

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
NEYLOR SANTOS ALVES

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA EM CERÂMICA VERMELHA**

FORMIGA-MG
2018

NEYLOR SANTOS ALVES

APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA EM CERÂMICA VERMELHA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Química do
UNIFOR-MG, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Química.

Orientador: Neylor Makalister Ribeiro
Vieira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

A474 Alves, Neylor Santos.
Aproveitamento de resíduo de estação de tratamento de água em
cerâmica vermelha / Neylor Santos Alves. – 2018.
56 f.

Orientador: Neylor Makalister Ribeiro Vieira.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Química)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Lodo de ETA. 2. Reciclagem. 3. Cerâmica vermelha. I. Título.

CDD 628.3

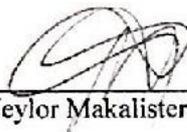
Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária
Rosana Guimarães Silva – CRB6-3064

NEYLOR SANTOS ALVES

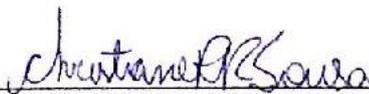
APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA EM CERÂMICA VERMELHA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Química do
UNIFOR-MG, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Química

BANCA EXAMINADORA



Prof. Neylor Makalister Ribeiro Vieira



Prof. M.ª Christiane Pereira Rocha Sousa



Prof. M.ª Tânia Aparecida de Oliveira Fonseca

Formiga, 12 de novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte diária de minha inspiração, alegria e fé.

Aos meus pais, Nivaldo Lúcio, Nillei Maria e minhas irmãs Natali, Nayla e Aryelle por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos, sempre com muita dedicação e amor. Á vocês meu eterno carinho e gratidão!

A minha namorada Bruna, por toda ajuda, confiança, companheirismo e amor.

Ao Professor e amigo Neylor Makalister pela orientação e oportunidade de realizar este trabalho.

Ao meu amigo-irmão Ralph pelo apoio e ajuda nos testes.

Aos Professores Alex Almeida, Christiane Rocha, Ronan e Kátia pelo fornecimento de informações e suas valiosas sugestões.

As Professoras Tânia Aparecida e Christiane Rocha por aceitarem em fazer parte da banca de avaliação deste trabalho.

A todos os professores que passaram pela minha formação e dividiram seus conhecimentos comigo.

Aos meus amigos pelo apoio, carinho e compreensão de minha ausência no decorrer do curso.

A todos que me ajudaram direta e indiretamente no desenvolvimento desse trabalho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

As estações de tratamento de água (ETA) tem necessidade de reciclar o resíduo proveniente da sedimentação de matérias orgânicas, denominada de lodo, o qual tem a variação em sua composição, de acordo com o mês da coleta, o coagulante utilizado bem como a localização. Atualmente a disposição final que se dá a esse rejeito é o encaminhamento aos aterros sanitários ou simplesmente lançá-los nos corpos hídricos que tangenciam a estação de tratamento. Com o intuito de economizar água e dar uma finalidade adequada ao lodo, o presente trabalho deseja introduzir o rejeito na construção civil através das cerâmicas vermelhas, um setor que exibe grande potencial na incorporação do lodo em sua matriz de cerâmica. Trabalhos reportados da literatura indicam que é possível a reciclagem desse resíduo industrial como agregado em massas cerâmicas. Através da mistura lodo-argila confeccionou corpos de prova com diferentes teores de lodo para executar ensaios de compreensão até sua ruptura. O SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Formiga possui o Sistema de Captação, Tratamento e Distribuição, a ETA com vazão de 200 litros/segundo, produção diária de 16.000.000 litros/16.000 m³ de água potável. Para almejar os objetivos do presente trabalho usaram-se misturas de argila com diferentes concentrações de lodo oriundo da ETA; além do que as misturas com percentual igual a 5,0% utilizou o lodo desidratado e o lodo calcinado. Elaborou-se de duas amostras de corpos de prova cilíndricos, e variou-se a granulometria e a queima. Nas circunstâncias experimentais deste estudo concluiu-se que o lodo adicionado na matriz de massa de argila contribuiu para a redução de suas propriedades Físico-Mecânicas à tensão de ruptura, apresentando valores muito abaixo do especificado para classificação dos tijolos maciços.

Palavras-chave: Lodo de ETA, reciclagem, cerâmica vermelha, tijolo cerâmico

ABSTRACT

The need to recycle the residue from sedimentation of materials, called sludge, appears in the water treatment plants (ETA), which has the variation of its composition, according to the month of collection, the coagulant used as well as the location. At present, the final disposal of this waste is the route to the sanitary landfills or simply to discharge them in the water bodies that line the treatment plant. In order to save water and to give a suitable purpose to the sludge, the present work wants to introduce the waste in the civil construction through the red ceramics, sector that exhibits great potential in the incorporation of the sludge in its ceramic matrix. Where reported literature indicates that it is possible to recycle this industrial residue as aggregate in ceramic masses and through the mud-clay mixture, it has made specimens with different sludge contents to perform understanding tests until their rupture. SAAE - Autonomous Service of Water and Sewage of Formiga has the System of Captation, Treatment and Distribution, ETA with flow of 200 liters / second, daily production of 16,000,000 liters / 16,000 m³ of drinking water. To achieve the objectives of the present work, clay mixtures with different concentrations of sludge from ETA; in addition to the mixtures with a percentage equal to 5.0%, used the dehydrated sludge and the calcined sludge. It obtained the elaboration of two samples of cylindrical test specimens which varied the granulometry and the firing. In the experimental circumstances of this study it was concluded that the sludge added in the clay mass matrix contributed to the reduction of its Physical-Mechanical properties to the rupture stress, presenting values well below that specified for the classification of solid bricks.

Keywords: ETA sludge, recycling, red ceramics, ceramic brick

FIGURAS

Figura 1 – Esquema de uma estação de tratamento de água com tratamento completo convencional.....	19
Figura 2 – Sistema de floculação mecânica com agitadores e chicanas.....	22
Figura 3 – Sistema de decantação horizontal.....	23
Figura 4 – Sistema de filtração rápida.....	24
Figura 5 – Lodo obtido no decantador 01 ETA Rio Formiga.....	26
Figura 6 – Espectômetro Zetium.....	37
Figura 7 – Ensaio de compressão.....	39
Figura 8 – Máquina Universal de Ensaio Automática.....	40
Figura 9 – Prensa Manual.....	40
Figura 10 – Corpos de Prova na queima no forno.....	41
Figura 11 – Solocap.....	42
Figura 12 – Prensa manual Solotest.....	45
Figura 13 – Curva de Calibração.....	46
Figura 14 – Forno a gás utilizado na queima.....	48
Figura 15 – Gráfico comparativo entre o valor mínimo e os valores encontrados.....	49

TABELAS

Tabela 1 – Composição.....	43
Tabela 2 – Caracterização de argila.....	44
Tabela 3 – Composição presente no lodo calcinado.....	44
Tabela 4 – Deformação do anel dinamométrico da Amostra 1.....	46
Tabela 5 – Valores da carga (Kgf) e pressão (MPa) Amostra 1.....	47
Tabela 6 – Valores da Amostra 2.....	48

ABREVIATURAS

ETA – Estação de Tratamento de Água
SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto
PNSB – Pesquisa Nacional de Segurança
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
pH – Potencial hidrogeniônico (ou hidrogênio iônico)
cm – centímetros
mm – milímetros
UV – Ultravioleta
NBR - Norma Brasileira
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
L/s – Litros por segundo
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
°C – Graus Celsius
MPa – Megapascal
KN – Quilo Newton
Min. – Minutos
KW – Quilowatt
Kgf – Quilograma-força
Des – Desidratado
Cal – Calcinado
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO.....	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Objetivos.....	14
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1 O tratamento da água.....	15
3.1.1 Breve histórico.....	15
3.1.2 Tratamento de água convencional.....	17
3.1.3 Processo de captação água.....	18
3.1.4 Coagulação.....	19
3.1.5 Floculação.....	20
3.1.6 Decantação.....	22
3.1.7 Filtração.....	23
3.1.8 Desinfecção.....	24
3.2 Utilização de coagulantes.....	25
3.2.1 Caracterização do Iodo.....	25
3.2.2 Toxicidade do Iodo.....	27
3.2.3 Aspectos legais referentes ao destarte do lodo.....	28
3.2.4 Adensamento do Iodo.....	29
3.2.5 Desidratação do Iodo.....	29
3.2.5.1 Sistemas naturais.....	30
3.2.5.2 Sistemas mecânicos.....	31
3.2.6 Disposição final.....	31
3.2.7 Rede Coletora de Efluentes.....	32
3.2.8 Aterros Sanitários.....	32
3.2.9 Superfície de Terrenos.....	33
3.2.10 Subproduto.....	34
3.3 Cerâmica Vermelha.....	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1 Preparação das massas de lodo e argila.....	36
4.2 Corpos de prova.....	37

4.3 Sinterização dos corpos de prova.....	40
4.4 Caracterização física dos corpos de prova sinterizados.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 Caracterização da argila.....	43
5.2 Caracterização do logo.....	44
5.3 Ensaio mecânicos de compressão.....	45
6 CONCLUSÃO.....	50
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Atualmente tem-se cada vez mais escassez dos recursos hídricos para atender a ascendente demanda, por causa do aumento populacional, do desperdício, do uso indiscriminado nas cidades, na agricultura e indústria. Agrupando-se a esses fatores, soma-se que a qualidade das águas, principalmente as superficiais, que vem sendo comprometida com maior intensidade próxima às áreas urbanas (GUERRA, 2005).

As estações de tratamento são parte fundamental dos sistemas de abastecimento de água potável para a população, principalmente quando se utilizam mananciais superficiais. A tecnologia que predomina nas estações de tratamento de água (ETAs) do Brasil é denominada “convencional” ou caracterizada de ciclo completo. Esse ciclo é determinado por etapas significativas iniciando pela captação da água, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (LIBÂNIO, 2010).

Inúmeros fatores contribuem para a adoção de um projeto ambientalmente correto nas novas ETAs e regularização das já existentes. Destaca-se os órgãos ambientais com suas legislações hoje mais rigorosas e restritivas, a necessidade de reduzir perdas e custos no processo de tratamento e a conscientização ambiental, tanto da sociedade como também dos agentes do setor de saneamento (GUIMARÃES, 2007).

Vivencia-se problemas gerados pela poluição e pelo descarte de resíduos industriais que são de elevada importância e perturbam o setor industrial assim como a sociedade como um todo (OLIVEIRA, 2004). As estações de tratamento de água geram enormes quantidades de lodo sendo necessário buscar alternativas para o reaproveitamento destes resíduos de forma a não agredir o meio ambiente.

Segundo Guimarães (2007) os efeitos ocasionados ao meio ambiente pela deposição desses resíduos nos corpos d'água são severos. Devido à sobrecarga de alumínio presente em grandes quantidades nos resíduos de ETAs, alterações físicas, químicas e biológicas podem mudar as características da água interferindo na biota aquática. Desse modo o manuseio e destinação correta dos resíduos são de fundamental importância para um planejamento adequado das companhias de saneamento.

Resíduos sólidos das mais diversas atividades industriais podem ser incorporados em argilas para fabricação de produtos de cerâmica vermelha. Essa prática tornou-se bastante investigada no meio científico, por apresentar uma alternativa para a destinação final

ambientalmente correta, além de possibilitar a inertização de seus elementos potencialmente tóxicos (DONDI et al., 1997).

