTE, T.M. **Estudo de tratabilidade do efluente líquido da indústria**

cerâmica para fins de reúso. 2004. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2004.

Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/169269657/Estudo-de-tratabilidade-do-efluente-liquido-da-industria-ceramica-para-fins-de-reuso>>. Acesso em: 10 mar. 2014

ANEXO(s)

ANEXO A – ANÁLISE DO EFLUENTE BRUTO DA LINHA A

LABORATÓRIO HIDROAMBIENTAL			
RELATÓRIO DE ENSAIO N. : E0151/2014			
Dados da Amostra			
RESULTADOS			
Análise	Resultado	Limite Máximo Permitido	Metodologia
pH	8,28	6,0 a 9,0	Potenciômetro
Temperatura (°C)	18,6	< 40°C	Termômetro Digital
Turbidez, NTU	77,0		Fotômetro
Dureza Total, mg/L	320,0		Titulométrico
Sólidos Totais, mg/L	970,0		Gravimétrico
Sólidos Sedimentáveis, mg/L	< 0,1	1,0	Cone Imhoff
Sólidos Suspensos, mg/L	540,0		Fotômetro
<p>Observações:</p> <p>1 - As análises são realizadas segundo American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: 1995 1 v.</p> <p>2 - Os limites máximos permitidos são segundo Legislação Ambiental Básica do Estado de Santa Catarina de 05 de junho de 1981, Decreto N^o 14.250, que dispõe de padrões de emissão de efluentes líquidos no Art. 19^o.</p>			
Criciúma, 28 de Maio de 2014.			
		<p>Andreia do Nascimento Responsável Técnica CRQ nº 13200332</p>	
Química Industrial - Andreia do Nascimento Responsável Técnica - CRQ nº 13200332			

Fone/Fax: (48) 3045-2722

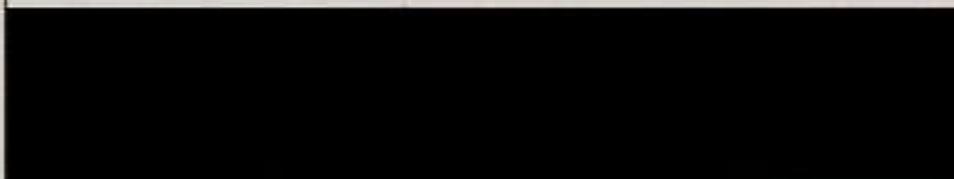
Rua Nilo Peçanha, 396 - Sala 11 - Bairro Michel - CEP 88803-050 - Criciúma - Santa Catarina
labhidroambiental@hotmail.com

ANEXO B – ANÁLISE DO EFLUENTE TRATADO DA LINHA A

LABORATÓRIO HIDROAMBIENTAL

RELATÓRIO DE ENSAIO N. : E0152/2014

Dados da Amostra



RESULTADOS

Análise	Resultado	Limite Máximo Permitido	Metodologia
pH	8,32	6,0 a 9,0	Potenciômetro
Temperatura(°C)	17,8	< 40°C	Termômetro Digital
Turbidez, NTU	14,0	---	Fotômetro
Dureza Total, mg/L	220,0	---	Titulométrico
Sólidos Totais, mg/L	568,0	---	Gravimétrico
Sólidos Sedimentáveis, mg/L	< 0,1	1,0	Cone Imhoff
Sólidos Suspensos, mg/L	280,0	---	Fotômetro

Observações:

1 - As análises são realizadas segundo American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington, 1995 1 v.

2 - Os limites máximos permitidos são segundo Legislação Ambiental Básica do Estado de Santa Catarina de 05 de junho de 1981, Decreto N° 14.250, que dispõe de padrões de emissão de efluentes líquidos no Art. 19°

Criclúma, 28 de Maio de 2014.


 André do Nascimento
 Responsável Técnica
 Química Industrial - Andress do Nascimento
 Responsável Técnica - CRQ nº 13200332

Fone/Fax: (48) 3045-2722

Rua Nilo Peçanha, 398 - Sala 11 - Bairro Michel - CEP 83803-950 - Criclúma - Santa Catarina
 labhidroambiental@hotmail.com

ANEXO C – ANÁLISE DO EFLUENTE BRUTO DA LINHA B

LABORATÓRIO HIDROAMBIENTAL

RELATÓRIO DE ENSAIO N. : E0153/2014

Dados da Amostra

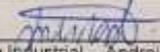
RESULTADOS

Análise	Resultado	Limite Máximo Permitido	Metodologia
pH	7,85	6,0 a 9,0	Potenciômetro
Temperatura(°C)	18,4	< 40°C	Termômetro Digital
Turbidez NTU	85,0		Fotômetro
Dureza Total, mg/L	310,0		Titulométrico
Sólidos Totais, mg/L	1045,0		Gravimétrico
Sólidos Sedimentáveis, mg/L	< 0,1	1,0	Cone Imhoff
Sólidos Suspensos, mg/L	700,0		Fotômetro

Observações:

- 1 - As análises são realizadas segundo American Public Health Association: Standard Methods for the Examination of Water and Water and Wastwater. Washington: 1995 1 v.
- 2 - Os limites máximos permitidos são segundo Legislação Ambiental Básica do Estado de Santa Catarina de 05 de junho de 1981, Decreto N° 14 250, que dispõe de padrões de emissão de efluentes líquidos no Art. 19°.

Criciúma, 28 de Maio de 2014.


 Andreia do Nascimento
 Responsável Técnica
 Química Industrial - Andreia do Nascimento
 Responsável Técnica - CRQ nº 13200332

Fone/Fax: (48) 3045-2722

Rua Nilo Peçanha, 396 - Sala 11 - Bairro Michel - CEP 88803-050 - Criciúma - Santa Catarina
 labhidroambiental@hotmail.com

ANEXO D - ANÁLISE DO EFLUENTE TRATADO DA LINHA B

LABORATÓRIO HIDROAMBIENTAL

RELATÓRIO DE ENSAIO N. : E0154/2014

Dados da Amostra

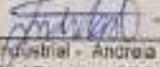
RESULTADOS

Análise	Resultado	Limite Máximo Permitido	Metodologia
pH	7,0	6,0 a 9,0	Potenciômetro
Temperatura (°C)	17,0	< 40°C	Termômetro Digital
Turbidez NTU	11,0	—	Fotômetro
Dureza Total mg/L	290,0	—	Titulométrico
Sólidos Totais mg/L	572,0	—	Gravimétrico
Sólidos Sedimentáveis mg/L	< 0,1	1,0	Cone Imhoff
Sólidos Suspensos mg/L	282,0	—	Fotômetro

Observações:

- 1 - As análises são realizadas segundo American Public Health Association: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington: 1995 1 v.
- 2 - Os limites máximos permitidos são segundo Legislação Ambiental Básica do Estado de Santa Catarina de 05 de junho de 1981, Decreto N° 14.250, que dispõe de padrões de emissão de efluentes líquidos no Art. 19°.

Criciúma, 28 de Maio de 2014.

 **Andréia do Nascimento**
Responsável Técnica
Química Industrial - Andréia do Nascimento
Responsável Técnica - CRQ nº 13200332

Fone/Fax: (48) 3045-2722

Rua Nilo Peçanha, 396 - Sala 11 - Bairro Michel - CEP 88803-050 - Criciúma - Santa Catarina
labhidroambiental@hotmail.com