



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
AMBIENTAL**

DIRCEANE DE QUEIROZ JUSTINIANO

**UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETA NA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS
CERÂMICOS PARA REVESTIMENTO APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**CAMPINA GRANDE-PB
2020**

DIRCEANE DE QUEIROZ JUSTINIANO

**UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETA NA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS
CERÂMICOS PARA REVESTIMENTO APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Tratamento de Água e Resíduos.

Orientador: Dr. Valderi Duarte Leite.

**CAMPINA GRANDE-PB
2020**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

J96u Justiniano, Dirceane de Queiroz.
Utilização de lodo de ETA na fabricação de materiais cerâmicos para revestimento aplicados na construção civil [manuscrito] / Dirceane de Queiroz Justiniano. - 2020.
87 p. : il. colorido.
Digitado.
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2020.
"Orientação : Prof. Dr. Valderi Duarte Leite, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."
1. Compósitos Cerâmicos. 2. Construção civil. 3. Lodo. I.
Título

21. ed. CDD 628.38

DIRCEANE DE QUEIROZ JUSTINIANO

UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETA NA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS
PARA REVESTIMENTO APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – PPGCTA, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Tratamento de Água e Resíduos.

Aprovada em: 22 de outubro de 2020.

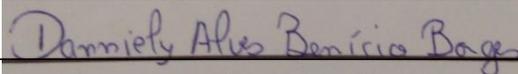
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Valderi Duarte Leite (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB



Prof. Dra. Catarina Simone Andrade do Canto (Avaliadora Interna)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Danniely Alves Benício Borges (Avaliadora Externa)
Centro Universitário de Patos (UNIFIP)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas, que em todos os momentos é o meu maior Mestre.

A minha FAMÍLIA, que sempre me deu todo apoio para seguir realizando meus sonhos, em especial meus pais Dirceu e Antonia, que contribuíram bastante para minha formação pessoal e profissional.

Ao meu esposo Alan, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos dessa caminhada. Aos meus filhos Maria Sophia e Vitor Silvestre por serem crianças abençoadas e tranquilas, me permitindo não desistir desse sonho.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

Ao meu orientador Dr. Valderi Duarte Leite, pelo suporte e atenção no que lhe coube, pelos seus ensinamentos, suas correções e incentivos.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por terem me feito aprender. Terão os meus eternos agradecimentos.

Agradeço o apoio do Laboratório de Solos do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Campina Grande, na pessoa do Sr. Amintas, sempre solícito em me ajudar.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Dedico esse trabalho a minha família, aos meus pais, que não mediram esforços para me ajudar nesta caminhada, sempre estiveram comigo em todas as minhas decisões, ao meu esposo Alan Silvestre e aos meus filhos Maria Sophia e Vitor Silvestre, razão pela qual luto todos os dias para me tornar uma pessoa melhor.

Os sonhos são como uma bússola indicando os caminhos que seguiremos e as metas que queremos alcançar. São eles que nos impulsionam, nos fortalecem e nos permitem crescer. Se os sonhos são pequenos, nossas possibilidades de sucesso também serão limitadas. Desistir dos sonhos é abrir mão da felicidade, porque quem não persegue seus objetivos está condenado a fracassar 100% das vezes.

(Augusto Cury).

UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETA NA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS PARA REVESTIMENTO APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

USE OF ETA SLUDGE IN THE MANUFACTURE OF CERAMIC COATING MATERIALS APPLIED IN CIVIL CONSTRUCTION

Dirceane de Queiroz Justiniano¹
Valderi Duarte Leite²

RESUMO

A destinação final dos resíduos produzidos nas Estações de Tratamento de Água é uma preocupação mundial, por isso, alguns estudos estão sendo realizados com a finalidade de buscar soluções economicamente viáveis e ambientalmente aceitáveis de descarte ou reutilização do lodo de ETA, onde o uso desses resíduos gerem algum bem ou benefício à população, sob os pontos de vista técnico, ambiental e econômico. Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo utilizar lodo de Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB para a fabricação de material cerâmico para revestimento a ser aplicado na construção civil, como tecnologia inovadora e sustentável ambientalmente. A metodologia do trabalho foi realizada em quatro etapas, sendo elas: pesquisa bibliográfica, a caracterização da área de estudo onde se coletou as amostras, apresentação dos procedimentos experimentais para desenvolvimento do produto e a avaliação do produto final produzido. Nos resultados estima-se que o volume gerado de lodo de ETA da cidade de Patos/PB daria para produzir cerca de 72 mil peças de cerâmicas de revestimento por dia. Os compósitos cerâmicos produzidos foram submetidos a análises de parâmetros específicos, como retração linear e volumétrica, massa específica aparente e absorção de água, e atenderam as exigências qualitativas sugeridas pela Associação de Normas Técnicas (NBR 13818:1997) - Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e Métodos de Ensaio. Portanto, os cerâmicos produzidos estão aptos a serem utilizados como revestimento na construção civil podendo ser usados sem ou com tratamento em suas superfícies, como resinas, selantes e vernizes aumentando ainda mais a resistência e durabilidade do produto, além de exaltar seu valor estético trazendo um aspecto de rusticidade.

Palavras-chave: Compósitos Cerâmicos. Construção Civil. ETA. Lodo.

¹ Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB. E-mail: dirceane@hotmail.com

² Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo – EESC/USP. E-mail: mangabeiraleite@gmail.com

ABSTRACT

The final destination of the waste produced at the Water Treatment Plants is a worldwide concern, some studies are being carried out with the purpose of seeking economically viable and environmentally acceptable solutions for disposal or reuse of the ETA sludge, where the use of these residues generates some good or benefit to the population, from the technical, environmental and economic points of view. Thus, the research aims to use sludge from the Water Treatment Station in the city of Patos/PB to manufacture ceramic material for coating to be applied in civil construction, as an innovative and environmentally sustainable technology. The methodology of the work was carried out in four stages, namely: the bibliographic review, the characterization of the study area where the samples were collected, presentation of the experimental procedures for product development and the evaluation of the final product produced. In the results, it is estimated that the volume generated of ETA sludge in the city of Patos/PB would produce about 72 thousand pieces of ceramic tiles per day. The ceramic composites produced were subjected to analysis of specific parameters, such as linear and volumetric shrinkage, apparent specific mass and water absorption, and met the qualitative requirements suggested by the Association of Technical Standards (NBR 13818: 1997) - Ceramic Plates for Coating - Specification and Test Methods. In conclusion, the ceramics produced are able to be used as a coating in civil construction and can be used without or with treatment on their surfaces, such as resins, sealants and varnishes, further increasing the product's resistance and durability, in addition to enhancing its aesthetic value. Bringing an aspect of rusticity.

Keywords: Ceramic Composites. Civil Construction. ETA. Sludge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	– Principais Tecnologias Brasileiras de Tratamento de Água para Consumo.....	26
Figura 02	– Material Cerâmico Aplicado na Construção Civil.....	44
Figura 03	– Tijolo Ecológico (Solo – Cimento).....	47
Figura 04	– Revestimento Cerâmico (Lajotas).....	49
Figura 05	– Mapa Ilustrativo do Estado da Paraíba com Destaque para o Recorte da Cidade de Patos/PB.....	51
Figura 06	– Estação de Tratamento de Água (ETA) Patos/PB.....	52
Figura 07	– Decantador de Médio Porte.....	52
Figura 08	– Decantador de Grande Porte.....	53
Figura 09	– Filtros.....	53
Figura 10	– Bombas e Controle de Distribuição de Cloro.....	54
Figura 11	– Cerâmica Santa Rosa Malta/PB.....	54
Figura 12	– Recipiente com Amostra de Lodo de ETA.....	55
Figura 13	– Solo Coletado.....	56
Figura 14	– Amostra de Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB pra Secagem por Evaporação Natural.....	56
Figura 15	– Amostra de Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB Desidratada Artificialmente e Através de Estufa.....	57
Figura 16	– Peneira 12Mesh.....	60
Figura 17	– Molde de Metal com Chapa Galvanizada.....	61
Figura 18	– Intervalos de Percentual de Argila e a Classificação do Solo Coletado em Malta/PB de acordo com a classificação de solos da EMBRAPA.....	68
Figura 19	– Compósitos cerâmicos úmidos.....	70
Figura 20	– Compósitos cerâmicos secos.....	70
Figura 21	– Classificação das Cerâmicas pelos Grupos de Absorção de Água.....	75
Figura 22	– Classificação por Grupos de Absorção de Água.....	75
Figura 23	– Compósitos Aplicados à Parede sem Tratamento na Superfície.....	76
Figura 24	– Compósitos Aplicados à Parede com Tratamento na Superfície.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	– Dados de alguns Parâmetros Físicos dos Lodos de Diversas Estações de Tratamento de Água.....	29
Tabela 02	– Dados de alguns Parâmetros Químicos dos Lodos de Diversas Estações de Tratamento de Água.....	30
Tabela 03	– Informações sobre Destino Final de Lodo de Estação de Tratamento de Água de alguns Estados Brasileiros.....	34
Tabela 04	– Indicadores do Delineamento Experimental Aplicado.....	60
Tabela 05	– Resultado do Teor de Umidade das Amostras do Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB com o Método de Desidratação por Evaporação Natural e o Uso de Estufa.....	65
Tabela 06	– Resultado do Teor de Umidade das Amostras do Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB, com o Método de Desidratação Artificial através do uso de estufa.....	66
Tabela 07	– Análise do Percentual de Matéria Orgânica Presente no Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB.....	66
Tabela 08	– Resultados da Análise Física do Solo (argila) da cidade de Malta/PB.....	68
Tabela 09	– Resultados da Análise Química do Solo (argila) da Cidade de Malta/PB.	69
Tabela 10	– Tabela Quantitativa dos Pesos dos Compósitos Úmidos e Secos.....	71
Tabela 11	– Retração Linear.....	72
Tabela 12	– Retração Volumétrica.....	73
Tabela 13	– Massa Específica Aparente.....	73
Tabela 14	– Absorção de Água.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AbH ₂ O	Absorção de Água pelo Compósito.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
Al	Alumínio.
ALAF	Água de Lavagem de Filtros.
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio.
Al ₂ (SO ₄) ₃	Sulfato de Alumínio.
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos.
Ca	Cálcio.
CAG	Antracito ou Carvão Ativado Granular.
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba.
CaO	Óxido de Cálcio.
cm	Centímetros.
CxLxE	Comprimento, Largura e Espessura.
C/N	Carbono/Nitrogênio.
Cp	Corpo de Prova.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente.
CSTR	Centro de Saúde e Tecnologia Rural.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio.
DQO	Demanda Química de Oxigênio.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
ETA	Estação de Tratamento de Água.
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto.