No território brasileiro encontra-se enormes jazidas de argilas, que abastecem diversas áreas, principalmente na indústria de cerâmica vermelha. Tal indústria é responsável por produtos como tijolos, blocos cerâmicos, telhas entre outros que são destinados à construção civil, representadas hoje por mais de 13.000 pequenas e médias unidades produtivas disseminadas por todo o país (OLIVEIRA, 2004).

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) da cidade de Formiga-MG, responsável pela captação e distribuição de água potável a população, utiliza 500 m³ de água tratada na lavagem dos filtros diariamente e trimestralmente 70 m³ na lavagem de cada decantador, resíduos esses destinados ao corpo d'água próximo à estação sem que seja devidamente tratado.

Nesse trabalho aproveitou-se a lavagem de um dos decantadores para coletar o resíduo proveniente da sedimentação de partículas dispersas na água bruta. Como possível via destinação do resíduo aplicou-se percentagens em massas de argilas, utilizadas na fabricação de tijolos, para se determinar a possível introdução do lodo sem que haja alterações em suas características, podendo assim elaborar uma cerâmica que atenda às normas e seja ecologicamente correta.

Além da introdução e de uma conclusão apresentada no final deste manuscrito, o trabalho é composto de mais cinco capítulos. No Capítulo 2 é apresentado o objetivo geral e o específico, onde esse trabalho terá sua orientação. O Capítulo 3 é apresentado uma revisão da literatura sobre o tratamento da água bruta, os resíduos gerados, a disposição final dos resíduos e algumas alternativas para o descarte. No Capítulo 4 descreve-se todos os métodos e materiais utilizados para se obter os resultados. Por fim o Capítulo 5 são discutidos os resultados obtidos experimentalmente através da simulação do ensaio de compressão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa foi elaborar uma cerâmica com variada concentração do lodo proveniente do sistema de tratamento da água bruta do Rio Formiga, material esse coletado no sistema de decantação da Estação de Tratamento de Água.

2.2 Objetivos específicos

- Coletar o lodo da estação de tratamento de água do Rio Formiga
- Coletar a argila utilizada na fabricação de tijolos
- Elaborar corpos de prova com variadas concentrações de lodo
- Executar ensaio mecânico de compressão
- Comparar a eficiência dos corpos de prova à compressão

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será abordado o tratamento da água completo, métodos mais usuais para se obter o lodo mais concentrado e até mesmo desidratado, citará opções de reutilização do lodo para que não seja descartado indevidamente no meio ambiente. Neste trabalho foi feito o processamento de corpos de prova que simularão tijolos maciços utilizados na construção civil, e esses corpos de prova apresentam teores de adição de lodo diferentes para averiguação da viabilidade da utilização desse resíduo, que antes era descartado, na fabricação de tijolos.

3.1 O tratamento da água

3.1.1 Breve histórico

O Brasil é um país privilegiado com relação à disponibilidade de água, pois possui o maior rio do planeta, o Rio Amazonas, e 53% dos mananciais de água doce disponível na América do Sul. Todavia, mesmo com grande disponibilidade de recursos hídricos, sofre se com a escassez de água em partes do país. (ARAÚJO, 2010).

Quando se tinham poucos homens vivendo sobre a Terra, e em grupos e como nômades, isto é, se alimentavam de frutas, vegetais e animais de um determinado local e quando começava a diminuir esses alimentos, rumavam em busca de outro local mais farto. Estes grupos andavam próximos ao curso dos rios, que fornecia água para suprir suas necessidades. Quando abandonavam um local, a natureza degenerava o lixo que produziam (ROCHA et al, 2004).

Com o decorrer do tempo, o ser humano foi domesticando alguns animais para se alimentar, e as técnicas de agricultura também foram aprimoradas, ou seja, plantar o que comer. Com isso, este homem que antes viajava sempre que o alimento acabava, passou a residir em um determinado local, pois se adaptou e iniciou uma nova etapa onde conseguia cultivar o que precisava e em torno de si. De nômade passou a ser sedentário. Com isso se deu início à manufatura, urbanização e industrialização. Junto com os benefícios se deu início às consequências ambientais maléficas como o acúmulo de lixo gerado pelo ser humano. A taxa de resíduos gerados era maior do que o tempo que a natureza levaria para degenerá-lo. Como o acúmulo do lixo foi tomando proporções cada vez maiores, as condições para a proliferação

de microorganismos e insetos também aumentaram na mesma proporção e devido à proximidade com o homem, a disseminação de doenças seguiram a mesma intensidade (ROCHA et al, 2004).

A indagação da pergunta “o que fazer com o lixo produzido” permaneceu por anos. Este era um sério problema enfrentado desde o primórdio das civilizações e a solução mais intuitiva era depositar no rio. Com a correnteza, os rejeitos seriam levados para “longe” e se evitariam os problemas do acúmulo desses. Assim, inicia-se à contaminação dos corpos d'água também conhecido como “esgoto doméstico”. Hoje sabe-se que esta contaminação pode causar a morte de plantas e animais, comprometendo irremediavelmente o ecossistema local (ROCHA et al, 2004).

A primeira rede de distribuição de água e captação de esgoto de forma eficiente foi construída há aproximadamente 4.000 anos na Índia. Grandes tubos feitos de argila levavam as águas residuais e os detritos para canais cobertos que corriam pelas ruas e desembocavam nos campos, adubando e regando as colheitas (ROCHA et al, 2004).

De acordo com Rocha et al (2004) algumas cidades da antiga Grécia e a maioria das cidades romanas também dispunham de sistemas de esgotos. A população obtinha água para o abastecimento em fontes públicas e utilizava latrinas comunitárias para as necessidades fisiológicas, como a Toaleta de Ephesus do século 1 d.C. Sob os assentos havia água corrente para levar os dejetos e para que o usuário lavasse a mão esquerda, utilizada na limpeza corporal.

A Idade Média (400 a 1400 d.C.) foi um período de 10 séculos nos quais não houve avanços sanitários e a menor preocupação no descarte dos resíduos domésticos. O lixo começava a se acumular nas ruas e efluentes, facilitando a proliferação de ratos e ocasionando sérios problemas de saúde pública – um dos mais graves foi a epidemia da peste bubônica, que só na Europa, causou a morte de cerca de 25 milhões de pessoas (ROCHA et al, 2004).

No final do século XVIII, com a Revolução Industrial, a densidade demográfica das cidades aumentou muito provocando um agravamento do acúmulo de lixo e excrementos nas ruas. Com isso tornou-se necessária e urgente a criação de um sistema de esgotos que pudesse suprir toda essa demanda, caso contrário, corria-se o risco de impedir o progresso industrial pelo surgimento de novas epidemias e conseqüentemente êxodo das cidades. Os rios passaram a receber essas impurezas e sofrer os efeitos da poluição, ocasionando a morte dos peixes, do ecossistema, bem como a transmissão de doenças como a cólera (ROCHA et al, 2004).

Segundo Rocha et al (2004) na Inglaterra iniciou-se as primeiras tentativas de medir e caracterizar a poluição, os primeiros regulamentos de proteção aos cursos d'água e os

primeiros processos de tratamento de águas residuais. A primeira Estação de Tratamento de Água (ETA) foi construída em Londres em 1829 e tinha a função de coar a água do rio Tâmisa em filtros de areia. A ideia de tratar o esgoto antes de lança-lo ao meio ambiente, porém, só foi testada pela primeira vez em 1874 na cidade de Windsor, Inglaterra. Não se sabia como as doenças “saíam do lixo e chegavam ao nosso corpo”. A ideia inicial é que vinham do ar, pois o volume de ar respirado por dia é muito superior ao volume de água ingerido. Porém com a descoberta de que doenças letais da época (como a cólera e a febre tifoide) eram transmitidas pela água, técnicas de filtração e a cloração foram mais amplamente estudadas e empregadas.

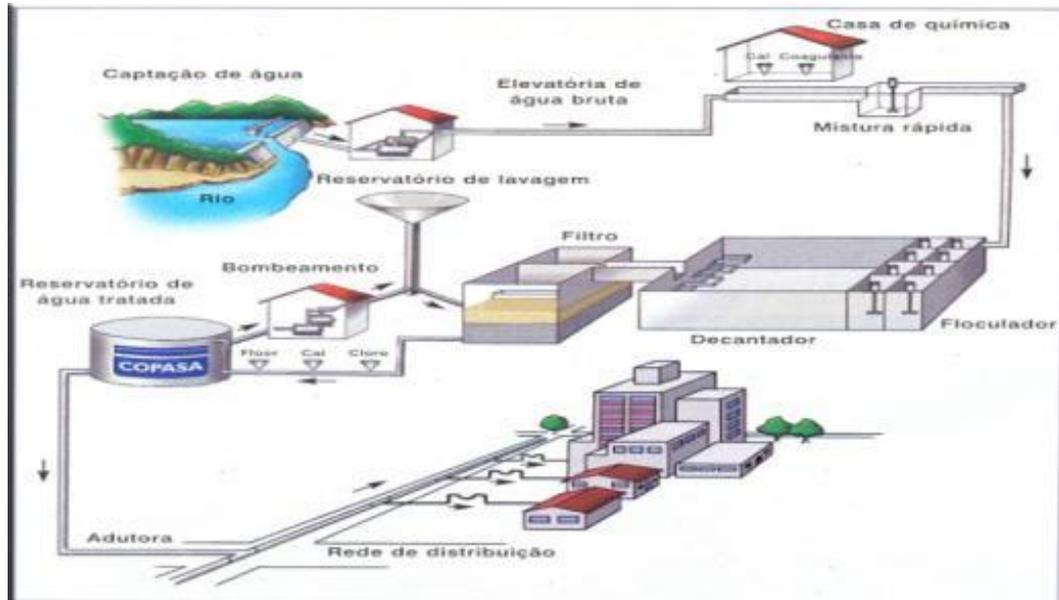
De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento – PNSB 2008 e comparados com os obtidos pela PNSB 2000 possibilita a constatação de uma evolução dos serviços de saneamento básico oferecidos à população brasileira nesse intervalo de tempo. Nesse sentido, cabe destacar alguns aspectos relevantes como a proximidade da totalidade dos municípios brasileiros com serviço de manejo de resíduos sólidos, onde que em apenas duas dessas localidades o mesmo não foi realizado, houve um aumento de 6,7% no número de municípios com rede coletora de esgoto, o que representou mais 192 cidades ofertando esse tipo de serviço e o expressivo aumento de 21,5% na prestação do serviço de manejo de águas pluviais, com mais 929 municípios que passaram a realizar a drenagem urbana (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2010) .

3.1.2 Tratamento de Água Convencional

De acordo Gauto e Rosa (2011) tratamento é uma terminologia genérica utilizada quando há conversão de água não potável em potável, pela modificação de suas características iniciais. Com o objetivo não apenas de remover produtos nocivos à saúde e desagradáveis ao paladar, ao olfato e a percepção visual, mas também a adição de compostos benéficos à saúde humana, a exemplo do flúor. O local onde ocorre esse tratamento é conhecido por Estação de Tratamento de Água, cuja abreviatura é ETA.

As estações de tratamento de água são parte fundamental dos sistemas de abastecimento de água potável para a população, principalmente quando se utilizam mananciais superficiais. A tecnologia que predomina nas estações de tratamento de água (ETAs) do Brasil é denominada “convencional” ou caracterizada de ciclo completo (FIG 1). Esse ciclo é determinado por etapas significativas iniciando pela captação da água, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (LIBÂNIO, 2010).

Figura 1 - Esquema de uma estação de tratamento de água com tratamento completo ou convencional.



Fonte: COPASA, 2018

O processo começa com a captação da água bruta por gravidade, levado-a as bombas elevatórias que impulsionarão até a estação de tratamento, ao adentrar, a água bruta recebe uma dosagem de coagulante que na maioria das estações é utilizado o sulfato de alumínio, essa água segue para os floculadores que possuem um gradiente de velocidade específico e decrescente para aglutinar as partículas de sólidos, a seguir há uma sedimentação das partículas e filtração onde se retém todos os particulados existentes, logo após a água agora já filtrada recebe dosagens de cloro, flúor e oxido de cálcio (a cal) e encaminhada ao reservatório e distribuída à população.

Durante o processo convencional de tratamento de água são gerados basicamente dois tipos de resíduos, a saber: o primeiro deles é o resíduo gerado nos decantadores (ou eventualmente em flutuadores por ar dissolvido), e o segundo são os gerados na operação de lavagem dos filtros (SOBRINHO, 1998).

3.1.3 Processo de captação da água

A captação da água é de suma importância na estação de tratamento de água, portanto, a escolha da fonte abastecedora é importante na elaboração do projeto de abastecimento. É recomendado ter um manancial com vazão que supra perfeitamente a necessidade da ETAs,

outro fator é a localização da fonte, a topografia da região e a possível presença de focos de contaminação (COPASA, 2018)

A água captada nos mais diversos mananciais, rios, lagos ou poços, é encaminhada por tubulações até a ETA, esses dutos são implantados estrategicamente a fim de aproveitar a ação da gravidade e com barreiras físicas a impedir que haja passagem de peixes, plantas e detritos que possam comprometer o ideal funcionamento dessa captação (GAUTO; ROSA, 2011).

3.1.4 Coagulação

O processo de coagulação utilizado na grande maioria das ETAs se dá pelo emprego de produtos químicos para sedimentação de solutos (RICHTER, 2009). No decorrer do processo, parte do material orgânico coloidal, presente na mesma, será desestabilizada eletricamente pela existência de espécies coagulantes (KETCHUM; HIGGINS, 1979).

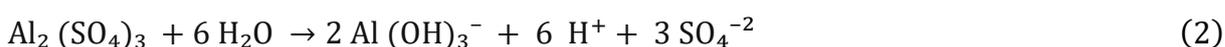
Nessa etapa a água bruta recém chegada à estação recebe o sulfato de alumínio que é depositado na ponta da tubulação indicada pela seta vermelha, após a adição do coagulante ela sofre uma queda contribuindo para a dispersão rápida do produto químico. A coagulação abrange a princípio a mistura rápida de coagulante com a água bruta, posteriormente a tem-se a agitação lenta do material coagulado para formação de flocos formando assim um transporte dos fluidos, associado à sedimentação e a junção de partículas primárias, denominado como fenômeno de transporte de fluidos, sendo definido pelo gradiente de velocidade. O conhecimento da taxa da união entre as partículas previamente desestabilizadas, em outras palavras, da cinética da floculação, é, portanto, um requisito fundamental no dimensionamento dos flocladores (RICHTER, 2009).

Segundo Bratby (2006) a coagulação corresponde à dispersão de partículas poluidoras, decorrente à compressão ou redução da dupla camada elétrica. Aplica-se também este termo à desestabilização pela adição de eletrólitos hidrolisáveis, tais como Fe^{+3} ou Al^{+3} .

Conforme Gauto e Rosa (2011) o sulfato de alumínio é o agente coagulador mais utilizado, encontrado em forma de pó na coloração branca que, em solução, situa-se hidrolisado, conforme as equações 1 e 2:



Ou



O $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ é um ácido de Lewis e, sendo assim, reage com as bases que se encontram na água. Como as bases que compõe a alcalinidade são mais fortes que a água, o $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ reage primeiramente com as bases e depois com as moléculas de água. Dessa maneira, ocorrerá um consumo de alcalinidade e conseqüentemente uma diminuição do pH. O hidróxido de alumínio gerado pela hidrólise do sal de alumínio promove a aglutinação das partículas em suspensão ou dispersas, facilitando sua deposição sob a forma de flocos.

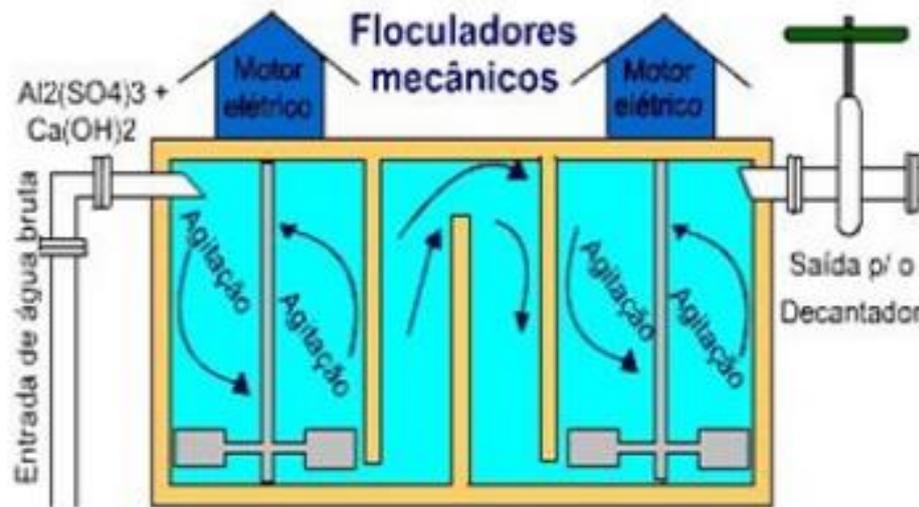
3.1.5 Floculação

Na floculação, através da utilização de um gradiente de velocidade apropriado, promove-se o contato dos coágulos para permitir seu desenvolvimento e subsequente a remoção do meio aquoso. Por consequência os lodos produzidos na potabilização da água têm em sua composição basicamente de hidróxidos metálicos hidratados e de uma combinação de materiais orgânicos e inorgânicos (KETCHUM e HIGGINS, 1979).

Nesse processo, os micros flocos unem-se formando flocos que devem ter tamanho e densidade adequados ao processo de remoção subsequente: clarificação por decantação ou por flotação e ou filtração. Ao contrário da decantação, nos processos de flotação e filtração direta não é desejável a formação de um floco volumoso. O processo de aglutinação é dependente da duração e do gradiente de velocidade (FIG 3). A velocidade aplicada para floculação pode ser comunicada, como na mistura rápida, por intermédios hidráulicos, mecânicos a diferença caracterizando-se pela intensidade que é muito menor (RICHTER, 2009).

Na floculação destaca-se o gradiente de velocidade que no primeiro agitador tem-se uma velocidade maior e de acordo com a passagens pelas barreiras físicas essa velocidade vai diminuindo para que possa ter uma aglutinação maior das partículas

Figura 2 – Sistema de floculação mecânica com agitadores e chicanas.



Fonte: GAUTO; ROSA, 2011

A agregação das partículas poluidoras através do uso de polímeros orgânicos de peso molecular elevado, após a coagulação proporciona aglomerados ainda maiores de colóides obtidos na coagulação (BRATBY, 2006).

3.1.6 Decantação

A decantação é um processo físico que diferencia partículas sólidas em suspensão da água, e é um dos métodos mais utilizados no tratamento da água. Consiste no emprego das forças gravitacionais para separar partículas de densidades superiores à da água, repousando-as em uma zona de armazenamento. Geralmente, contem-se materiais finamente divididos, no estado coloidal ou em solução, havendo a necessidade de adicionar coagulantes para formar aglomerados que sedimentam com maior facilidade (RICHTER, 2009).

O resíduo obtido no decantador constitui o lodo que é resultante do processo de coagulação (FIG 5), floculação e sedimentação sendo biodegradável composto por microorganismos, partículas, impurezas, produtos químicos geralmente aglomerados por certo período de tempo no próprio tanque de decantador (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Figura 3 – Sistema de decantação horizontal.



Fonte: GAUTO; ROSA, 2011

Após deixar os flocculadores à água dá entrada nos decantadores, no caso da ETA do Rio Formiga são dois tanques de decantação, nessa etapa já se obtém aglomerados maiores de partículas que serão se depositarão no fundo (FIG 6). A água por possuir uma densidade menor do que o lodo tem sua vazão pela parte superior do tanque onde há uma pequena quantidade de flocos particulados, esses serão retidos nos filtros.

Os decantadores convencionais, que não possuem equipamentos de extração do lodo e possuem intervalos de tempo de 1 a 4 meses para sua limpeza, implicando numa concentração maior dos resíduos gerados, em comparação, com decantadores de alta taxa, que utilizam mecanismo de extração do resíduo, onde há limpeza frequentemente (SABOGAL- PAZ; DI BERNARDO, 2005).

3.1.7 Filtração

A filtração é importante por desenvolver a função de reter partículas responsáveis pela cor e turbidez. Atribui-se uma função mais significativa, visto que, as falhas porventura verificadas na coagulação, floculação e sedimentação podem ser corrigidas nessa etapa assegurando a qualidade da água tratada (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

As tecnologias de tratamento de água que abrangem a filtração rápida (FIG 7) têm a coagulação química como parte integrante, e fundamental, da sequência do tratamento. A

filtração rápida é um processo físico que utiliza como mecanismo de transporte a aderência e desprendimento das partículas de impureza (LIBÂNIO, 2010). O tamanho dos grãos e da lacuna entre eles (poros) tem suma importância na remoção de matéria em suspensão pelo filtro e na eficiência de seu desempenho hidráulico (RICHTER, 2009).

Figura 4 - Sistema de filtração rápida.



Fonte: GAUTO; ROSA, 2011.

Os filtros utilizados nas ETAs têm em sua constituição camadas com diferentes granulometrias de areias, em torno de 75 cm de altura, sobreposta uma camada de cascalho, acerca de 30 cm de altura, que por sua vez pousa sobre uma base de tijolos especiais dotados de orifícios drenantes. Água nesta etapa é colocada sobre o leito filtrante e permeia os poros das camadas de areia, onde as impurezas ficam retidas. Mesmo que os poros sejam relativamente grande, têm grande capacidade de reter a maior parte dos flocos, inclusive os formados por bactérias com alguns micrometros de comprimento (GAUTO; ROSA, 2011)

3.1.8 Desinfecção

Ao fim da filtração, não há uma água potável em consequência de se ter presença de microrganismos. Em grande parte das partículas suspensas, incluindo as bactérias, que ficam retidas na decantação e filtração, todavia se tem microrganismos patogênicos remanescentes os quais precisam ser eliminados (GAUTO; ROSA, 2011).

Essa etapa do tratamento visa à destruição ou inativação dos microorganismos derradeiros ao longo dos processos. Com a adição de agentes físicos e/ou químicos. Os agentes físicos que sobressaem na desinfecção são a radiação UV, radiação gama, radiação solar e a nível domiciliar temos a fervura. O agente químico mais empregado em todo mundo é cloro, um oxidante (DANIEL et al, 2001). A cloração é o processo de desinfecção que até a atualidade reúne as melhores vantagens por ser eficiente, barato, de fácil aplicação e permite medir o efeito residual em um simples sistema e ao alcance de todos (GAUTO; ROSA, 2011).

3.2 Utilização de coagulantes

As impurezas presentes na água normalmente não são removidas por sedimentação comum, necessitando da adição de coagulantes, dentro de um tratamento controlado. A utilização do coagulante visando remover a turbidez, cor, matéria orgânica e demais impurezas presentes na água, têm se obtido sucesso no tratamento para a produção de água potável (COLDEBELL et. al., 2013).

Os coagulantes químicos são muito utilizados nos processos das ETAs, baseando nas características da coagulação e floculação, no entanto geram-se lodos não biodegradáveis e há uma possibilidade ter ligação direta com algumas doenças, por exemplo, o mal de Alzheimer (FERREIRA et. al., 2008), que está relacionado com o alumínio presente nas águas (COLDEBELL et. al., 2013).