EXTRABES	Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários.
Fe	Ferro.
Fe ₂ O ₃	Óxido de ferro.
g	Gramas.
H+AL	Acidez Potencial.
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
K	Potássio.
kg/m ³	Quilograma por Metro Cúbico.
KMnO ₄	Permanganato de Potássio.
Mg	Magnésio.
mg/L	Miligrama/Litros.
MMA	Ministério do Meio Ambiente.
MO	Percentual de Matéria Orgânica.
Na	Sódio.
NBR	Norma Técnica.
P	Fósforo.
Pf	Peso da Amostra Seca.
Pfm	Peso da Amostra Após Acondicionamento na Mufla.
pH	Potencial Hidrogeniônico.
Pi	Peso da Amostra Úmida ou Seca.
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos.
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos.
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico.
S	Enxofre.

Si	Sílica.
SINAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente.
SiO ₂	Dióxido de silício.
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária.
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.
SO ₄ ²⁻	Sulfato.
SS	Sólidos Suspensos.
ST	Sólidos Totais.
SST	Sólidos em Suspensão Totais.
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária.
SV	Sólidos Voláteis.
STV	Sólidos Totais Voláteis.
T	Catiônica.
u	Teor de Umidade.
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande.
Unifip	Centro Universitário de Patos.
uT	Turbidez.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
2	OBJETIVOS.....	20
2.1	OBJETIVO GERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRUTA NO BRASIL.....	22
3.2	PRODUÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	24
3.3	CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DE ESTAÇÃO BRASILEIRA DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	27
3.3.1	Caracterização Física de Lodo de Estação de Tratamento de Água.....	28
3.3.2	Caracterização Química de Lodo de Estação de Tratamento de Água.....	29
3.4	IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	31
3.5	ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	31
3.5.1	Lançamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Rio.....	36
3.5.2	Aplicação de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Solo.....	36
3.5.3	Aplicação de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Aterro Sanitário.....	37
3.5.4	Descarga de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).....	38
3.5.5	Utilização de Lodo de Estação de Tratamento de Água na Fabricação de Cimento, Concreto e Material Cerâmico.....	39
3.5.6	Outras Alternativas para Destinação e/ou Utilização de Lodo de Estação de Tratamento de Água.....	41
3.6	BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS.....	42
3.7	MATERIAL CERÂMICO APLICADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	43
3.7.1	Produção de Material Cerâmico Aplicados na Construção Civil com Adição de Lodo de Estação de Tratamento de Água.....	44

3.7.2	Tijolos Ecológicos com Adição de Lodo de Estação de Tratamento de Água.....	47
3.7.3	Material Cerâmico para Revestimento Aplicados na Construção Civil....	48
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	50
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	50
4.1.1	Estação de Tratamento de Água da Cidade de Patos/PB.....	50
4.1.2	Cerâmica Santa Rosa.....	54
4.2	COLETA E ACONDICIONAMENTO DE DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E DO SOLO.....	54
4.2.1	Coleta e Acondicionamento do Solo.....	55
4.2.2	Caracterização da Umidade do Lodo de Estação de Tratamento de Água.	56
4.2.3	Caracterização da Umidade do Solo.....	57
4.3	DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE MATÉRIA ORGÂNICA (STV) DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	58
4.4	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DE ETA E DO SOLO.	59
4.5	MÉTODO DE PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	59
4.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES DOS PARÂMETROS ESPECÍFICOS DOS COMPÓSITOS.....	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
5.1	TEOR DE UMIDADE DO LODO DE ETA.....	65
5.2	RESULTADO DO PERCENTUAL DE MATÉRIA ORGÂNICA (SSV) PRESENTE NO LODO DE ETA DA CIDADE DE PATOS/PB.....	66
5.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA AMOSTRA DO SOLO.....	67
5.4	PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS CERÂMICOS.....	69
5.5	ANÁLISES DOS PARÂMETROS ESPECÍFICOS.....	71
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

Em decorrência do processo de expansão das cidades e aumento da população após a Revolução Industrial nos séculos XVIII e XIX, a demanda por água de boa qualidade (potável) também aumentou. A potabilização da água tornou-se uma necessidade, contudo esse processo gera resíduos que precisam ser gerenciados de maneira apropriada.

Um dos maiores problemas enfrentados pelas Estações de Tratamento de Água está na redução da geração destes resíduos, no seu reaproveitamento e na destinação adequada, tendo em vista que existe legislação ambiental vigente que regula estas atividades com potencial poluidor (PAIVA; PARREIRA, 2012). Baseando-se em tal premissa, o maior desafio das Estações de Tratamento de Água potável está na disposição final do lodo gerado, sob os pontos de vista técnico, ambiental e econômico.

A busca por soluções de descarte ou reutilização deste lodo de Estação de Tratamento de Água que sejam economicamente viáveis e ambientalmente aceitáveis se intensificaram. Pesquisas estão sendo realizadas mediante a caracterização adequada deste lodo, a fim de desenvolver alternativas para tratamento e disposição final de forma correta.

Contudo, assegura Andrade *et al* (2014) que a insuficiência e ineficácia de programas adequados de gestão de mananciais reduzem ou inviabilizam o melhoramento destes processos de tratamentos de água, exigindo maiores concentrações de produtos químicos e, portanto, majorando a geração de resíduos provenientes das Estações de Tratamento de Água.

Andrade *et al* (2014) ainda relatam que a maior parte destas Estações brasileiras de Tratamento de Água continua a lançar seus resíduos sem nenhuma forma prévia de tratamento, gerando alguns impactos ambientais como assoreamento, morte da vida aquática e deterioração da qualidade da água dos rios e lagos.

Segundo dados do IBGE (2010), o lodo de ETA produzidos nos municípios brasileiros, vem sendo direcionados em maiores proporções em leitos de rios, próximos às estações, causando impactos ambientais, como também são lançados em terrenos subutilizados, aterros sanitários, entre outros destinos. Algumas destas práticas estão sendo questionadas por órgãos ambientais pela iminência de contaminação à saúde humana e degradação do meio ambiente (DE PAIVA; MOREIRA; SOARES, 2017).

A Associação Brasileira de Norma Técnica, NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos – Classificação, classifica este lodo de ETA como “resíduo sólido”, e que, portanto, devem obedecer às exigências de órgãos reguladores no que diz respeito a seu manuseio e destinação final. Entre as alternativas mais conhecidas desta destinação, destacam-se a aplicação no solo

após tratamento adequado, aterro sanitário atendendo às restrições ambientais, incineração e utilização como matéria-prima em alguns tipos de indústria (JANUÁRIO; FERREIRA FILHO, 2007).

A busca por soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o tratamento e disposição final de lodo de ETA continua sendo um desafio em vários países, principalmente no Brasil, onde o assunto está sendo bastante discutido e estudado.

Investigam-se meios que minimizem tais impactos e viabilizem a disposição adequada deste lodo de ETA, estimulando, assim, o desenvolvimento de várias tecnologias. No entanto, a escolha do melhor processo depende das características qualitativa e quantitativa do lodo, e das condições climáticas, considerando-se que cada estação de tratamento de água possui um rejeito com características distintas (FONTANA, 2004).

Diante dessa preocupação com a disposição do lodo de Estações de Tratamento de Água, estudos têm sido conduzidos para avaliar a aplicação e/ou reaproveitamento (reúso) desse resíduo, embasando esta pesquisa para o desenvolvimento de um processo de reutilização deste resíduo, transformando-o em um novo produto para utilização na construção civil para fins de revestimento.

A integração destes conhecimentos multidisciplinares, envolvendo informações técnicas, ambientais, legais, sociais, econômicas, propaganda e marketing entre outras, é crucial desde a concepção até a produção em escala real. Não se trata de uma soma de etapas estanques, e sim de um inter-relacionamento ao longo de todo o processo (SANTOS, 2003).

O uso desse lodo reciclado como materiais alternativos, inclusive incorporados em materiais de construção, vêm sendo desenvolvido em vários países de Primeiro Mundo. Segundo Medeiros (2010), a utilização de lodo de Estações de Tratamento de Água como matéria-prima na indústria cerâmica é uma prática que apresenta vantagens em relação a outros tipos de uso, pois as operações inerentes à indústria cerâmica fazem com que os riscos sanitários sejam reduzidos ao máximo.

Machado e Araújo (2014) afirmam que no Brasil já existem vários estudos a respeito da viabilidade dessa técnica, mostrando que é possível sua aplicação na fabricação de materiais destinados à construção civil.

Materiais cerâmicos constituídos de argila, tais como tijolos e telhas, geralmente são muito heterogêneos, pois eles consistem em argilas naturais que apresentam larga oscilação da sua composição. Por esta razão, tais materiais podem tolerar a presença de tipos diferentes de resíduos, até mesmo o lodo, em porcentagens consideráveis (INGUZA *et al.*, 2006).

Segundo Raupp-Pereira *et al.* (2005) *apud* Vitorino *et al.* (2009, p. 385) a agregação de resíduos de diversas atividades em produtos cerâmicos argilosos é uma alternativa tecnológica que pode contribuir para a redução do impacto ambiental causado por estes.

Dados publicados no IBGE (2010) dizem que o estado da Paraíba dispõe de 223 municípios, dos quais 96 possuem Estação de Tratamento de Água, e destes 36,4% lançam os lodos gerados nos decantadores em corpos d'água mais próximos sem um tratamento prévio e apenas 1,04% fazem reaproveitamento deste lodo.

Na cidade de Patos/PB a situação não é diferente das demais realidades. O lodo gerado na Estação de Tratamento de Água é lançado de maneira inadequada, não atendendo a legislação ambiental vigente, representando grave problema ambiental, fazendo-se necessário a implementação de técnicas de tratamento e/ou reuso deste lodo como disposição final adequada.

Sendo assim, esta pesquisa busca desenvolver um material cerâmico para revestimento aplicado na construção civil com incorporação do lodo oriundo da Estação de Tratamento de água da cidade de Patos/PB, com a finalidade de minimizar os impactos gerados pela inadequação da disposição final deste lodo, assim como produzir um material economicamente viável e ambientalmente vantajoso.

A presente dissertação organiza-se em seis capítulos. Capítulo I são a Introdução e a justificativa da pesquisa; os Objetivos compõem o Capítulo II; a fundamentação teórica abordando o tema embasado na literatura forma o Capítulo III; o Capítulo IV expõe o material e os métodos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa; o Capítulo V apresenta os resultados e as discussões; em seguida o VI Capítulo apresenta as considerações finais, e por fim, as referências utilizadas para esta pesquisa.

1.1 JUSTIFICATIVA

Observou-se, nos últimos anos, um aumento significativo da produção de resíduos derivado do processo de tratamento de água bruta para abastecimento das cidades, proveniente da necessidade de se aumentar a demanda por água potável. A má destinação de lodo de ETA vem acarretando desequilíbrios ambientais. Estes lodos de Estações de Tratamentos de Água estão sendo dispostos em cursos de água sem nenhum tratamento prévio. Todavia, essa prática tem sido questionada pelos órgãos ambientais devido aos possíveis riscos à saúde pública e à vida aquática.