Os sais de alumínio são compostos inorgânicos não biodegradáveis que agregam elementos químicos à água ou aos resíduos. Como principal objeção do processo o lodo inorgânico gerado, de manuseio difícil por conter uma umidade elevada e conseqüentemente um volume grande (CRUZ et. al., 2005).

3.2.1 Caracterização do lodo

As características dos lodos obtidos podem variar de acordo com a tecnologia usada no tratamento de água (SARON; LEITE, 2001). Segundo Cordeiro (2000) admite que, além dos parâmetros tradicionais do Saneamento, para o lodo de ETA devem ser considerados também a concentração, o tipo e o tamanho das partículas.

De acordo com Reali (1999), este lodo de sulfato de alumínio apresenta coloração marrom, com viscosidade e consistência que lembram um chocolate líquido conforme a (FIG., 8), além de possuírem uma difícil sedimentação ou flotação em seu estado natural. Segundo

Richter (2001) a aparência do lodo de sulfato de alumínio varia em função da sua concentração de sólidos. Para concentrações de 0 – 5%: aparência líquida; 8 – 12%: esponjoso ou semi-sólido; e para 18 – 25%: argila ou barro suave. De acordo com Awwa (1995) o lodo de ETA possui uma característica muito similar aos solos do que em comparação ao lodo de esgoto. Neste caso, em geral, o nitrogênio e o carbono orgânico no lodo de ETA são mais estáveis, menos reativos e em menores concentrações.

Figura 5 – Lodo obtido no decantador 01 ETA Rio Formiga



Fonte: Autor, 2018.

Em conformidade com a NBR 10.004/2004 o lodo é definido como resíduo sólido e, todavia, deve ser tratado e disposto de acordo com a regulamentação específica para esse resíduo específico. Desta forma, o lodo gerado nas ETAs caracteriza um sério problema para as instituições que gerem esses sistemas e torna necessária e com caráter de urgência a busca por novas formas de tratamento e disposição para esses resíduos.

Os lodos obtidos nos decantadores das ETAs podem ter suas características variadas de acordo com as condições as quais a água bruta se apresenta, assim como a dosagem e os produtos químicos utilizados na depuração dessa água (CORDEIRO, 1999). Desse modo,

dificulta ter uma avaliação precisa dos impactos gerados pelos resíduos lançados nos cursos de água, sem que haja um tratamento prévio.

3.2.2 Toxicidade do lodo

A potência toxicológica dos resíduos de ETAs consiste principalmente da quantidade de metais presentes, além das características físico-químicas e das condições em que estes resíduos são dispostos. Outros fatores que também influenciam a toxicidade são as reações no decorrer do processo, forma e tempo de retenção do lodo no decantador, características do curso d'água, composição e impureza dos coagulantes e outros produtos químicos utilizados no tratamento da água (BARROSO e CORDEIRO, 2001).

Conforme Cordeiro e Campos (1999) enfatizam a falta de conhecimento sobre a toxicidade do alumínio. Silva et al. (2000), complementa que há necessidade de pesquisas complementares para que se reúnam conhecimentos detalhados sobre as interações e influências do alumínio no meio ambiente e sobre os organismos vivos. Barbosa et al. (2000), consideram que existem poucos trabalhos que abordem a toxicidade dos lodos de ETAs, embora existam resultados que apontam para efeitos deletérios, diretos ou indiretos do alumínio à vida aquática.

A toxicidade e bioacumulação do alumínio nos organismos aquáticos decorrem da especiação desse composto na água, influenciada pelo pH, temperatura, ligação com compostos orgânicos e pela duração da exposição. Fatores que tornam extremamente difícil avaliar o risco do alumínio à integridade ecológica, porque a toxicidade varia com a forma molecular e sua concentração (STEPHENSON; WREN, 1991 apud BARBOSA et al., 2000)¹.

Pesquisas e trabalhos científicos demonstram os riscos e comprovam o impacto ambiental que a disposição inadequada de lodo gerados em ETAs pode causar no meio ambiente. Assim, há necessidade de uma gestão adequada para estes resíduos, que podem representar volume apreciável em relação ao volume de água tratado (ACHON et. al., 2013). A Lei 12.305/2010 define resíduos e rejeitos, sendo o primeiro passível de ser reutilizado e reciclado. O lodo de ETA se enquadra como resíduos sólidos e, portanto, precisa ser gerenciado de tal forma a garantir as premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei 12.305/2010)

¹ BARBOSA, R. M.; POVIMELLI, J.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E. L. G. A Toxicidade de Despejos (Lodos) de Estações de Tratamento de Água à *Daphnia similis* (Cladocera, Crustácea). **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Alegre, RS. 2000.

Conclui-se, portanto, que a disposição “in natura” dos efluentes das ETAs estudadas prejudica a biota aquática, comprometendo a qualidade da água e do sedimento dos corpos receptores (BARBOSA et al., 2000).

3.2.3 Aspectos Legais Referentes ao Descarte do Lodo

Apesar da rígida legislação ambiental brasileira, como a Lei Federal n.9605 (BRASIL, 1998) que dispõe sobre crimes ambientais, a resolução CONAMA n.357 (BRASIL, 2005) e, a nível estadual, a deliberação normativa COPAM n.10 (Minas Gerais, 1986) que estabelecem normas e padrões para qualidade das águas e lançamento de efluentes, pouco tem sido discutido e feito a respeito de resíduos gerados em estações de tratamento de água.

Geralmente, os resíduos são lançados nos cursos de água sem tratamento algum o ocasiona alguns impactos relativos ao descarte desse resíduo nos cursos de água ainda é pouco conhecido e pode provocar alterações significativas no meio ambiente. Di Bernardo et al. (2002) ressaltam as mudanças na legislação sobre meio ambiente, as crescentes taxas de poluição, o gerenciamento de bacias hidrográficas e as preocupações gerais de proteção ambiental têm conduzido a crescente conscientização da necessidade do tratamento e disposição adequada dos resíduos.

Com uma umidade alta, geralmente superior a 95%, os resíduos de ETA estão sob forma fluida. Apesar disso, os lodos de decantadores são classificados como resíduos sólidos pela NBR-10.004 (ABNT, 2004) e devem, portanto, ser tratados e dispostos dentro dos critérios estabelecidos por essa norma.

Com a variação de efluentes utilizados vale ressaltar que a quantidade e a qualidade dos resíduos gerados nas ETAs diferenciam consideravelmente, sendo então extremamente importante encontrar, para cada caso específico, alternativas de tratamento e disposição de resíduos viáveis do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. A destinação dos resíduos produzidos nas ETAs são depositados nos recursos hídricos próximos as estações sem receber adequadamente um tratamento (PARSEKIAN, 1998). Destaca-se que a geração de resíduos em ETAs com destinação inapropriada é prevalente em muitos municípios brasileiros. Todavia com a preocupação desses corpos hídricos a legislação ambiental tem evoluído e exigindo uma destinação adequada a estes resíduos.

Dessa forma, se cria um círculo vicioso, no qual se tem os rios como principais fornecedores de água para abastecer as estações, também acaba por receber todo e qualquer

tipo de resíduo, gerado na maioria das vezes pelo próprio sistema de tratamento de água, lesando o meio ambiente (ACHON, 2008)

3.2.4 Adensamento do lodo

O adensamento é frequentemente, a primeira operação objetivando a redução do volume de lodo, antes da desidratação. É uma das operações unitárias mais importantes do processo de tratamento, a partir dela dependem as operações posteriores. Richter (2001) menciona que o sistema de adensamento é caracterizado como a forma de se obter um lodo mais concentrado que normalmente pode ser alcançado através da adição de polímeros, onde o objetivo é extrair o maior percentual de água. Comumente a concentração de sólidos obtida pelo adensamento são inferiores a 3% do valor.

De acordo com Gauto e Rosa (2011) o adensamento do lodo acontece de duas formas, em adensadores e em flotores. Como a umidade dos resíduos é elevada, recomenda-se realizar a redução do seu volume. O adensamento é o processo que concentra os sólidos residuais e reduz o volume e essa concentração vai 1% para 5%. Deste modo as etapas subsequentes, desidratação e secagem, beneficiam-se dessa redução volumétrica.

Posteriormente à etapa de adensamento o lodo precisa ser submetido a um processo de desidratação. Concentração de sólidos em torno de 18 a 20% é considerado necessária, se o material for movimentado com equipamento mecânico e transportado para uma área de disposição (AWWA, 1969).

3.2.5 Desidratação do lodo

O processo de desidratação ou redução de parte da água do lodo tem por objetivo a redução do volume. Segundo Richter (2001) os métodos para separação sólido-líquido que visa remover a água do lodo e diminuir o seu volume, são: filtração e separação gravitacional. A filtração refere-se de uma operação unitária na qual a separação sólido-líquido sucede por meio do fluxo da suspensão, através de um meio ou membrana porosa. Nesse processo a fase líquida desloca-se pelo meio ou pela membrana e os sólidos ficam retidos. No método de separação gravitacional os sólidos sofrem ação de um campo de força (gravitacional, centrífugo), e desta forma são removidos pela diferença de densidade entre o fluido e as partículas sólidas.

Os resíduos produzidos pela lavagem dos decantadores ou pelos mecanismos de remoção contínua é um material com alto conteúdo de água, sendo necessário diminuir a umidade deste resíduo, a fim de minimizar o custo do processo e disposição final dos sólidos. Com o volume menor dos lodos de coagulação não diminui somente o problema da disposição do resíduo, na maior parte dos casos, o sobrenadante pode ser utilizado para complementar a fonte de água bruta a ser tratada. O método mais simples para concentração do lodo é o processo de decantação. Testes de decantação com estes lodos indicam que eles podem atingir de 0,5 a 1,0 % de concentração de sólidos (AWWA, 1969a).

Entre os métodos comumente utilizados para melhorar as condições dos lodos para disposição final, podem ser citados: a desidratação natural em lagoas e leitos de secagem, a desidratação mecânica em centrífugas, filtros a vácuo, filtros-prensa de placas ou esteiras (BIDONE et al., 2001).

Os métodos de desidratação utilizados no tratamento de lodos de estações de tratamento de água compreendem métodos mecânicos e não mecânicos. Métodos não mecânicos de desidratação são geralmente mais indicados para estações de tratamento de água de pequeno porte (AWWA, 1978b).

O sistema a ser utilizado depende de vários fatores como a área necessária para implantação, condições climáticas, custo do equipamento, entre outros. Os processos naturais são utilizados, particularmente, em ETAs de pequeno e médio porte, onde haja áreas disponíveis e condições climáticas favoráveis (LIBÂNIO, 2005).

3.2.5.1 Sistemas naturais

Nos sistemas naturais de desidratação, a eliminação da água é procedida através da evaporação natural, drenagem por gravidade ou drenagem induzida. Os sistemas naturais de desaguamento de lodo mais usuais são as lagoas e os leitos de secagem. Esses sistemas são apresentados normalmente para pequenas estações, geralmente com capacidade até 200 L/s. Os processos de secagem natural apresentam como vantagem a incomplexidade de operação e como desvantagens, a utilização de áreas maiores, dependência de condições climáticas e difícil remoção do lodo (LIBÂNIO, 2005). Barroso (2007) associa que no Brasil a utilização dos sistemas naturais se torna viáveis devido à disponibilidade de grandes áreas para implantação, clima favorável, baixos orçamentos municipais e a escassa de mão-de-obra especializada.

Processos de secagem não mecânicos ou também nomeados como naturais incluem métodos gravitacionais como: lagoas para a retenção e adensamento do lodo e desidratação em leitos de secagem (AWWA, 1978 b).

Neubauer (1968) estudou métodos de tratamento desses resíduos, dispostos em lagoas de secagem e centrifugação não forneceram concentração de sólidos aceitáveis. Leitos de secagem em escala piloto demonstraram que este método pode produzir um conteúdo de sólidos suspensos maior que 20% em aproximadamente 100 horas, com 97% de retenção de sólidos. O filtrado deste processo poderia ser reutilizado na estação de tratamento de água

3.2.5.2 Sistemas mecânicos

Em alternativa aos sistemas naturais de desidratação de lodo de ETA têm-se os sistemas mecânicos. Estes comumente são indicados para estações com menor disponibilidade de área e que se tem o objetivo de atingir uma maior concentração de sólidos na torta (LIBÂNIO, 2005). Knocke e Wakeland (1983), estudando características de desidratação mecânica para lodos de ETA, obtiveram taxas de desidratação muito melhores para o sistema de filtros prensa, quando comparado com a filtração a vácuo, sob a mesma aplicação de pressão.

As técnicas dos sistemas mecânicos para o desaguamento visam à combinação de dois princípios: a sedimentação em campo de força centrífuga ou gravitacional e a filtração (LIBÂNIO, 2005). Segundo os resultados obtidos por Sutherland (1969), a centrifugação não produziu um lodo suficientemente concentrado para a disposição em aterros, e a filtração a vácuo foi eficaz quando utilizada em lodo previamente adensado.

Onde a desidratação mecânica é necessária, filtros prensa são a solução mais segura (AWWA, 1978^a; YOUNG, 1968). O fracionamento por sedimentação ocorre quando há diferença de densidades entre os sólidos e o líquido, já a filtração se dará quando os sólidos apresentarem partículas grandes o suficiente para serem retidos num meio ou superfície filtrante (RICHTER, 2001). Regularmente utilizam-se polímeros a fim de aumentar a eficiência da separação, de modo que se aumente o peso e o tamanho dos sólidos presentes no resíduo (LIBÂNIO, 2005; RICHTER, 2001). Os polieletrólitos com carga moderada são mais eficientes do que aqueles altamente carregados ou não iônicos (RICHTER, 2001). A escolha de qualquer método é proporcional a quantidade requerida no processo, também tipo e teor de sólidos no lodo produzido e a forma de disposição final

3.2.6 Disposição Final

As mais diversas estações de tratamento de água sofrem com a disposição final dos resíduos sólidos gerados pelo processo, literaturas listam alguns métodos empregados como: o lançamento nas redes coletoras de efluentes, encaminhamento para aterros sanitários, utilização na agricultura como cobertura de terrenos, no aproveitamento como subprodutos e a pior opção, porém legal que é a devolução do resíduo ao manancial de origem sem o devido tratamento (HOPPEN et al., 2005).

3.2.7 Rede Coletora de Efluentes

As redes coletoras de esgotos poderão ser utilizadas desde que a vazão de resíduos líquidos gerados seja compatível com a capacidade de receber esses, assim como os demais rejeitos lançados em tais tubulações (DI BERNARDO et. al. 2002). A avaliação dos efeitos danosos causados pelo lodo ao sistema biológico de tratamento, assim como as consequências desenvolvidas pela deposição e a formação dos lodos de Estação de Tratamento de Esgotos para que não afete o processo. Todavia observa-se a eficiência de remoção de fósforo e um controle do Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) um gás muito tóxico dos decantadores primários (GUERRA, ANGELIS, 2005).

O lançamento de resíduos das ETAs para as redes de esgotos são consideradas como um passo mediano, repassando a responsabilidade do descarte desse resíduo para o sistema de tratamento de esgotos (CORDEIRO, 1999). Vale salientar que as redes de abastecimento no Brasil não foram adequadas para conduzir grande carga de sólidos, levando a futura sedimentação de flocos.

3.2.8 Aterros Sanitários

Um das opções usadas com alta frequência é o encaminhamento do lodo aos aterros sanitários, porém necessita que o resíduo passe por uma desidratação até atingir no mínimo de 20% de sólidos viabilizando o processo (NBR 10.004, 2004). De acordo com Guerra e Angelis(2005) a destinação do lodo aos aterros frequentemente é a última escolha, decorrente ao elevado custo, por não apresentarem uma toxicidade significativa os rejeitos sólidos são levados para aterros. Esses podem deixar de ser destino se o gasto com o transporte elevar

muito os custos e conseqüentemente inviabilizar o projeto. Uma solução seria ter a disposição um terreno próximo que propicie o bombeamento do lodo líquido aos leitos de secagem.

3.2.9 Superfície de Terrenos

Um processo alternativo e interessante financeiramente é a aplicação em solos ou na agricultura, esse lodo proveniente das ETAs pode ser depositado em forma líquida, sólida após desidratação e até mesmo semi-sólida quando há apenas o adensamento. A forma em que será aplicado ao solo dependerá do meio de transporte empregado para o mesmo, o mais desejável é em forma líquida por ter um elevado teor de água, no entanto esse resíduo teria que ser bombeado e isso dificulta bastante (INGUNZA, 2006). O sulfato de alumínio como coagulante mais utilizado há a necessidade de avaliações quanto ao efeito do alumínio (Al), já que o mesmo afeta a disponibilidade de fósforo às plantas e claro que seu excesso deixa o pH do solo mais ácido ocasionando uma toxicidade a uma boa parte da vegetação cultivada (MOTA et al. 2005).

Segundo Barbosa (1997) o lodo oriundo das lavagens dos filtros da ETA Rio Descoberto (DF), que aplica sulfato de alumínio férrico como coagulante, centrifuga esse resíduo e o encaminha para a cascalheira, uma área desativada e degradada. Moreira (2009) desenvolveu um estudo nesta área degradada, onde constatou que a disposição do lodo organizou o bloqueio do Al trocável e do chumbo (Pb) antes presentes no solo, também proporcionou o transporte de nutrientes para os horizontes mais profundos do solo possibilitando a fixação da vegetação.

Em 2011 Moreira et al consideram o lodo de ETA como resíduo não inerte e harmonizável com seu uso na recuperação de áreas danificadas em regiões com particularidade geológicas e hidroquímicas aproximadas da área de cascalheira, local que procedeu o estudo. A aplicação desses resíduos na regeneração nessas áreas se torna aperfeiçoada se houver a utilização de resíduos orgânicos simultaneamente (TEIXEIRA et al., 2005), resíduos orgânicos gerados pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), substância rica em matéria orgânica, componentes como nitrogênio e fósforo e com grande potencial agrônomo (PEDROZA et al., 2006; TAMANINI et al., 2008) e esse mesmo resíduo se higienizado por processo alcalino tem elevada capacidade de corrigir a acidez do solo (SERRAT et al., 2011).

Vários estudos nessa área de aplicação desse lodo residual de ETA acabam esbarrando no alto custo do transporte e na pouca aceitação por parte dos lavradores travando um maior desenvolvimento dessa técnica de aplicação.

3.2.10 Subproduto

Com a crescente geração de lodo a disposição adequada fica grandemente difícil, principalmente em cidades cuja densidade demográfica é grande a utilização do lodo ou da torta para fins diversos se torna uma solução viável. As diferentes aplicações variam de acordo com as características, podendo ser empregado na fabricação de tijolos refratários, agente plastificador em cerâmicas, na produção de cimento e na pavimentação de estradas. Todos os produtos relacionados têm em sua composição os elementos encontrados no lodo, como por exemplo, o cimento que é composto principalmente pelo CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, matérias primas utilizadas na sua produção contêm óxidos na configuração de carbonatos ou sulfatos.

3.3 Cerâmica Vermelha

Responsável por reciclar a maior parte dos resíduos industriais e urbanos gerados, a indústria cerâmica tem a facilidade de incorporar esses resíduos na produção de vários produtos sem que se alterem suas propriedades mecânicas e físicas. Tendência em vários países, o emprego dos rejeitos industriais foi impulsionado por dois fatores importantes que obrigaram ao desenvolvimento de novas técnicas e são eles: o aumento do volume dos resíduos e o esgotamento de matéria prima (BALDO, WENDER, 1998). A inclusão dos resíduos em cerâmica vermelha é uma solução ambientalmente correta e indicada para sistemas que produzem resíduos em larga escala (VIEIRA et al., 2006), a vasta composição das argilas possibilita a introdução de diversos resíduos modificando muito pouco os produtos finais (SEGADÃES et al., 2004).

O setor cerâmico é muito amplo e dividido em segmentos, um desses segmentos é a cerâmica vermelha, produtos que possuem uma cor avermelhada após o tratamento térmico, onde ocorre uma oxidação de composto de ferro, a intensidade da pigmentação vermelha indica a quantidade de óxido de ferro que constitui o produto. No meio de tantos produtos do segmento os destinados à construção civil, os que mais se destacam são os tijolos maciços,

blocos cerâmicos estruturais e de vedação, telhas, manilhas, lajota para piso (JORDÃO, ZANDONADI, 2002).

Segundo Rincón et al (2004) a escolha do resíduo pode simplificar o processamento colaborando na melhoria da massa argilosa na sua trabalhabilidade e ainda elevar a qualidade do produto final. As vantagens de agregar resíduos indústrias nas massas cerâmicas vermelhas regularmente possibilitam a reciclagem e a inertização dos resíduos, contribuindo na preservação do meio ambiente e de matéria-prima argilosa. A etapa final do processamento da cerâmica vermelha requer um tratamento térmico nomeado de queima, fundamental para a solidificação das partículas para que se obtenha a porosidade compatível com o desempenho técnico determinado para cada tipo de produto (MONTEIRO; VIEIRA, 2004). De acordo com Vieira et al (2003) o processo de queima da cerâmica alcança temperaturas na grandeza de 600°C a 1000°C.

Assim sendo, produtos que sejam processados com resíduos tóxicos e perigosos em sua constituição podem ser estabilizados ou fixados na fase vítrea criada por reações dos alumino silicatos com os óxidos fusíveis, essencialmente K_2O e Na_2O . A área que mais há reaproveitamento sem dúvidas é a construção civil, devido à variedade dos materiais usados e a quantidade que é necessária para suprir a demanda cada vez maior (OLIVEIRA et al., 2006; RAUPP-PEREIRA et al., 2006).

A construção civil expõe um potencial reciclador de resíduos enorme, e a incorporação desses na argila para produção de materiais cerâmicos sustentáveis torna-se um grande atrativo (ANDRÉS, 2004; JONKER, POTGIETER, 2004). Os rejeitos industriais que apresentam aplicabilidade na indústria cerâmica são oriundos dos mais variados setores entre eles a indústria de vidros, as siderúrgicas, rejeitos de pedras ornamentais, derivados de petróleo, os curtumes, entre outros (DONDI et al., 1998; REIS et al., 2007). Menezes et al (2002) menciona a disponibilidade em literaturas, uma classificação específica de resíduos e sua introdução em cerâmicas vermelhas, sendo subdivididas em quatro categorias onde se tem resíduos combustíveis, cinzas volantes, resíduos fusíveis e resíduos redutores de plasticidade e plastificantes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar os objetivos específicos proposto nesse trabalho, utilizou-se o lodo proveniente dos decantadores do sistema de tratamento de água do Rio Formiga/ SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) localizado no município de Formiga-MG, e a argila proveniente da cidade de Campo Belo-MG utilizada pela indústria na fabricação dos tijolos. Buscando uma caracterização da composição do lodo proveniente da ETA e da argila realizou-se uma análise quantitativa para determinar os principais óxidos.