Porém, esse tratamento, ambientalmente correto e necessário, apresenta uma problemática, pois, as substâncias poluentes removidas desse tratamento retornam para o meio ambiente através de técnicas de disposição final, na maioria das vezes de maneira inadequada.

A reutilização desses resíduos surge, então, como uma ferramenta indispensável para viabilizar sua disposição, transformando-os em matérias-primas. Essa técnica vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade seja atenuando os impactos ambientais ou reduzindo os custos.

A presente pesquisa se justifica a partir da premissa que a utilização do lodo de ETA incorporado à produção de materiais cerâmicos destinados à construção civil para fins de revestimento pode ser uma solução economicamente viável e ambientalmente correta.

Entretanto, para haver uma utilização ambientalmente segura e consciente do lodo, faz-se necessário sua caracterização físico-química, determinação das proporções adequadas dos vários constituintes, a fim de criar um novo “produto”, que trará benefícios a sociedade sem agredir o meio ambiente (INGUZA *et al.*, 2006).

Hoppen (2004) comenta que o setor da construção civil é o maior consumidor individual de recursos naturais, alcançando de 20% a 50% do total consumível. Esta teoria é reforçada também por Brasileiro e Matos (2015) que reafirmam que a construção civil é responsável pelo consumo excessivo de recursos naturais provenientes de fontes não renováveis. A reutilização do lodo na produção de material cerâmico pode ser uma alternativa para a diminuição destes impactos, pois, promove o desenvolvimento sustentável, baseando-se na conservação e preservação ambiental.

Segundo Machado e De Araújo (2014) as vantagens na incorporação do lodo de ETA para fabricação de material cerâmico são inúmeras, entre elas, o aumento na vida útil das jazidas de argila, a redução do custo de reposição de vegetação, a disposição mais barata e adequada, diminuindo a poluição dos corpos hídricos e reduzindo a utilização de matéria prima.

Patos representa a terceira maior cidade do estado da Paraíba. Está situada na região semiárida, mesorregião do sertão (OLIVEIRA; MACHADO; HOLANDA, 2004, p. 36). Com população estimada em 107.067 habitantes (IBGE, 2017). Possui uma Estação de Tratamento de Água sob responsabilidade da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) que trata aproximadamente 1.205m³/h de água, para abastecimento da população, gerando aproximadamente 65 toneladas/mês de lodo (CAGEPA, 2018).

Desta maneira, diante da grande quantidade de lodo gerado na ETA de Patos/PB, na presente pesquisa busca-se estudar a utilização destes resíduos na produção de material cerâmico para revestimento aplicado na construção civil, através da incorporação deste lodo na

produção deste material, tendendo a ser uma alternativa viável, visando reduzir a quantidade de agregados naturais empregados na construção civil, minimizando também de maneira significativa os impactos ambientais advindos da disposição final inadequada destes resíduos no meio.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar lodo de Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB para fabricação de material cerâmico para revestimento a ser aplicado na construção civil, como tecnologia inovadora e sustentável ambientalmente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físicas e químicas do lodo gerado pelo processo de tratamento de água bruta na ETA da cidade de Patos/PB;
- Realizar caracterização física e química do solo coletado utilizado na produção de material cerâmico para revestimento aplicado na construção na cidade de Malta/PB;
- Estudar diferentes proporções de lodo de ETA, solo, cimento e água para a produção de material cerâmico de revestimento aplicado na construção civil.
- Analisar os parâmetros específicos dos compósitos cerâmicos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Barros *et al.* (1995, p. 14) o Sistema de Abastecimento de Água representa o "conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos".

As empresas (Companhias) de tratamento de água e esgoto, juntamente com a sociedade têm buscado alternativas visando à redução de impactos ambientais, como meio de alcançar a sustentabilidade ambiental. Para Paiva e Parreira (2012), este assunto entrou definitivamente na pauta das grandes discussões no mundo.

Estas alternativas passam a ser entendidas como o conjunto de medidas e ações capazes de prover sustento para a humanidade e alavancar o desenvolvimento econômico, considerando-se a preservação do ecossistema, possuindo como premissas a exploração racional dos recursos naturais, o uso de fontes de energia limpas e renováveis e a redução dos níveis de poluição ambiental, entre outros.

Com isso, a busca por novos produtos oriundos da reciclagem de resíduos tem sido uma alternativa cada vez mais procurada, principalmente na área de construção civil, considerado o setor da economia que mais consome matérias-primas naturais e também um grande gerador de resíduos sólidos que produz entre 50% e 80% dos resíduos sólidos urbanos (PIMENTEL, 2005). Percebe-se, dessa forma, que a construção civil desempenha um papel de extrema importância na questão ambiental. Porém, para tal procedimento, faz-se necessário o investimento em pesquisas e novas tecnologias.

Cordeiro (2003) relata que no Brasil, um número considerável de Estações de Tratamento de Água configura-se como convencionais ou tradicionais, e que realiza processos de coagulação/floculação/sedimentação e filtração, gerando rejeitos nos decantadores e nos filtros, que são descartados diretamente em cursos d'água sem nenhum tratamento prévio, agravando a questão ambiental.

A legislação ambiental brasileira tornou-se mais restritiva no final dos anos 90, promulgando a Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 e a Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, referentes a "Recursos Hídricos" e "Crimes Ambientais", respectivamente. Isto resultou em mudanças na postura de representantes de órgãos de fiscalização diante do problema. Dentro desse contexto, alguns trabalhos realizados no Brasil evidenciam o potencial poluente dos resíduos gerados nos decantadores de Estações de Tratamento de Água convencionais (ANDREOLI *et al.*, 2001).

3.1 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRUTA NO BRASIL

De acordo com De Paiva, Moreira e Soares (2017), o objetivo fundamental das Estações de Tratamento de Água é produzir água potável de qualidade para o consumo humano com fins de abastecimento público. Desse modo, diversos processos são utilizados, mediante a adição de produtos químicos como os coagulantes, que transformam a água bruta, normalmente inadequada nas condições naturais, em água potável.

Para torna-la potável, durante o processo de tratamento há geração de resíduos provenientes da presença de impurezas existentes na água bruta, assim como, da aplicação de tais produtos químicos. Gerando o subproduto denominado “Lodo de ETA ou LETA”, que apresenta potencial para degradar a qualidade dos corpos de águas receptores (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013).

É através das Estações de Tratamento de Água que são removidas as impurezas coloidais e em suspensão existentes na água bruta, na forma de materiais inertes a exemplo de areia, pedaços de vegetais, organismos vivos e partículas dissolvidas desses materiais, responsáveis pela cor e turbidez da água. Os sistemas de tratamento de água funcionam de forma similar a uma indústria, onde determinada matéria-prima é transformada por meio de diversas operações e processos em um produto final (GUERRA; ANGELIS, 2005).

Segundo Achon, Barroso e Cordeiro (2013) os principais resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água, que possuem tecnologia de ciclo completo, que passa pelas etapas de pré-tratamento, coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção, são o lodo de decantadores e o lodo presente na água de lavagem de filtros (ALAF) e sua frequência de remoção pode ser realizada em intervalos de tempo de até seis meses, podendo gerar acúmulo desse lodo com elevada concentração de contaminantes orgânicos e inorgânicos como também pode dificultar a remoção e disposição final do mesmo.

No Brasil, a implantação de sistemas de tratamento de água é submetida ao licenciamento ambiental, em concordância com a Resolução 237 de 19 de dezembro de 1997 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) em que cita:

Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso (BRASIL, 2002a).

Segundo legislações ambientais vigentes, o lodo é definido como resíduo sólido, e, portanto, deve estar em consonância também com os preceitos da Lei 12.305/2010 (artigo 3º, inciso XVI) instituída pela Política Nacional de Resíduos Sólidos que altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como, gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Considera-se ainda, no Brasil, que o lodo gerado na indústria de potabilização da água é enquadrado como resíduo sólido pela Associação Brasileira de Norma Técnica, NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação, portanto, reforça a ideia de que não deve ser lançado nos corpos d'água sem prévio tratamento (ABNT, 2004a).

Ainda de acordo com as afirmações anteriores, as Estações de Tratamento de Água têm por finalidade transformar a água bruta em água potável para a população, com qualidade suficiente para beber e preparar alimentos, atendendo aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde. O art. 5º Capítulo II da referida portaria define a expressão água potável como água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta portaria e que não ofereça risco à saúde (BRASIL, 2017).

Fazendo-se, assim, perceber que as ETA's têm grande importância econômica e social, e estão presentes em grande parte dos municípios brasileiros (ANDRADE; SILVA; OLIVEIRA, 2014). O IBGE (2010) publicou dados do ano de 2008, que dos 5.564 municípios brasileiros, 2.098 produzem lodo no processo de tratamento da água. As destinações desse lodo gerado em alguns Estados são descartadas em rios, no mar, em terreno baldio, aterro sanitário, são incinerados, reaproveitados, mediante tratamento prévio, entre outros destinos, e é importante ressaltar que um município pode dar mais de um destino ao lodo gerado.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) Lei 9.433/97 estabelece que o lançamento de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final em corpos d'água, além de outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água, está sujeita à outorga do Poder Público (BRASIL, 2002a).

Em síntese, Achon, Barroso e Cordeiro (2013) dizem que no Brasil, a problemática dos resíduos de ETA's deve ser analisada sob a ótica da legislação vigente, levando-se em conta

aspectos relativos ao conhecimento mais profundo sobre as características físicas, químicas e biológicas; às condições operacionais dos sistemas de tratamento de água que geram esses resíduos; às condições e periodicidade de limpeza de filtros e decantadores; aos impactos ambientais do lançamento *in natura* (solo ou águas superficiais); as alternativas de tratamento dos resíduos e a destinação ou disposição final das fases sólida e líquida após o tratamento (desaguamento).

3.2 PRODUÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Segundo Hoppen (2004), a técnica de Tratamento de Água é realizada através da utilização de processos como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, gerando resíduos nos decantadores e nos filtros, denominados, como já exemplificados anteriormente, como lodo de ETA. A formação deste lodo ocorre pela desestabilização química de partículas que podem ser de natureza química, física ou biológica, na maioria colóides.