4.1 Preparação das massas de lodo e argila

Antes de dar início a confecção dos corpos de prova realizou-se uma caracterização da argila e do lodo difração de X no aparelho da marca Panalytical modelo Zetium de acordo com a FIG 9. Na composição dos corpos de prova desse estudo, determinaram-se vários teores de incorporação do lodo na massa de argila. Para se obter uma mistura mais homogênea, secou os materiais de forma natural seguindo de trituração até se obter um pó fino. Após a secagem natural, moeu-se o lodo e a argila com o auxílio de um martelete e logo em seguida realizou-se uma mistura entre eles, respeitando os teores de 50% de lodo previamente desidratado, 5% de lodo desidratado e calcinado, 5% de lodo desidratado, 1% de lodo desidratado. Criou-se 3 corpos de prova para cada percentagem de lodo a fim de equiparar com os 3 corpos de prova em branco no qual não houve adição do rejeito (0%) que representará o tijolo feito apenas de argila conforme a indústria produz. Nesta etapa introduziu-se água produzindo uma massa úmida e depositando nas formas tubulares aplicando uma forma a fim de prensar a mistura.

Figura 6 - Espectrômetro Zetium



Fonte: Panalytical, 2018.

4.2 Corpos de prova

Para a confecção dos corpos de provas obedeceu-se às mesmas normas que regem a fabricação de tijolos maciços as quais padronizam métodos e características dos materiais, equipamentos entre outros. As ABNT NBR 7170, NBR 8041 e NBR 6460 que respectivamente dita sobre a Especificação, Padronização e o Método de Ensaio.

De acordo com a NBR 7170 o tijolo maciço é o “Tijolo que possui todas as faces plenas de material, podendo apresentar rebaixos de fabricação em uma das faces de maior área”. O tijolo maciço é fabricado com argila, conformado por extrusão ou prensagem, queimado a temperatura que permita ao produto final atender às condições determinadas pela norma e seguir uma classificação de acordo com a resistência a compressão, sendo A, B e C, onde tem-se:

- ❖ Categoria A resistência à compressão de 1,5 MPa;
- ❖ Categoria B resistência à compressão de 2,5 MPa;
- ❖ Categoria C resistência à compressão de 4,0 MPa.

Segundo a NBR 15270 que objetiva determinar a resistência à compressão dos blocos cerâmicos estruturais e de vedação. Seguindo a aparelhagem necessária para a execução do ensaio é composta de uma prensa com a qual se executa o ensaio, devendo satisfazer as seguintes condições:

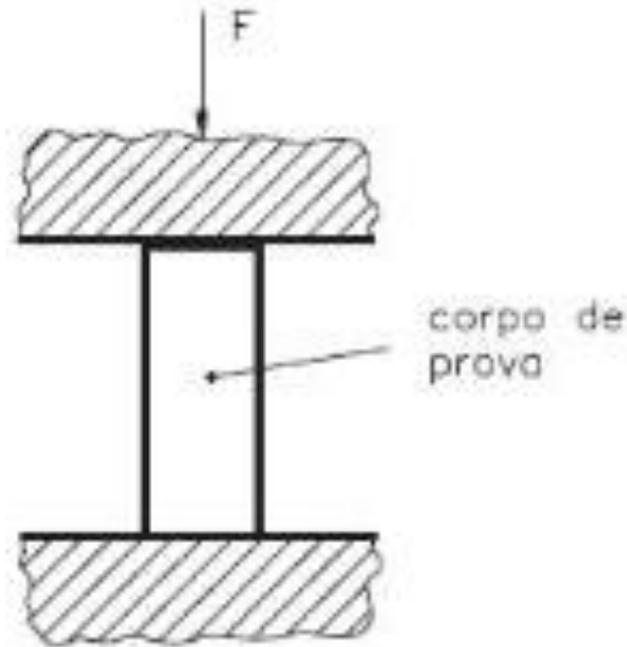
- ❖ Ser provida de dispositivo que assegure a distribuição uniforme dos esforços no corpo-de-prova;
- ❖ Ser equipada com dois pratos de apoio de aço, um dos quais articulado, que atue na face superior do corpo-de-prova;
- ❖ As superfícies planas e rígidas dos pratos e placas de apoio não devem apresentar desníveis superiores a 8 x 102 mm para cada 4 x 102 mm;
- ❖ As placas monolíticas de aço devem ter espessura de no mínimo 50 mm;
- ❖ Ter instrumentos para permitir a leitura das cargas com aproximação de $\pm 2\%$ da carga de ruptura.

A prensa utilizada foi WAW-1000 que apresenta as seguintes especificações:

- ❖ Carga máxima suportada para teste 1000 KN
- ❖ Poder de teste de precisão: classe 0.5
- ❖ Testes de distância do poder: 2%-100% FS
- ❖ Distorção de testes da precisão: $\pm 1\%/\pm 5\%$.
- ❖ Distorção escala de teste: 2%-100% gama completa de extensômetro
- ❖ Medição de deslocamento: 0.01mm
- ❖ Máximo liftspeed de placa de teste: 70 mm/min
- ❖ Curso do pistão: 150 mm
- ❖ Máxima tensão distância: 700 mm
- ❖ Compressão distância: 0-470 mm
- ❖ Diâmetro da braçadeira de amostra redonda: 20-60 mm
- ❖ Braçadeira espessura da amostra plana: 0-40 mm
- ❖ Bomba de óleo de alimentação: 1.5 KW

Segundo Soares (2009) nos ensaios mecânicos de compressão, os corpos de prova recebem uma força axial comprimindo uniformemente que tende ao encurtamento do corpo conforme demonstra a FIG. 9.

Figura 7 - Ensaio de compressão



Fonte: Soares, 2009

O ensaio de compressão foi executado no laboratório Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG. Para realizar os testes utilizou os corpos de provas confeccionados, uma prensa da marca Solocap de acordo com a FIG 10. Se por acaso não houver mensuração da força exercida pela prensa automatizada usada, o ensaio precede por meio de uma prensa manual, cujo movimento do embolo é realizado por meio de uma alavanca até que se tenha a ruptura do corpo de prova (FIG. 11).

Essa prática é mais utilizada em materiais frágeis, uma vez que a fase elástica desses materiais é pequena não sendo eficiente determiná-la. Para as cerâmicas a avaliação é determinada pelo seu limite de resistência à compressão, calculado pela carga máxima suportada pelo corpo de prova até sua ruptura (SOARES, 2009).

Figura 8 - Máquina Universal de Ensaio Automática



Fonte: Manual do Proprietário.

Figura 9 - Prensa Manual



Fonte: Autor, 2018

4.3 Sinterização dos corpos de prova

Os corpos de prova confeccionados seguiram os teores de lodos e argila pré estabelecidos no tópico anterior e após secagem a temperatura ambiente por 24 horas, os mesmos foram submetidos a um tratamento térmico (queima) a temperaturas entre 850°C a 1050°C por 2 horas a fim de eliminar toda a umidade e fundir os compostos fusíveis estabilizando substâncias tóxicas tornando a cerâmica inerte. As temperaturas executadas são típicas e usuais para a queima de produtos de cerâmica vermelha de acordo com a FIG 13.

Figura 10 - Corpos de Prova na queima no forno.



Fonte: Autor, 2018

4.4 Caracterização física dos corpos de prova sinterizados

Os corpos de prova sinterizados foram submetidos à compressão mecânica até sua ruptura, a agregação de pó fino ou fibras é denominada de sinterização. A sinterização acontece a partir da aglomeração do pó ou fibras, submetidos a temperaturas suficientes para que haja ligação entre si, mudanças ocasionadas nas propriedades estruturais das moléculas resultam na modificação de tamanho, forma e quantidade de porosidade à medida que a

temperatura vai se aproximando do ponto de transferência de massa que viabiliza o processo da sinterização (BROPHY et al., 1977).

Segundo a NBR 15270 o estudo das forças internas que atuarão sobre a estrutura a serem construídas, as tensões internas que se originarão e também dos materiais de construção que são capazes de resistir a essas forças e tensões. Por isso é fundamental conhecer as propriedades, características e qualidades físico-químicas dos materiais que se possa escolher aquele que melhor atende as necessidades do projeto estrutural.

Para atender aos parâmetros deve-se ficar atento as características visuais como uniformidade da cor, presença de fissuras aparentes, quebras, irregularidades nas dimensões do produto e verificando as certificações dos ensaios executados.

Figura 11 - Solocap



Fonte: Autor, 2018.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e analisados na forma de tabelas e gráficos os resultados experimentais sobre os corpos de provas confeccionados a partir das misturas de argila e lodo, onde se usou variadas concentrações de argila e lodo desidratado, argila com lodo calcinado (1000°C durante 3 horas). As amostras testadas estão representadas na TAB 1.

Tabela 1 - Composição dos corpos de prova

Amostras	Lodo (%)	Argila (%)
A 1 – 00 DES	0,0	100,0
A 1 – 01 DES	1,0	99,0
A 1 – 05 DES	5,0	95,0
A 1 – 05 CAL	5,0	95,0
A 1 – 50 DES	50,0	50,0
A 2 – 00 DES	0,0	100,0
A 2 – 01 DES	1,0	99,0
A 2 – 05 DES	5,0	95,0
A 2 – 05 CAL	5,0	95,0
A 2 – 50 DES	50,0	50,0

Fonte: Autor, 2018.

5.1 Caracterização da argila

A caracterização da argila que foi utilizada se deu por difração de X no aparelho da marca Panalytical modelo Zetium por meio de uma amostra calcinada a 1000°C por 1 hora a fim de eliminar toda matéria orgânica, onde obtemos os seguintes dados descritos na (TAB. 2).

Tabela 2 - Caracterização da argila

Composição química	Concentração
Silício (SiO ₂)	52,85 %
Alumínio (Al ₂ O ₃)	28,85 %
Ferro (Fe ₂ O ₃)	6,36 %
Cálcio (CaO)	0,43 %
Magnésio (MgO)	0,35 %
Enxofre (SO ₂)	0,04 %
Potássio (K ₂ O)	2,77 %
Perda ao Fogo	8,35 %

Fonte: Autor, 2018.

5.2 Caracterização do lodo

A caracterização do lodo da ETA se deu por difração de X no aparelho da marca Panalytical modelo Zetium por meio de uma amostra calcinada a 1000°C por 1 hora a fim de eliminar toda matéria orgânica presente na composição, onde extraiu os dados descritos na TAB. 3.

Tabela 3 - Composição presente no lodo calcinado

Composição química	Concentração
Silício (SiO ₂)	27,79%
Alumínio (Al ₂ O ₃)	34,02%
Ferro (Fe ₂ O ₃)	12,24%
Cálcio (CaO)	0,19%
Magnésio (MgO)	0,17%
Sódio (Na ₂ O)	0,04%
Enxofre (SO ₂)	0,19 %
Potássio (K ₂ O)	0,59%
Titânio (TiO ₂)	0,58%
Perda ao Fogo	24,38%

Fonte: Autor, 2018.

Analisando os dados apresentados, destaca-se com 34,02%, o óxido de alumínio, isso se deve a utilização do sulfato de alumínio como agente coagulador pela estação de tratamento onde houve a coleta do lodo. Outro componente em destaque é o dióxido de silício, um dos óxidos mais abundantes na crosta terrestre encontrados na forma de areia,

pedras entre outros, essa concentração se mostra presente pelo fato da água coletada pelo sistema de tratamento ser proveniente de águas superficiais.

5.3 Ensaio mecânicos de compressão

A prensa hidráulica Solocap utilizada no laboratório 7 do Centro Universitário de Formiga não registrou a pressão, por não haver resistência suficiente à compressão na amostra.