No processo inicial de tratamento da água é adicionado o coagulante. A água passa pela calha *Parshall* e segue para tanques onde as impurezas ficam aglomeradas. Uma das principais etapas é a coagulação, que resulta de ações físicas e reações químicas entre o coagulante, usualmente o sulfato de alumínio, a água e as impurezas presentes, sendo um processo muito rápido, com duração de alguns minutos (SANTOS; LENZ; ZARA, 2011). A dosagem de sulfato de alumínio adicionado ao sistema de composição da água bruta influenciará no volume, na composição e nas características do lodo gerado. Além disso, a alteração do pH e adição de polieletrólitos (polímeros, classificados em aniônicos e catiônicos de acordo com seu grupo funcional) afetam diretamente as características do lodo, bem como, as variações no tratamento e operação da ETA, ou seja, o tipo de decantador, a forma de descarte do lodo, a recirculação e as características da água de lavagem dos filtros (ADREOLI, 2001).

Desse modo, argumenta Libânio (2008) que a coagulação assume o objetivo de proporcionar os mecanismos necessários para a desestabilização das partículas coloidais, promovendo uma aproximação entre as mesmas, a fim de agregá-las formando flocos, que devido suas dimensões e densidades irão se separar seja por flotação, sedimentação ou filtração.

Posterior a esta fase, acontece à floculação, que segundo De Paiva, Moreira e Soares (2017), é o processo físico que tem por finalidade promover a aglutinação das partículas já coaguladas, facilitando o choque entre elas devido à agitação lenta imposta à água.

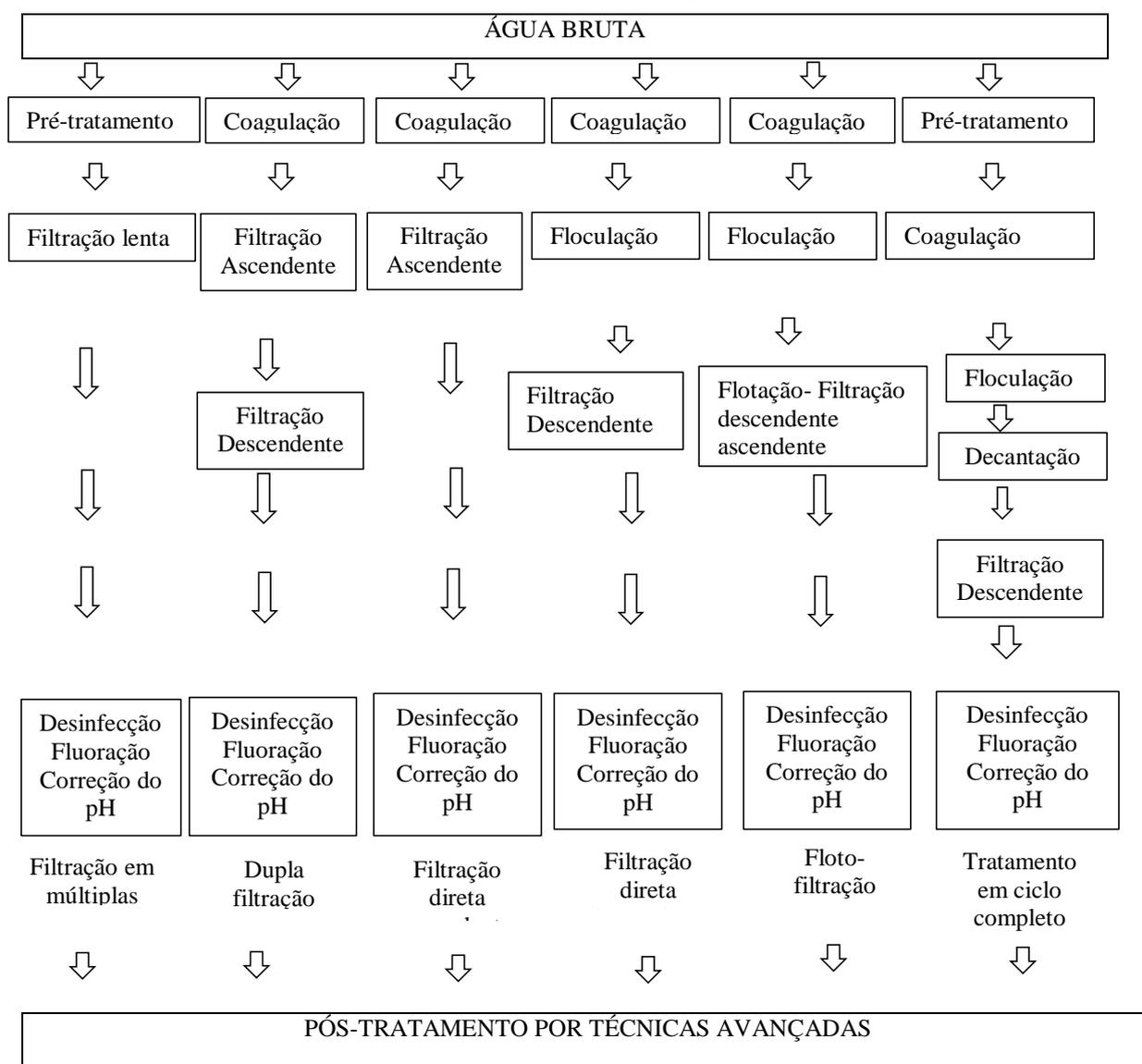
Explica Cavinatto (2003) que é nos decantadores que a água permanece retida para que os flocos, que contém algas, ovos de parasitas e alguns tipos de micro-organismos se

sedimentem e formem o lodo. Essa etapa é também considerada uma etapa unitária e constitui a última fase da clarificação, promovendo condições que facilitem a deposição dos flocos por ação da gravidade. Tal processo reflete a eficiência das etapas que o precedem (LIBÂNIO, 2008).

Cordeiro (2003) explica que a água decantada com parte dos flocos que não sedimentam é encaminhada aos filtros para clarificação/desinfecção final. Sendo assim, partes destes flocos ficam retidas nos decantadores, durante um período de tempo, dependendo da forma e frequência de limpeza utilizada nos tanques, e outra parte fica retida nos filtros, onde a água passa por camadas de pedras, cascalho, areia e carvão mineral, e por gravidade segue para processo de desinfecção, ao ser misturado ao cloro. O resultado desse tratamento gera subprodutos sólidos: lodos acumulados, denominado lodo de ETA, encontrado tanto nos decantadores como na água de lavagem destes filtros.

Enfoca Libânio (2008) que a escolha da tecnologia e grau de tratamento a serem adotados associa-se principalmente ao uso final da água, assim como, a qualidade do manancial adotado, os custos de implantação, manutenção e operação, manuseio e confiabilidade dos equipamentos, flexibilidade operacional, localização geográfica e tratamento e disposição final dos resíduos gerados.

Na Figura 01 são apresentadas as principais tecnologias brasileiras de tratamento de água para o consumo humano, com suas respectivas etapas.

Figura 01 - Principais Tecnologias Brasileiras de Tratamento de Água para Consumo Humano.

Fonte: Adaptado Silveira (2012).

No Brasil, a maioria dos sistemas de abastecimento utiliza o sistema convencional, também conhecido como ciclo completo, que é definido pela sequência dos processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002). Segundo Fontana (2004), estas estações de ciclo completo apresentam bom grau de eficiência na remoção de cor, turbidez e possíveis contaminantes (Figura 01).

A gestão desse lodo gerado a partir destes processos apresenta certa complexidade e sua má destinação final pode comprometer os benefícios sanitários e ambientais. Uma solução alternativa, ambiental e economicamente adequada para a disposição final desse lodo de ETA já vem sendo utilizada em países como Alemanha, Japão, Espanha, entre outros, fazendo-se a

utilização desse lodo de ETA na fabricação de alguns produtos, até mesmo cerâmicos (CATOLICO; CARVALHO; JARQUE, 2015).

3.3 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DE ESTAÇÕES BRASILEIRAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, além de seus constituintes e características com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Esta identificação deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem (GUERRA e ANGELIS, 2005).

A Associação Brasileira de Norma Técnica, NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação é responsável por classificar os resíduos sólidos em diferentes níveis de periculosidade, considerando possíveis riscos ambientais e à saúde pública. Segundo esta norma, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água são definidos como resíduos sólidos, portanto, devem ser tratados e dispostos dentro dos critérios nela definidos (GUERRA e ANGELIS, 2005; SILVEIRA, 2012).

Os resíduos são classificados, de acordo com a NBR 10004:2004, como:

- Resíduos Classe I – Perigosos: São aqueles que apresentam periculosidade e características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

- Resíduos Classe II – Não Perigosos.

- Resíduos Classe II A – Não Inertes: Esses não se enquadram nas classificações de Resíduos Classe I - Perigosos ou de Resíduos Classe II B – Inertes. Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- Resíduos Classe II B – Inertes: São quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

No entanto, Achon, Barroso e Cordeiro (2013) afirmam que o lodo de ETA proveniente dos decantadores, mesmo sendo considerado resíduo sólido, apresenta teor de umidade maior que 95%. É resistente ao adensamento, principalmente quando a água bruta possui baixa turbidez. São constituídos por hidróxidos de alumínio, partículas orgânicas e inorgânicas como

algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areias, argilas, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês, etc., apresentando-se em estado fluido (SILVEIRA, 2012).

De acordo com Andrade, Silva e Oliveira (2014) *apud* Owen (2002) as principais características que distinguem o lodo de outros resíduos são: a capacidade de resistência de vida vegetal, a capacidade de retenção de água e o conteúdo de ferro e alumínio presentes. A resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 5 de julho de 2002, determina condições que devem ser cumpridas para o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente nos corpos d'água. Tais condições impedem o lançamento, sem prévio tratamento, do lodo produzido nas ETA's devido à grande concentração de sólidos sedimentáveis presentes neste resíduo (BRASIL, 2002a).

A caracterização de resíduos consiste em determinar os principais aspectos físico-químicos, biológicos, qualitativos e/ou quantitativos da amostra. Os parâmetros específicos analisados dependem para qual fim serão utilizados, a exemplo de material cerâmico, podem ser destinados a produção estrutural, a revestimento, entre outros. Os resultados analíticos auxiliam na classificação do resíduo para a escolha da melhor destinação do mesmo (GUERRA; ANGELIS, 2005).

3.3.1 Caracterização Física de Lodo de Estação de Tratamento de Água

De acordo com Scalize (2003), os parâmetros físicos que caracterizam os resíduos de lodo de ETA são: sólidos totais, turbidez, cor, resistência específica, sedimentabilidade, tamanho e distribuição de partículas, densidade e viscosidade.

Cornwell *et al.* (2000) dividiram as características físicas dos resíduos em macropropriedades e micropropriedades. Dessa forma, as macropropriedades referem-se à resistência específica, sedimentabilidade, compressibilidade e concentração de sólidos e, as micropropriedades são formadas por tamanho e distribuição de partículas, viscosidade e densidade.