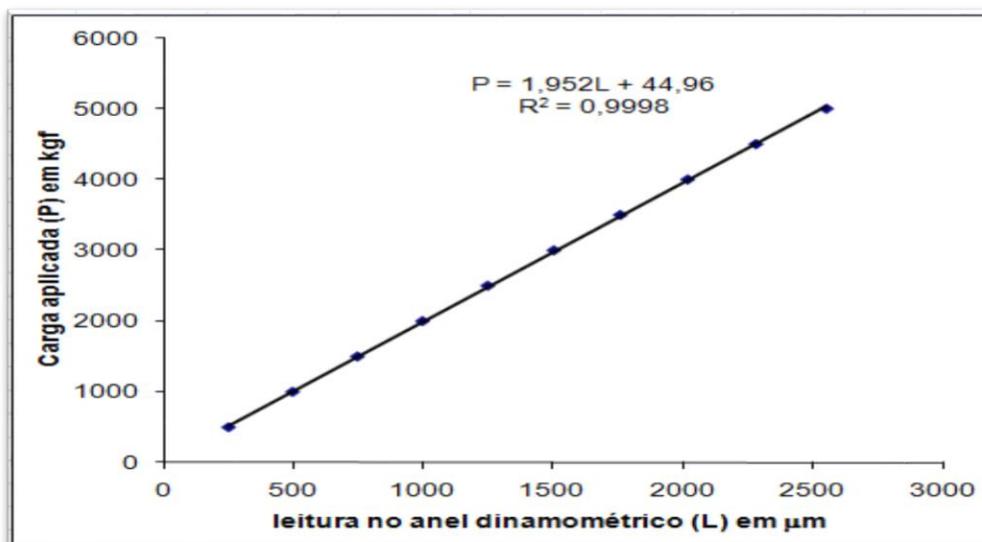
Devido a essa circunstância apresentada realizou os ensaios numa prensa manual Solotest (FIG.15), na qual por meio de um manômetro afere-se a deformação do anel dinamométrico ao comprimir o corpo de prova. Tal deformação possui uma curva de calibração que por meio dessa pode se deduzir a força axial exercida sobre os corpos de prova (FIG 16).

Figura 12 - Prensa manual Solotest



Fonte: Autor, 2018

Figura 13 - Curva de Calibração



Fonte: Manual de instrução, 2018.

No momento da fabricação dos corpos de provas pôde se observar que a liga composta por argila e lodo apresentava um aspecto grosseiro, com a granulometria alta, o que dificultou a homogeneização esperada para uma massa cerâmica, notando uma fragilidade aparentemente visível ao desenformar os corpos de prova. E essa vulnerabilidade foi comprovada após os ensaios efetuados na prensa manual Solotest. A prensa registra a deformação do anel dinamométrico onde coletou os dados da TAB 4. A queima feita elevou a temperatura muito rapidamente, o que pode ter colaborado a fragilizar os exemplos.

Tabela 4 – Deformação do anel dinamométrico da Amostra 1

Concentração do lodo	Deformação aferida
0,0%	5
1,0% desidratado	0
5,0% desidratado	3
5,0% calcinado	3
50% desidratado	5

Fonte: Autor, 2018

Utilizando a equação (3) da reta extraída da figura 16 e introduzindo os resultados obtidos por meio da compressão dos corpos de prova converteu-se a deformação do anel

dinamométrico para a medida de carga exercida quilograma-força (Kgf) e transformando para unidade de pressão Mega Pascal (MPa) através da equação (4), unidade referenciada pela NBR 7170 (TAB 5).

$$F = 1,952 * L + 44,96 \quad (3)$$

Onde:

L: Deformação do anel dinamométrico aferido pelo manômetro

$$P(MPa) = \frac{F}{A} * 0.098067 \quad (4)$$

Onde:

F: carga em Kgf (encontrada através da equação 3)

A: Área do circular do cilindro (Πr^2)

Tabela 5 – Valores da carga (Kgf) e pressão (MPa) Amostra 1

Concentração de lodo	Carga em Kgf	Pressão em MPa
0,0 %	54,72	0,4272473
1,0 % desidratado	44,96	0,3510424
5,0 % desidratado	50,816	0,3967653
5,0 % calcinado	50,816	0,3967653
50,0 % desidratado	54,72	0,4272473

Fonte: Autor, 2018

Após a realização dos ensaios de compressão na amostra 01 notou-se a necessidade de modificar o processo de fabricação dos corpos de prova como a queima e a granulometria. Na etapa da queima utilizou-se um forno doméstico com alimentação a gás (Gás Liquefeito de Petróleo - GLP) por duas horas (FIG. 17) e para alcançar uma granulometria menor, mais fina, processou-se a argila e o lodo num liquidificador por 10 minutos cada uma das concentrações. Após atingir o refinamento das matérias primas adicionou água, onde

presenciou uma mistura mais homogênea e mais viscosa. Analisando visualmente os corpos de prova da amostra 02, logo após a secagem, constatou uma consistência melhor e após efetuar os testes de compressão conseguiu confirmar a melhoria dos corpos de prova conforme a TAB 6.

Figura 14 - Forno a gás utilizado na queima



Fonte: Autor, 2018.

Tabela 6 – Valores da Amostra 2

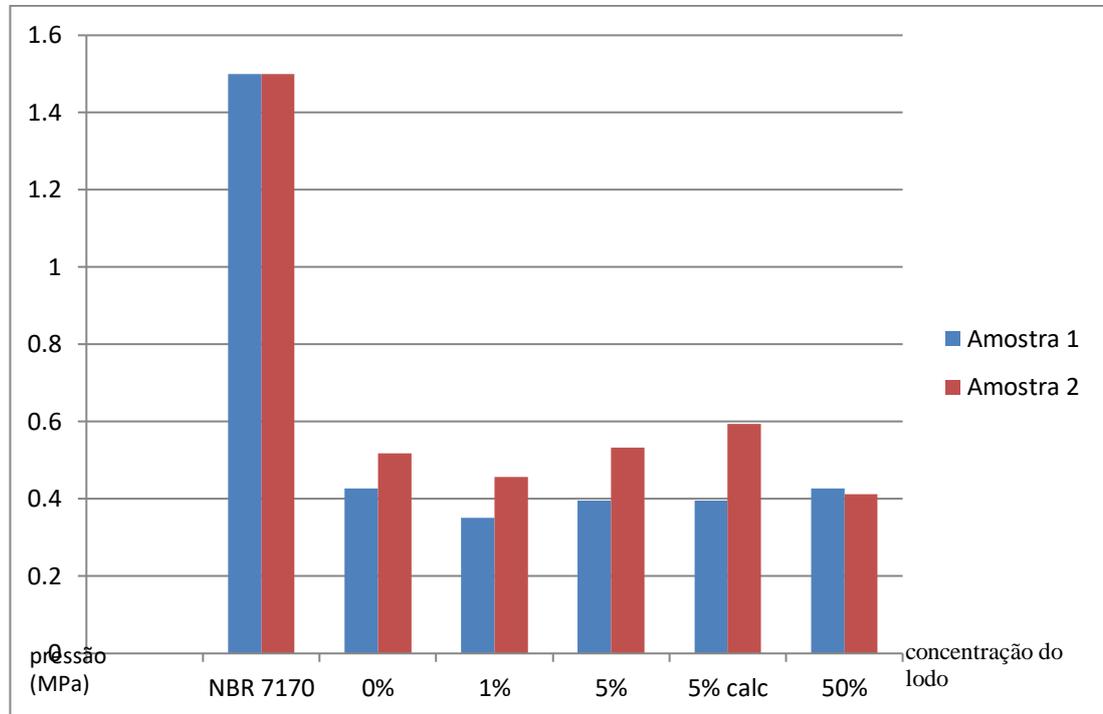
Concentração de lodo	Deformação aferida	Carga em Kgf	Pressão em MPa
0,0%	11	66,432	0,5186932
1,0 % desidratado	7	58,624	0,4577293
5,0 % desidratado	12	68,384	0,5339342
5,0 % calcinado	16	76,192	0,5948982
50,0 % desidratado	4	52,768	0,4120063

Fonte: Autor, 2018

Porém, mesmo com as melhorias observadas a adição do lodo no processo de fabricação de cerâmicas vermelhas, no caso tijolos maciços, não atende tecnicamente as especificações determinadas pela NBR 7170, na qual classifica os tijolos maciços de acordo com sua resistência à compressão até o momento de ruptura, sendo a carga mínima de 1,5 MPa. Desse modo o projeto de introduzir o lodo, produzido pelas ETAs, nas indústrias de

cerâmicas vermelhas se torna inviável pela fragilidade apresentada pelos corpos de prova conforme foi analisado na FIG 18.

Gráfico 1 - Gráfico comparativo entre o valor mínimo e os valores encontrados.



Fonte: Autor, 2018.

As características Físico-Mecânicas apresentadas pelos corpos de prova produzidos com a combinação lodo e argila podem ter sido influenciadas pelas temperaturas de queimas, que deveriam estar entre 950°C e 1050°C, já que não houve um controle rigoroso da temperatura devido a algumas limitações. As partículas de lodo incluídas na massa de argila favoreceram a fratura do corpo ocasionando a diminuição dos valores de tensão à ruptura por compressão, tamanha vulnerabilidade pode ser atribuída a alta concentração de óxido de alumínio presente no lodo.

De acordo com Teixeira et al (2006) o lodo de ETA pode ser introduzido em massa cerâmica usada para produzir tijolos e telhas. A incorporação dos lodos, em geral, piora as propriedades físicas e tecnológicas do material cerâmico e os resultados obtidos para o lodo da ETA que usa o sulfato de alumínio foram sempre piores que os com resíduos da ETA que utiliza sulfato de ferro

6 CONCLUSÃO

No Brasil, os resíduos provenientes das ETAs precisam receber um olhar mais crítico e ser analisado devidamente como as normas que legislam esse descarte, expandindo os aspectos relativos ao conhecimento sobre as características físicas, químicas, biológicas, sobre as condições operacionais e suas melhorias, as condições e periodicidade de limpeza de filtros e decantadores, os impactos ambientais do lançamento desses resíduos sem os devidos tratamentos em águas superficiais e o tratamento dos resíduos e disposição final do mesmo.

A administração completa desse processo nas unidades de tratamento pode ser útil para minimizar a água usada na limpeza dos filtros e decantadores, conseqüentemente reduzir a geração de resíduos e também reintroduzir a água dessas lavagens novamente no processo que gerará uma economia significativa de água.

Ao destinar o lodo proveniente das ETAs para introdução de porcentagens nas massas argilosas notou uma mudança tanto nos aspectos visuais como coloração e também nos ensaio físico de compressão, os resultados apresentados confirmam a impossibilidade do encaminhamento desse resíduo às fabricas de cerâmicas vermelhas para inclusão em suas massas argilosas.

Para trabalhos futuros sugere-se que sejam desenvolvidos novos corpos de prova confeccionados por meio de extrusão e prensagem hidráulica a fim de aprimorar as cerâmicas vermelhas e possa se atingir resultados satisfatórios.

A maior relevância desse trabalho é para preservação dos corpos hídricos que recebe de forma incorreta, na maioria das vezes, esse lodo proveniente das ETAs. Com a integração desse lodo nas matérias-primas previne se uma possível contaminação do meio ambiente e minimiza a extração de recursos naturais para fabricação de cerâmica assim como a utilização do lodo, como agregado na indústria cimenteira, devido à presença em sua composição de óxidos como SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , matérias primas utilizadas na sua produção

REFERENCIAS

ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. (2013). **Riscos da destinação de lodos de ETAs - Leis 9.605/1998 e 12.305/2010**. In: XVII Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. 43º Assembleia nacional do ASSEMAE, de 19 a 24 de maio de 2013, Vitória, ES, Brasil, VII-28, 2013. 13p

_____. **C. L. Ecoeficiencia de Sistemas de Tratamento de Agua à Luz dos Conceitos da ISO 14.001**. 2008. 248 f. Tese (Doutorado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2008.

ANDRÉS, A.; DIAZ, M. C.; COZ, A.; VIGURI, J. R.; Irabien, A. (2003). **Utilisation of waste materials in clay building bricks. Anais do Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology REWAS**, Madrid, p.171-181.

ARAÚJO, L. C., **Desperdício de Água no Município de Itapororoca – PB** (uma proposta de conscientização ambiental). Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - **ABNT NBR 15270-1: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos**, Rio de Janeiro, RJ (2005).

_____. **ABNT NBR 15270-2: Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos**, Rio de Janeiro, RJ (2005).

_____. **ABNT NBR 15270-3: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, RJ (2005).

_____. **ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ (2004) 71 p.

AWWA Research Foundation. **Water treatment plant waster management**, Denver, c1987.

_____. Disposal of Wastes From Water Treatment Plants: part 1. **Journal AWWA**, v. 61, n. 10, 1969, p. 541 – 566.

_____. Committee Report: Water Treatment Plant Sludges – An Update of the State of the Art: part 2. **JAWWA**, v. 70, n. 10, 1978(b), p. 548 – 554.

_____. An Assessment of Cropland Application of Water Treatment Residuals. USA: AWWARF, 1995.

_____. Disposal of Wastes From Water Treatment Plants: part 1. **JAWWA**, v. 61, n. 10, 1969(a), p. 541 – 566.

_____. Committee Report: Water Treatment Plant Sludges – An Update of the State of the Art: part 1. **JAWWA**, v. 70, n. 9, 1978(a), p. 498 – 503.

BARBOSA, R. M.; POVIMELLI, J.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E. L. G. A Toxicidade de Despejos (Lodos) de Estações de Tratamento de Água à *Daphnia similis* (Cladocera, Crustácea). **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Alegre, RS. 2000.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 21, 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

BARROSO, M. M. **A influência das micro e macropriedades dos lodos de estações de tratamento de água no desaguamento por leito de drenagem**. 249 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – EESC, USP, São Carlos-SP. 2007.

BIDONE, F.; SILVA, A. P.; MARQUES, D. M. Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) – Desidratação em leitos de Secagem e Codisposição em Aterro Sanitário. In: ANDREOLI, C. V. (Org.). **Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. cap. 9.

BISHOP, S. M. et al. Testing of alum recovery for solids reduction and reuse. **Journal AWWA**, Denver, p. 76-83, jun.1987.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.357. Classifica das águas doces, salobras e salinas no território nacional. **Diário Oficial da República**, Brasília, 2005.

_____. Ministério da Saúde. Portaria 518. Normas de Qualidade da Água para Consumo Humano. **Diário Oficial da República**, Brasília, 2004.

_____. Congresso Nacional. Lei n. 9605 de abril de 1998. Dispõe sobre Sanções Penais e Administrativas Derivadas de Condutas e Atividades Lesivas ao Meio Ambiente. **Diário Oficial da República**, Brasília, 1998.

BRATBY, J. **Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment**. 2. ed. Londres: IWA Publishing, 2006.

BROPHY, J.R.; ROSE, R.M; WULFF, J. **Ciências dos materiais**. vol 2 – Prop. Termodinâmicas. Págs 114 à 117. Livros técnicos e científicos, Rio, 1977.

Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA - MG, **Tratamento da Água**. Disponível em <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agua-de-qualidade/tratamento-da-agua>>. Acesso em 14 de abril de 2018.

COLDEBELLA, P. F.; et al; Avaliação da semente de moringa oleífera lem em pó e em soluções aquosa e salina no tratamento de água superficial, **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves – RS, 2013.

CORDEIRO, J. S. Gerenciamento de Lodo de ETAs – **Remoção de água, através de leitos de secagem e codisposição da fase sólida em matrizes de cimento e resíduos da construção civil**. São Carlos: UFSCar / FINEP: 2000. 145 p. Relatório Técnico PROSAB 2

_____. O Impacto Ambiental Provocado pela Indústria da Água. **Revista Saneamento Ambiental**. nº 56, Março/Abril 1999.

CRUZ, J. G. H. et. al; **XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campo Grande – MS, 2005.

DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; M.; LUCA, S. J. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. 1. ed. São Carlos – SP: RIMA, 2001. v. 1. p. 155.

DI BERNARDO. L; DANTAS. A. D., **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Vol 1 e 2. 2ªed. Editora Rima, São Carlos, 2005.

DONDI, M.; FABBRI, B.; MARSIGLI, M. **Resenha das experiências de reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos**. **Cerâmica Informação, Faenza**, 1 (1): 17-30. 1998.

_____. **Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A Review**. **Tile & Brick International**,13 (3): 218-225. 1997a.

FERREIRA FILHO, S. S. e SOBRINHO, P. A., Considerações sobre o tratamento de lodos de estações de tratamento de água. **Revista Engenharia Sanitária e ambiental**, Vol 3, nº 3 e 4, 1998.

FERREIRA, P. C.; PIAI, K. A.; TAKAYABAGUI, A. M. M.; SEGURA-MUÑOS, S. I. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rlae/v16n1/pt_22.pdf. Acesso em: 19 ago. 2018.

GAUTO, M. A; ROSA, G. R. Tratamento de água. In:____. **Processos e operações unitárias da indústria química**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011. cap. 1, p. 11- 18.

GUERRA, R. C.; ANGELIS, D.F.D. **Classificação e biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro sanitário**. **Arquivos do Instituto Biológico**. v.72, n.1, p.87-91, 2005.

GUIMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA-Brasília**. **Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos**, Publicação PTARH.DM-107/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF. 118 p.

JONKER, A.; Potgieter, J. H. **An evaluation of selected waste resources for utilization in ceramic materials applications**. **J Eur Ceram Soc**, 25:3145–9, 2005.

KNOCKE, W. R.; WAKELAND, D. L. Fundamental Characteristics of Water Treatment Plant Sludges. **JAWWA**, v. 75, nº. 10, 1983, p. 516 – 523.

KETCHUM, L. M. e HIGGINS, T. E., Automation of phosphorus removal systems, **Journal WPCF**, vol 51, n. 8, August 1979, p 2139 – 2154.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. Campinas (SP): Átomo, 2010.

_____. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas-SP: Editora Átomo. 2005. 444 p

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H.C. (). O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6: 303-313 2002.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. **Influence of firing temperature on the ceramic properties of clays** from Campos dos Goytacazes, Brazil. *Applied Clay Science*, 27: 229-234. 2004.

MOREIRA, R.C.A.; GUIMARÃES, E.M.; BOAVENTURA, G.R.; MOMESSO, A.M.; LIMA, G.L. (2009) **Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada**. *Química Nova*, v. 32, n. 8, p. 2085-2093.

MOREIRA, R.C.A.; BOAVENTURA, G.R.; NUNES, S.A; PINHEIRO, L.A; NASCIMENTO, C. T. C.; SILVA, D.R.; LIRA, C.P. (2011) **Geochemical and geophysical study in a degraded area used for disposal of sludge from a water treatment plant**. *Applied and Environmental Soil Science*, v. 2011.

MOTTA, A.C.V.; HOPPEN, C.; ANDREOLI, C.V.; TAMANINI, C.R.; FERNANDES, C.V.S.; PEGORINI, E.S.; SOCCOL, V.T. (2005) **Parecer técnico. Disposição final de lodos de estação de tratamento de água**. Curitiba. UFPR, 43 p

NEUBAUER, W. K. Waste Alum Sludge Treatment. **JAWWA**, v. 60, n. 7, 1968, p. 819 – 826.

OLIVEIRA, G. E.; J N. F. Holanda. **Reaproveitamento de Resíduo Sólido proveniente de setor siderúrgico em Cerâmica Vermelha**. *Cerâmica*, 50 (2004) 75 – 80

PEDROZA, J.P.; HAANDEL, A.C.; BELTRÃO, N.E.M.; DIONÍSIO, J.A.; DUARTE, M.E.M. (2006) Qualidade tecnológica da pluma do algodoeiro herbáceo cultivado com biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 586-592.

PESQUISA nacional de saneamento básico 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 26 p. Disponível em <:https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=283636>. Acesso em 21 abr. de 2018.

PIOTTO, Z. C. et al. **Recuperação de coagulante de lodos de estação de tratamento de águas**. In: REALI, M. A. P. (coord.). NOÇÕES GERAIS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. p. 21-39.

PIOTTO, Z. C. **Regeneração do potencial de coagulação de lodos químicos de estações de tratamento de águas para reutilização no tratamento físico-químico de diferentes tipos de**

águas residuárias. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, 1995.

RAUPP-PEREIRA, F.; HOTZA, D.; Segadães, A.M.; LABRINCHA, J.A. **Ceramic fomulations prepared with industrial wastes and natural sub-products.** *Ceramic Industrial*. 32:173-179, 2006.

REALI, M. A. P. **Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs.** In: REALI, M. A. P. (coord.) *Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA.* Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** São Paulo: Editora Blücher, 2001.

_____. **Água: Métodos e tecnologias de tratamento.** 1. Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 340p.

_____. **Tratamento de lodos de estação de tratamento de água.** São Paulo: Edgard Blucher. 2001. 102 p.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental.** Bookman, 2004.

SARON, A.; LEITE, V. M. B. **Quantificação de Lodo em Estação de Tratamento de Água.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

SEGADÃES, A.M.; KNISS, C.; ACCHAR, W.; KUHNEN, N.C.; Hotza, D. **Pre-laboratory of the reuse-potential of industrial wastes in clay-based products.** *Ceram. Int.*, 503-510, 2004.

SERRAT, B.M.; SANTIAGO, T.R.; BITTENCOURT, S; MOTTA, A.C.V.; SILVA, L.A.T.P.; ANDREOLI C.V. Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina: estudo comparativo de curvas de pH de solos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 2011, n.19, p. 30-37.

SOARES, Mychellangelo dos Santos. **Ensaio de Compressão Bloco Cerâmico.** Marabá-pa: Faculdade de Engenharia de Materiais, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA4hsAI/ensaio-compressao-bloco-ceramico>>. Acesso em: 31 maio 2018.

SUTHERLAND, E. R. Treatment Plant Waste Disposal in Virginia. **JAWWA**, v. 61, n. 4, 1969, p. 186 – 189.

TAMANINI, C.R.; MOTTA, A.C.V.; ANDREOLI, C.V.; DOETZER, B.H. (2008) **Land reclamation recovery with the sewage sludge use.** *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 51, n. 4, p. 643-655.

TEIXEIRA, S.T.; MELO, W.J.; SILVA, E.T. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2005, v. 40, n. 1, p. 91-94.

TEIXEIRA, S. R.; SOUZA, S. A.; SOUZA, N. R.; ALÉSSIO, P.; SANTOS, G. T. A.; **Cerâmica** 52, 323 (2006) 215-220.

VIEIRA CMF, SANCHEZ RJ, MONTEIRO SN. **Microstructure evolution in kaolinitic clay as a function of firing temperature.** *Interceram.* 24:268–71. 2006

YOUNG, E. F. **Water Treatment Plant Sludge Disposal Practices in the United Kingdom.** *JAWWA*, v. 60, n. 6, 1968, p. 717 – 732.

WENDER, A.A.; BALDO, B.B. **O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico- Parte II.** *Cerâmica Industrial, São Paulo*, 3 (1-2): 34-36. 1998.