Os principais parâmetros utilizados na caracterização dos resíduos de tratamento de água são a determinação de sólidos totais (ST) e sólidos em suspensão totais (SST). De acordo com Richter (2005), em uma ETA que utiliza sulfato de alumínio como coagulante, as concentrações de ST na água de lavagem de filtro, em geral, variam entre 40 e 1.000 mg/L (0,004 a 0,1%), e entre 1000 e 40000 mg/L (0,1 a 4%) no lodo de decantador. Sendo que 75-90% desses valores representam SST, 20 - 35% representam os sólidos voláteis (SV) e uma pequena proporção de compostos biodegradáveis.

De acordo com alguns autores, entre eles Di Bernardo *et al.* (2002), Scalize (2003) e Freitas *et al.* (2010), os valores de turbidez e SST em águas de lavagem de filtros possuem ampla variação, apresentando a turbidez com uma faixa de valores variando entre 50 - 170 uT e SST entre 90 - 370 mg SST.L⁻¹. Segundo estes autores, as variações ocorrem também levando em consideração o longo período de lavagem dos filtros, onde foram encontrados picos de turbidez e de SST de 700 uT e 1.200 mg/L, 90 segundos após o início da lavagem do filtro. Outros estudos apontam picos de turbidez de 100 - 200uT, após os 2 primeiros minutos do início da lavagem dos filtros.

Os autores destacam ainda, através da caracterização da água de lavagem dos filtros, que o efluente proveniente da ETA apresenta um potencial poluidor, contaminação microbiológica e que deve ser tratado antes do seu lançamento em corpos receptores. Os resultados apontados por estes autores estão dentro dos parâmetros físicos estudados, como podem ser observados na Tabela 01.

Tabela 01 – Dados de alguns Parâmetros Físicos dos Lodos de Diversas Estações de Tratamento de Água.

Coagulante	Cloreto Férrico		Sulfato de Alumínio	
	Lodo de Decantador	Água de Lavagem de Filtro	Lodo de Decantador	Água de Lavagem de Filtro
Sólidos Totais (mg/L)	1.700 – 22.928	367 - 10	1.000 – 88.458	40 – 1.000
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1.500 – 20.813	56 - 491	5.590 – 46.100	56 - 532
Turbidez (NTU)	676 – 3.077	60 - 288	6.112 – 60.794	30 - 615

Fonte: Di Bernardo *et al.* (2002), Scalize (2003) e Freitas *et al.* (2010).

3.3.2 Caracterização Química de Lodo de Estação de Tratamento de Água

Verifica-se com relação às características químicas do lodo que estas dependem diretamente das características da água bruta que chega à ETA para ser tratada. Então, para que o lodo de ETA seja caracterizado quimicamente é necessário observar os seguintes parâmetros: metais pesados, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio e fósforo, os quais são lançados no corpo receptor durante a operação da lavagem do filtro da ETA (CORDEIRO, 2001).

O Sulfato de alumínio é o mais usado devido ao baixo custo, facilidade de manuseio e de transporte e a sua eficiência em relação à redução da cor, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio (FRANCO; PENNA 2009).

Segundo Richter (2005), em alguns dos seus estudos foram detectados casos com alto nível de alumínio, sendo estes de 0,28 a 4,48 mg/L em lodo de ETA o que evidencia, segundo o autor, riscos diretos e indiretos aos usuários do corpo d'água estudado. Nestes casos, os valores de pH de efluentes de ETA encontravam-se próximos a neutralidade.

Conforme Reali (2001), o lodo produzido na maioria das Estações brasileiras de tratamento de água possui de 0,5 a 5% de sólidos, entre eles resíduos orgânicos e inorgânicos, como algas, bactérias, partículas orgânicas em suspensão, areias, argilas, siltes, cálcio. Portanto, é necessário que sua disposição final seja adequada ambientalmente conforme as exigências e as especificações das normas legislativas.

Observou-se, a partir de uma revisão na literatura, que os tipos de coagulantes utilizados e que estarão presentes na composição do lodo de ETA, comumente, são o sulfato de alumínio, policloreto de alumínio, sulfato férrico, sulfato ferroso clorado e cloreto férrico.

Quanto à utilização do cloreto férrico, destaca-se que este é eficiente em águas com alto índice de cor e mais ácidas, sendo sua dosagem estabelecida, em laboratório, em razão da qualidade da água bruta. Assim, ressalta-se a importância da dosagem correta do coagulante, cuja qualidade e quantidade atendam às especificações do serviço de tratamento de água. A dosagem incorreta deste produto químico poderá resultar na ineficácia do tratamento ou numa quantidade maior de rejeitos (PAVANELLI, 2001).

Portanto, Richter (2005) diz que, em geral, o lodo produzido pela ETA que utiliza sulfato de alumínio apresenta baixa degradabilidade e pH próximo ao neutro. Já o lodo proveniente da coagulação com sais de ferro possui características semelhantes, uma vez que, possui o hidróxido férrico substituindo o hidróxido de alumínio. Os sólidos totais do lodo tratado com sulfato de alumínio apresentam porcentagem (%) de 0,1 a 4,0, já tratado com sais de ferro, varia de 0,2 a 3,5 (%), conforme apresentado na Tabela 02.

Tabela 02 – Dados de alguns Parâmetros Químicos dos Lodos de Diversas Estações de Tratamento de Água.

Parâmetros	Lodo de Sulfato de Alumínio	Lodo de Sais de Ferro
Sólidos Totais (%)	0,1 – 4,0	0,2 – 3,5
pH	6,0 – 8,0	7,4 – 9,5
Fe (%)	—	4,6 – 20,6
Al ₂ O ₃ .5,5H ₂ O (%)	15,0 – 40,0	—

Fonte: Richter (2005).

3.4 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

No Brasil, uma parte considerável das estações de tratamento de água lançam seus resíduos diretamente em corpo d'água mais próximo à estação, ocasionando assoreamento e deterioração da qualidade da água dos rios e lagos (IBGE, 2010).

De acordo com Reali (2001), a toxicidade potencial dos lodos de ETA para plantas, seres humanos e organismos aquáticos depende de fatores tais como: características da água bruta, produtos químicos utilizados no tratamento, possíveis contaminantes contidos nesses produtos, reações químicas ocorridas durante o processo, forma de remoção e tempo de retenção dos resíduos dos decantadores, características hidráulicas, físicas, químicas e biológicas do corpo receptor.

O lançamento do lodo em corpos receptores, devido a sua concentração, ao tamanho das partículas dispostas e às baixas velocidades de escoamento do rio a jusante do lançamento, pode levar à sedimentação das partículas sobre a camada bentônica (comunidade de organismos que vive no substrato de ambientes aquáticos) inibindo o crescimento de várias espécies de peixes e outros organismos aquáticos (CORDEIRO, 2003).

A elevada quantidade de sólidos totais, a alta turbidez, as altas concentrações de metais e a alta concentração de matéria orgânica (em termos de DQO) são classificadas por Achon e Cordeiro (2015) como os principais parâmetros que comprometem o lançamento de lodo nos corpos receptores. Andrade, Silva e Oliveira (2014, *apud* Machado *et al.*, 2005) chegaram as mesmas conclusões, quando afirmam que a descarga de lodo com altos teores de alumínio no corpo receptor causa toxicidade ao meio aquático.

3.5 ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Para disposição adequada do lodo de ETA, faz-se necessário obter características adequadas através de pré-tratamentos como o condicionamento, adensamento, estabilização, desidratação e higienização, entre outras técnicas (DE SOUSA OLIVEIRA, 2015, p. 6).

Segundo explica De Sousa Oliveira (2015), o condicionamento do lodo de ETA pode ser através de métodos como, adição de produtos químicos, técnicas de congelamento, tratamento térmico e filtração e deve acontecer antes das etapas de desidratação, pois, melhora

a eficiência do tratamento, aumentando a recuperação de sólidos e minimizando o tempo da atividade.

Sendo assim, o adensamento e o desaguamento visam aumentar a concentração de sólidos e reduzir a quantidade de lodo gerado quando a água é retirada, respectivamente. O objetivo da estabilização do lodo é reduzir o número de patógenos, eliminar maus cheiros e inibir e eliminar a possibilidade de decomposição.

A etapa de desidratação pode ocorrer através dos sistemas naturais e dos sistemas mecânicos, e geralmente permitem alcançar os teores de sólidos recomendados para as alternativas de destinação final de acordo com as Leis Ambientais. Já a higienização busca garantir um nível de patogenicidade do lodo de ETA que ao ser disposto no solo, não cause riscos à população e ao meio ambiente e depende do tipo de processo adotado pela unidade de gerenciamento e de sua eficiência, variando de zero, na secagem térmica, a 30/60 dias na caleação (DE SOUSA OLIVEIRA, 2015, p. 6).

Reali (1999) observa que as estratégias de tratamento e disposição final de lodos de ETA após este pré-tratamento, envolvem diversas opções e técnicas cujas pertinências são grandemente influenciadas, dentre outros fatores, pelas características do lodo, área disponível, clima local e condições socioeconômicas, culturais e ambientais da região onde se pretende implantar o sistema de tratamento deste lodo.

Saiba que o lodo produzido no processo de tratamento de água é composto por partículas como microorganismos, sólidos orgânicos e inorgânicos, e sólidos provenientes de produtos químicos usados no tratamento (como coagulantes, alcalinizantes, etc.). Assim, faz-se necessário que estas técnicas de pré-tratamento sejam realizadas, para que ocorra uma destinação final do mesmo de forma adequada e ambientalmente consciente.

Segundo Achon e Cordeiro (2015) 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 que norteia a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos e define e diferencia destinação e disposição final:

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Dessa forma, a PNRS tem por objetivo, conforme disposto no Art. 6º, inciso II, “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como, disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”; e no inciso V, “redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos”.

Como já citado, outra legislação a ser considerada é a NBR 10004:2004 que inclui em sua definição de resíduos sólidos os ‘lodos provenientes de sistemas de tratamento de água’, que devem, assim, estar em consonância com a PNRS.

Neste âmbito, precisam ser consideradas, avaliadas e ampliadas as alternativas de destinação do lodo, como: sistema de desaguamento para remoção de água e redução de volume; sistemas térmicos (secagem), recuperação de coagulante; uso como filtro de efluentes industriais, encaminhamento para Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), conforme Reali (1999), Andreoli *et al.* (2001), Achon *et al.* (2013) Barroso *et al.* (2014), Cordeiro (2001), entre outros.

Levantamentos foram realizados a fim de inteirar-se de algumas formas de disposição final do lodo de ETA em alguns países. Segundo defendem Cornwell *et al.* (2000), nos Estados Unidos, pesquisas verificaram que 25% das Estações de Tratamento de Água aplicam o lodo no solo, 24% lançam-no em sistemas públicos de esgotos, 20% dispõem-no em aterro sanitário, 13% em aterro exclusivo e 7% realizam outras formas de disposição final. Apenas 11% das estações lançam o lodo nos corpos d’água. Já no Reino Unido, segundo Simpson *et al.* (2002), apenas 2% das Estações de Tratamento de Água lançam o lodo nos corpos d’água e há uma predominância de disposição final em aterros sanitários (52%), seguida de 29% que lançam-no em sistemas públicos de esgoto, 9% têm novos métodos como recuperação do sulfato de alumínio, 6% realizam tal processo em aterro exclusivo e 2% em lagoas.

No Brasil, este panorama é bem diferente. Segundo Cordeiro (2003) e Morita *et al.* (2002), a maioria das ETA’s do estado de São Paulo lança os lodos gerados nos decantadores em corpos d’água mais próximos sem um tratamento prévio, atingindo uma média de 61,5%, causando problemas ambientais. Em Minas Gerais, dos 853 municípios existentes, segundo dados publicados no IBGE (2010), 514 municípios destinam o lodo de ETA da seguinte forma: aproximadamente 83,0% lançam o lodo em corpos d’água sem tratamento prévio, 14,010% em terrenos baldios, 1,5% em aterros sanitários, 0,4% faz reaproveitamento do lodo e 1,1% utilizam outros meios de destinação do lodo.

Segundo dados coletados no IBGE (2010), o estado da Paraíba dispõe de 223 municípios, dos quais 96 possuem Estação de Tratamento de Água e, destes, 36,4% lançam os

lodos gerados nos decantadores em corpos d'água mais próximos sem um tratamento prévio e apenas 1,04% fazem reaproveitamento deste lodo, conforme Tabela 03.

Tabela 03 - Informações sobre Destino Final de Lodo de Estação de Tratamento de Água de alguns Estados Brasileiros.

Número de Municípios, Total e os com Geração de Lodo no Processo de Tratamento de Água, por Destino do Lodo Gerado.									
Ano 2008									
Brasil e Unidade da Federação	Destino do Lodo Gerado								
	Municípios	Total	Rio	Mar	Terreno baldio	Aterro sanitári o	Incineração	Reaproveitament o	Outro
Brasil	5.564	2.098	1.415	07	463	83	01	50	247
Roraima	15	01	01	-	-	-	-	-	-
Paraíba	223	96	35	-	49	1	-	01	10
Minas Gerais	853	514	428	-	70	8	-	02	06
São Paulo	645	249	153	-	13	42	-	08	54
Distrito Federal	01	01	01	-	01	-	-	-	-

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2010).

Iniciativas como o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) (REALI, 1999; ANDREOLI *et al.*, 2001) conduzem desde 2008, a realização do Seminário Nacional sobre Tratamento, Disposição e Usos Benéficos de Lodos de ETA, e contatou-se atualmente que a maioria das ETA's lança diretamente seus lodos nos corpos d'água mais próximos; sendo assim, o setor de saneamento ambiental precisa ter uma visão mais abrangente do sistema de tratamento de água e conseqüentemente destas exposições. Existe uma tendência internacional em se reduzir a quantidade de lodo produzido nas Estações de Tratamento de Água; o restante deve ser reciclado ou reusado e somente o que não puder ser aproveitado deve ser disposto (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013).

Cordeiro (1999) enfatiza que a redução do volume do lodo de ETA através da redução da umidade existente no mesmo propicia uma disposição mais adequada, diminuindo o custo de transporte e da disposição final, além de minimizar os riscos de poluição do meio ambiente.

Afirmam Paixão, Tenório e Espinosa (2004) que atualmente vários estudos vêm sendo realizados na procura por tecnologias de tratamento do lodo de ETA que sejam capazes de determinar formas diferenciadas de disposição final, com a finalidade de causar o menor impacto possível no meio ambiente e atender as especificidades das legislações ambientais vigentes. No entanto, alguns aspectos devem ser verificados, entre eles a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e em seu artigo 2º diz:

A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental própria à vida, visando assegurar ao País condições de desenvolvimento socioeconômico, aos interesses de segurança nacional e de proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981).

Destaca-se que controlar a poluição das águas é um ponto fundamental para a saúde humana, bem como, para o meio no qual esta se insere. Em observação a tal questão ambiental, em 12 de fevereiro de 1998 foi promulgada a Lei nº 9.605, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Conforme, Cordeiro (2003) esta lei é conhecida como Lei da Vida ou dos Crimes Ambientais.

O Capítulo V desta Lei trata dos Crimes Contra o Meio Ambiente, e especificamente na Seção III, sobre a Poluição e Outros Crimes Ambientais, assim seu artigo 54º diz que:

Causar poluição de qualquer natureza que resultem ou possam resultar danos à saúde humana, ou que provoque a morte de animais ou a destruição significativa da flora.
No parágrafo 2º, inciso V, se o crime - ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos: Pena - reclusão, de um a cinco anos (BRASIL, 1998).

Assim, a caracterização físicas e químicas do lodo e o conhecimento sobre as condições climáticas, são o passo inicial para poder avançar nesse sentido, visto que cada estação possui um lodo com características diferentes (FONTANA, 2004).

Conforme Hoppen (2004), a utilização benéfica deste lodo é considerada, além de uma oportunidade para minimizar os custos e impactos ambientais, é também uma possível redução da exploração de recursos naturais que são utilizados como matéria-prima para fabricação de produtos, assim, como traz significativa diminuição da ocupação de espaços utilizados em aterros sanitários, para a disposição final destes resíduos.

É imprescindível também a realização de uma pesquisa de mercado para identificar os clientes potenciais, a aceitação do material a ser produzido a partir da incorporação do lodo de ETA por fabricantes e pelo consumidor final, além da viabilidade da comercialização deste produto (MACHADO; DE ARAÚJO, 2014).

Entre as várias soluções de disposição final para o lodo de ETA destacam-se: a produção de materiais cerâmicos, o aterro e a descarga em redes coletoras de esgoto, entre outros. No entanto, em face da complexidade que envolve este assunto, compreende-se que não pode ser identificada uma única solução para o tratamento e disposição final do lodo de ETA, ou seja, cada opção deve ser ponderada para cada ETA individualmente, em função de seus aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e políticos (HOPPEN, 2004).

3.5.1 Lançamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Rio

Essa prática tem sido questionada pelos órgãos ambientais devido aos possíveis riscos à saúde pública e à vida aquática, uma vez que, tal procedimento aumenta o grau de poluição da água e contribui para uma maior degradação do meio ambiente (ANDRADE, 2013).

Cordeiro (2003) alerta ainda sobre a tendência do resíduo sedimentar próximo ao local de lançamento, formando bancos de sedimentos de lodo. Esta situação resulta no aumento da DBO, inibição da atividade biológica, criando condições anaeróbias, causando redução de pH e solubilização de metais contidos no lodo de ETA, passando, assim, a liberar odores e reduzir o oxigênio dissolvido e que é imprescindível para a vida aquática.

Segundo Hoppen (2004) nos países desenvolvidos, a prática de lançamento de lodo de ETA em leitos de rios vem sendo reduzida, devido à rigorosidade na aplicação de legislações ambientais para controle dessa poluição e escassez de recursos hídricos. No entanto, Richter (2005) cita que este tipo de disposição final para lodo de ETA configura-se como a mais barata, pois, ocorre a devolução ao rio do material dele removido durante o processo de tratamento da água, embora, adicionado com substâncias poluentes. Então, deve-se considerar nesta alternativa, algumas restrições, como a quantidade do coagulante e produtos químicos, os quais aumentam a sedimentabilidade dos resíduos formando depósitos e assoreamento.

3.5.2 Aplicação de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Solo

De acordo com Tsutiya e Hirata (2001) *apud* Hoppen (2004) a aplicação do lodo de ETA no solo pode ser benéfica, em alguns casos, como a melhoria estrutural do solo, ajuste do pH, adição de minerais, aumento da capacidade de contenção de água e melhoria das condições de aeração. Porém, para este uso, deve-se realizar tratamento prévio deste lodo, diminuindo ou eliminando os poluentes, ao contrário, pode este tendenciar a reagir e indisponibilizar o fósforo presente no solo ou, até mesmo, apontar toxicidade do alumínio com pH superior a 6,5, assim como, também ocorrer carreamento do nitrato do solo, atingindo águas subterrâneas.

O lodo de ETA pode ser usado na recuperação do solo, a fim de reabilitá-lo para o crescimento de plantas, ao contrário do uso na agricultura, onde ele funciona como um condicionador. Esta prática pode ser adotada em áreas susceptíveis a erosões, como locais que foram utilizados para extração de mineral ou onde se desenvolveram outras atividades, nas quais foi necessária a remoção do solo de superfície (SCALIZE, 2004).

Dessa forma, entende-se que tal tipo de aplicação poderá ser realizado porque, apesar do resíduo da estação de tratamento de água possuir poucos nutrientes, ele ainda contém argila, areia, silte e traços de minerais que podem ajudar no crescimento das plantas, desde que previamente tratado (VILELLA, 2011).

3.5.3 Aplicação de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Aterro Sanitário

A alternativa de dispor os lodos de ETA em aterros sanitários é recomendada por ser regulamentada pelas legislações ambientais vigentes e viáveis tecnicamente. Mesmo adotando-se outras formas de disposição final, propõe-se prever a utilização de aterros sanitários como opção de armazenamento destes lodos (JANUÁRIO e FERREIRA FILHO, 2007).

Segundo Fontes (2008) a grande preocupação em dispor corretamente o lodo de ETA está na presença de metais na composição desse resíduo e no aumento do volume de chorume gerado durante o processo de degradação, quando o lodo é disposto em aterros sanitários, contribuindo para a geração de impactos adversos ao meio ambiente, entre eles: água, solo, flora e fauna e na saúde da população, quando aqueles são depositados de forma inadequada. Desta forma, faz-se necessária a análise da interação das substâncias químicas presentes na composição do lodo de ETA com os resíduos de origem predominantemente doméstica.

Para que o lodo seja disposto em aterros sanitários, em células impermeabilizadas e recoberto com terra, é necessário que ele siga padrões e não ultrapasse alguns valores máximos especificados para certos parâmetros, embasados na legislação ambiental. É de extrema importância que ele não seja classificado como resíduo perigoso, assim, não pode ser tóxico, corrosivo, inflamável, irritante, sensibilizador forte ou material que produz calor ou pressão, através da decomposição (CORDEIRO, 2003).

Além dos aspectos citados pelo autor, é necessário também evitar que existam líquidos livres em sua composição. Assim, não haverá percolação e nem a possibilidade de elementos carregados contaminarem águas subterrâneas ou comprometerem a qualidade do solo.

De acordo com Guerra e Angelis (2005) no Brasil, o aterro sanitário é considerado como umas das alternativas viáveis para a disposição final dos lodos de ETA, tendo em vista que a aplicação de lodo ao solo do aterro sanitário não interfere de forma negativa no processo de biodegradação.

3.5.4 Descarga de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)

Segundo Di Bernardo *et al.* (2002) *apud* Andrade, Silva e Oliveira (2014) métodos de disposição do lodo gerado na ETA tem sido observados em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, em que ocorre seu lançamento nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) via rede coletora de esgoto ou por meio de transporte em caminhão. Tal alternativa torna-se atraente, pois elimina a implantação de um sistema de tratamento na própria ETA. No entanto, o que ocorre é a transferência do gerenciamento para a administração da ETE.

Tsutiya e Hirata (2001) *apud* Hoppen (2006, p. 22) dizem que para descargas entre 150 a 200mg/L do lodo de ETA transferidos para ETE, não se observam nesta técnica efeitos negativos, só em casos de altas concentrações de sólidos dissolvidos acarretando a inibição do processo biológico que ocorre na ETE. Contrariamente a isso, podem-se observar efeitos positivos com a aplicação do lodo de ETA em redes de esgoto sanitário, aumentando a eficiência dos decantadores primários, removendo fósforo e controlando o sulfeto de hidrogênio (H₂S).

Para a utilização dessa prática é necessário pré-tratamento do lodo de ETA antes do lançamento na rede coletora, quando o mesmo apresenta uma alta concentração de sólidos totais dissolvidos. O autor afirma que os requisitos mais comuns, indicados pelas concessionárias, para a aplicação do lodo de ETA na ETE são: equalização do volume a ser disposto; ajuste do pH quando necessário; atendimento aos limites para recebimento de efluentes não domésticos em sistema público de esgotos, tais como, sólidos totais, metais pesados, sulfatos, sulfetos, etc., (ASSIS, 2014).

Apona-se que as principais limitações para esta prática se devem: à aplicação de padrões mais rígidos no pré-tratamento de esgotos, à baixa capacidade das estações de tratamento de esgoto para receber este resíduo sólido, a possíveis impactos no desempenho dos digestores e a necessidade de atender padrões de emissão mais restritivos para o efluente final e ainda a tarifa aplicada pelas concessionárias para recebimento deste tipo de resíduo (HOPPEN *et al.*, 2006). No entanto, suas características diferem muito das que possuem os esgotos domésticos, ou seja, caso as análises químicas apontem toxicidade do lodo de ETA, este tipo de disposição pode comprometer o bom funcionamento da ETE e afetar a qualidade do corpo d'água que recebe o efluente do tratamento (DI BERNARDO *et al.* 2002 *apud* ANDRADE; SILVA; OLIVEIRA, 2014, p. 8).

3.5.5 Utilização de Lodo de Estação de Tratamento de Água na Fabricação de Cimento, Concreto e Material Cerâmico

Os diversos elementos que compõem o lodo de ETA são semelhantes aos que compõem o cimento. Dessa forma, destaca-se que os principais componentes encontrados em ambos são: Óxido de cálcio (CaO), Dióxido de silício (SiO₂), Óxido de alumínio (Al₂O₃) e Óxido de ferro (Fe₂O₃). O lodo de ETA pode ser utilizado em determinadas proporções como fonte de menor custo de óxidos. Além disso, ele ainda possui grande quantidade de areia e argila em sua composição, o que pode ampliar seu uso (HOPPEN *et al.*, 2006).

Hoppen *et al.* (2006) ainda destaca que os materiais usados na produção do cimento são calcário, xisto e argila, porém os elementos considerados como cruciais para esta produção são cálcio (Ca), sílica (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe).

Nesse contexto, Sales (2006) ressalta que o lodo de ETA geralmente apresenta todos os elementos que faltam e precisam ser introduzidos nos processos de pré-homogeneização das matérias-primas durante a fabricação de cimento. Portanto, segundo Richter (2005) para atingir as quantidades ideais de cada elemento, as indústrias de cimento adicionam outros materiais como argilas, xistos, minério de ferro e bauxita. Então, a diminuição de matéria-prima requerida pode reduzir os custos da indústria.

No entanto, deve ser observado que existem algumas propriedades químicas associadas ao lodo de ETA que são danosas à produção de cimento e que podem comprometer a qualidade do produto, ou mesmo inviabilizar a sua utilização na fabricação do cimento, são elas: presença de altas concentrações de matéria orgânica, antracito ou carvão ativado granular (CAG), sulfato (SO₄²⁻), enxofre (S), permanganato de potássio (KMnO₄) e altas concentrações de metais pesados, fazendo-se necessário conhecer estas propriedades antes de utilizá-lo.

De acordo com Richter (2005) e Sales (2006) a viabilidade comercial da inclusão destes resíduos no cimento, a garantia de abastecimento regular de matéria-prima e a economia com transporte foram consideradas detentoras da mesma importância que a composição qualitativa dos resíduos.

É considerada também como uma alternativa para disposição final de resíduo a incorporação do lodo de ETA na matriz de concreto, pois, além de ser uma prática ecologicamente correta pode trazer benefícios para as estruturas, como resistência mecânica.

Os ensaios de resistência axial e absorção realizada por Richter (2005) e Sales (2006) em amostras de concreto com adição de lodo de ETA seco, demonstraram que este tipo de concreto é recomendado para aplicações não estruturais, como: construção de contrapiso,

argamassas para assentamento de componentes e confecção de blocos de concreto de uso não estrutural, além de outras aplicações que não exijam resistências elevadas.

Conforme Hoppen (2006):

A incorporação do lodo centrifugado de ETA em matriz de concreto pode ser uma alternativa para minimizar os impactos ambientais oriundos da disposição inadequada em corpos d'água, porém, destaca-se que mesmo que o concreto no qual foi adicionado lodo de ETA atingisse os padrões necessários para utilização em concreto estrutural, este uso deveria ser evitado pelo desconhecimento das interações químicas existentes entre o mesmo e o concreto e, principalmente, pela provável ocorrência de atividade corrosiva.

Apontada em diversos estudos como uma prática que é também viável, encontra-se o reaproveitamento de resíduos provenientes de processos industriais para obtenção de produtos cerâmicos destinados à construção civil. Considerada, portanto, como uma das soluções para o problema ambiental associado ao descarte de resíduos poluentes.

Dentro do segmento da construção civil, o lodo de ETA além de ser utilizado na fabricação de cimento, pode ser aplicado também na confecção de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos, lajotas e outros blocos. Esta atividade vem se mostrando uma alternativa adequada, viável e vantajosa de destinação final (MACHADO; DE ARAÚJO, 2014).

O lodo de ETA é adicionado ao processo durante a etapa de preparação da massa cerâmica e auxilia na correção de umidade. Isso pode ser feito manualmente, com pás carregadeiras, ou em olarias mais tecnológicas, utilizando-se equipamentos apropriados. Este pode ser aplicado durante a realização do processo de fabricação dos materiais cerâmicos ou indiretamente na própria jazida onde a argila é extraída.

De acordo com Assis (2014), o sucesso ou falha da utilização desse lodo em compósitos cerâmicos depende dos seguintes fatores: proximidade entre a indústria cerâmica e a estação de tratamento de água, características físico-químicas do lodo de ETA, coagulantes e outros produtos químicos utilizados no processo de tratamento de água, aceitação deste resíduo pelos ceramistas e os impactos que este uso possa causar nas operações normais da indústria.

A composição granulométrica das massas cerâmicas exerce um papel fundamental no processamento e nas propriedades dos diversos tipos de produtos. Assim, Sales (2006) aponta que a introdução de materiais não plásticos, como a areia e o pó de carvão, que o lodo de ETA pode possuir, em maior ou menor quantidade, altera a granulometria das massas, podendo haver alterações negativas em seu comportamento durante o processo.

Segundo o autor, este processo ocorre porque a areia e o pó de carvão são constituídos de partículas de tamanhos consideravelmente maiores que as das argilas. Outro ponto que deve

também ser observado é que a umidade contida no lodo de ETA é muito importante para seu manuseio e incorporação no processo de obtenção de materiais cerâmicos.

Silva *et al.* (2009) analisou a incorporação de lodo de ETA na fabricação de tijolos de solo-cimento, e nos tijolos nos quais incorporou 3 e 5% de lodo obtiveram-se características construtivas dentro da NBR 10836:1994 (ABNT, 2004a).

3.5.6 Outras Alternativas para Destinação e/ou Utilização de Lodo de Estação de Tratamento de Água

A incineração pode ser considerada uma alternativa disponível. No entanto, esta possui custos elevados, além de resultar em cinzas, as quais também necessitam de disposição final adequada (REALI, 1999).

Cordeiro (2003) e Andrade, Silva e Oliveira (2014) acreditam que a recuperação do coagulante de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) vem despertando grande interesse, pois esta alternativa, além de reduzir cerca de 80% do volume do lodo de ETA, possui a vantagem de recuperar o alumínio.

Este alumínio recuperado poderá voltar a ser reutilizado na coagulação para remoção de fósforo em efluentes de tratamento de esgoto, como também permite minimizar os custos e os problemas associados à disposição final deste lodo no meio. A redução destes custos pode chegar a valores próximos de 45% (CORDEIRO, 2003; ANDRADE; SILVA; OLIVEIRA, 2014).

As opções tecnológicas que se encontram disponíveis para a realização da recuperação de coagulantes de lodo de ETA são: recuperação pela via ácida, recuperação pela via alcalina, extração com solventes orgânicos e extração com quelantes. Dentre as quatro, a que alcançou o maior desenvolvimento industrial foi à recuperação pela via ácida (GONÇALVES *et al.*, 2018).

Outra forma de utilização do lodo de ETA é processo de compostagem, que de acordo com Tallini Junior (2009) se dá através do preparo do lodo de ETA que será aplicado na agricultura. Este processo possibilita uma transformação biológica na fração orgânica que leva à estabilização e redução no peso e volume do produto final. O material final obtido é de natureza orgânica, sendo estável e muito similar ao húmus.

Ressalta o autor que este processo é ecológico, dinâmico e complexo, e a temperatura e assimilações de nutrientes são variáveis com a atividade microbiana. Com o objetivo de uso agrícola, o lodo deve ser processado para reduzir a umidade, aumentar a proporção

Carbono/Nitrogênio (C/N), alterar a estrutura física e diminuir a presença de microrganismos patogênicos (TALLINI JUNIOR, 2009).

3.6 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS

Com o advento de novas tecnologias, intensa industrialização, crescimento populacional, aumento de pessoas em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, a geração de resíduos transformou-se em graves problemas urbanos. Estes problemas caracterizavam-se pelo aumento do volume dos resíduos gerados, escassez de área de deposição para os mesmos, causados pela ocupação e valorização de áreas urbanas, altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN; 2001).

Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, em que se evidenciou destacar estudos de soluções para os problemas socioambientais, houve a necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos (GÜNTHER, 2000). Neste sentido, pesquisas vêm sendo realizadas, a fim de incorporar estes resíduos na produção de novas matérias (SOARES, 2020).

Os resíduos no estado sólidos e semissólido resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de limpezas de ruas. Nesta definição, incluem-se, também os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas 10004:2004, para sua destinação final, necessita-se passar por soluções técnicas e economicamente viáveis, face à melhor tecnologia disponível.

Segundo Pimentel (2005), como técnicas de redução da geração de resíduos sólidos, agregando a este certo valor econômico, pode-se citar:

- A redução do resíduo na sua origem, diminuindo o volume e/ou o peso do resíduo gerado;
- A reutilização do mesmo no processo produtivo, podendo esse ser aproveitado na composição original ou em uma de suas etapas, sem necessidade de uma transformação no mesmo;
- A reciclagem do mesmo, ou seja, a transformação ou o seu reaproveitamento como matéria-prima, em novos produtos, após algumas modificações físicas, químicas ou biológicas.

A Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina as condições que devem ser cumpridas para o lançamento de efluentes de qualquer

fonte poluidora, direta ou indiretamente nos corpos d'água. Tais condições impedem o lançamento, sem prévio tratamento, do lodo produzido na ETA, devido à grande concentração de sólidos sedimentáveis presentes neste resíduo (MMA, 2005). Desta forma, uma alternativa eficaz e economicamente viável para redução do lodo gerados na ETA é a reciclagem ou reutilização, reduzindo os impactos ambientais ocasionados pelo descarte final deste lodo no meio ambiente.

Afirmam John (2000); Levy (1997) e Pinto (1999) que a construção civil tem um grande potencial de utilização dos resíduos, uma vez que ela chega a consumir até 75% de recursos naturais. Visto isso, esse lodo de ETA vem sendo reutilizado como matéria-prima alternativa no setor da construção civil como agregados leves, concretos e produtos cerâmicos. Favorecendo a construção civil, o mercado e o meio ambiente que poderão passar a utilizar novos elementos denominados ecologicamente corretos.

3.7 MATERIAL CERÂMICO APLICADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Tallini Junior (2009) o termo “cerâmica” vem da palavra grega *keramikos*, que significa “matéria-prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis destes materiais são normalmente atingidas por meio de um processo de tratamento térmico a alta temperatura conhecido como ignição.

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica, cerâmica compreende aqueles materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno. São materiais que possuem argila em sua composição e que devido a este fator apresentam cor avermelhada (Figura 02).

Figura 02 - Material Cerâmico Aplicado na Construção Civil.



Fonte: Revista ANICER (2020).

Ressalta ainda o autor, que os materiais cerâmicos são compostos de elementos metálicos e não metálicos, frequentemente óxidos, nitretos e carbetos, como caulim, óxido de ferro, sílica livre, alumina livre, álcalis, sais solúveis, matéria orgânica e água. Estes materiais são tipicamente isolantes à passagem de eletricidade e calor, e são mais resistentes a altas temperaturas e ambientes abrasivos do que os metais e polímeros. Com relação ao comportamento mecânico, os cerâmicos são duros, porém mais quebradiços.

A argila é uma matéria-prima utilizada na fabricação de uma série de produtos cerâmicos, apresenta resistência mecânica após queima adequada para uma série de aplicações, possibilita a aplicação de técnicas de processamento simples, e está disponível em grandes quantidades. A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que pode ser aglomerado ou um pó, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade (PAIXÃO; TENÓRIO; ESPINOSA, 2004).

A indústria cerâmica é uma das que mais se destaca na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, pois possui uma elevada produção, o que permite que um grande volume de resíduo seja reutilizado.

3.7.1 Produção de Material Cerâmico Aplicados na Construção Civil com Adição de Lodo de Estação de Tratamento de Água

Estudos realizados no Brasil sobre as características das "cidades sustentáveis" apontaram a indústria da construção civil como um setor a ser aperfeiçoado, uma vez que causa grande impacto sobre o meio ambiente em razão do consumo de recursos naturais ou extração de materiais de jazidas; do consumo de energia elétrica nas fases de extração, transformação,

fabricação, transporte e aplicação; da geração de resíduos decorrentes de perdas, desperdício e demolições, bem como, do desmatamento e de alterações no relevo (BRASIL, 2002a).

Segundo Karpinsk *et al.*, (2009), a construção civil contribui significativamente para o crescimento econômico do país, gerando emprego, renda e comercialização de insumos, equipamentos e serviços em seu processo produtivo. O grande desafio do século XXI será, sem dúvida, conciliar desenvolvimento econômico e preservação ambiental, compatibilizando atividade produtiva com conceito de desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, aponta-se também que a indústria de cerâmica vem desenvolvendo tecnologias em que destacam a reciclagem e a reutilização de resíduos industriais e urbanos (SANTOS, 2020).

Isso ocorre, devido a sua produção elevada, permitindo assim, que um grande volume de resíduo seja utilizado. Além disso, as características físico-químicas das matérias-primas e o seu processamento favorecem a incorporação do lodo de ETA na massa da cerâmica (KARPINSK *et al.*, 2009).

Portanto, a grande quantidade de lodo gerado na ETA pode diminuir a quantidade de argila utilizada no processo de fabricação desses materiais, aumentando o tempo de vida útil das jazidas naturais, visto que, de acordo com Santos (2016), o lodo de ETA apresenta características físico-químicas muito similares com a dos materiais cerâmicos.

Andrade (2005) verificou em seus estudos a incorporação do lodo de ETA na argila na fabricação de bloco cerâmico nas proporções de 1:4 – 1:5 – 1:8 – 1:10, normalmente utilizada, de modo a atender aos requisitos básicos de produto e do método de fabricação. Nestes estudos foram incluídos os seguintes parâmetros na caracterização: compostos orgânicos voláteis, cloretos e compostos organo-halogenados. Segundo Ramires *et al.*, (2001) em suas pesquisas, a maioria dos testes específicos são realizados utilizando o lodo de ETA na proporção de 5% a 10% em sua composição.

Diante das pesquisas dos autores, concluiu-se que a adição entre 5 e 10% em massa de lodo de ETA não altera significamente as características de dimensões, esquadro e planeza, absorção de água e de resistência dos blocos. Portanto, o lodo de ETA em relação aos termos de composição mineralógica, granulométrica e plasticidade podem substituir as misturas de argilas, extraídas em jazidas naturais, na cerâmica.

Conforme Santos (2016) *apud* Cornweel *et al.* (2000) para que ocorra esta incorporação é muito importante que se conheça a umidade contida no lodo de ETA para sua incorporação no processo de obtenção dos materiais cerâmicos, geralmente, preferem-se lodos que apresentem teor de umidade de aproximadamente 20%.

Nos estudos de Oliveira, Machado e Holanda (2004) destacam-se que vários outros resíduos industriais são absorvidos pela indústria cerâmica, podendo citar os resíduos de mineração, da indústria do papel e celulose, metalúrgica, entre outros, que independentemente de sua origem, têm utilização cada vez maior como matérias-primas alternativas na indústria cerâmica.

Os autores mencionam ainda que em relação às massas utilizadas na indústria de cerâmica tradicional, estas são de natureza heterogênea, geralmente constituída de materiais plásticos e não plásticos, com um vasto espectro de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significantes. Nesse contexto, tem-se que a composição granulométrica das massas de cerâmica exerce papel fundamental no processamento e nas propriedades dos diversos tipos de produtos.

Dessa forma, Andrade (2005) diz que é de considerável importância também que a composição granulométrica desse lodo esteja com características semelhantes a da argila. No entanto, a presença de areia e de pó de carvão no lodo pode provocar expansões e fissuras no material cerâmico acabado devido à diferença de tamanho de suas partículas que se apresentam maiores que as da argila.

Na pesquisa desenvolvida por Silva (2011) foram utilizadas cinzas leves de carvão geradas em usinas termelétricas e lodo gerado em Estação Tratamento de água como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos. O autor aponta que os compósitos produzidos dessa mistura tinham as proporções mássicas cinza:lodo:solo:cimento de 8:20:60:12 e atendiam aos requisitos mínimos quanto a compressão e a absorção de água constantes na Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10836:2013 - Bloco de solo-cimento sem função estrutural: Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio, podendo ser recomendado para uso na construção civil. Esses compósitos foram classificados com classe II - não inerte.

De acordo com as pesquisas realizadas sobre essa temática, observa-se que identificar a umidade contida no lodo de ETA é muito importante para seu manuseio e incorporação no processo de obtenção de materiais cerâmicos. Assim, são realizados vários ensaios de incorporação de lodo da ETA a argila, em diferentes dosagens, para confecção de blocos cerâmicos (SANTOS; LENZ; ZARA, 2011).

Nestes estudos foi analisado que a incorporação deve ser feita caso a caso, de modo a verificar a compatibilidade entre os materiais e os processos de fabricação envolvidos. Portanto, a contribuição do lodo da ETA como matéria prima possui certa significância. Tanto a indústria cerâmica quanto a estação de tratamento de água concordam que esta aplicação é

ambientalmente correta e que poderá preservar espaço valioso nos aterros sanitários e leitos de rios.

Com base nas explanações apresentadas, compreende-se que as principais vantagens de reciclar um resíduo são: preservar os recursos naturais, ou seja, menor consumo de matéria-prima; proteger o meio ambiente (menor quantidade de resíduos a serem dispostos) e poupar energia no processo de transporte, entre outros.

3.7.2 Tijolos Ecológicos com Adição de Lodo de Estação de Tratamento de Água

Tijolos ecológicos correspondem a uma inovação na área de materiais de construção, sendo estes materiais capazes de provocar uma revolução nas estruturas de alvenaria. Essas peças visam à sustentabilidade e a preocupação com a preservação do meio ambiente (MACHADO; ARAÚJO, 2014).

O primeiro tijolo ecológico desenvolvido foi denominado solo-cimento por ser produzido pela mistura dos dois materiais. Em sua composição existe uma maior quantidade de areia para uma pequena porção de cimento, sendo este o motivo para a ordem de seu nome: solo-cimento. Quando executada a cura e a escolha do solo corretamente, os blocos de solo-cimento concedem ao seu emprego na obra a mesma segurança e estabilidade que os tijolos maciços e blocos cerâmicos queimados convencionais, mantendo uma boa resistência à compressão simples (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2008) (Figura 03).

Figura 03 - Tijolo Ecológico (Solo - Cimento).



Fonte: Mapa da Obra (2018).

O material utilizado para a fabricação dos tijolos ecológicos diferencia dos tijolos tradicionais que, geralmente, utilizam a argila pura, retirada do fundo de vales e encostas de rios, o que prejudica a vegetação do entorno. Além disso, evita a queima de madeira ou carvão pelo fato dos tijolos ecológicos não exigirem cozimento. A queima de matéria orgânica como

carvão e madeira resulta na emissão de gás carbônico para a atmosfera, uma das principais causas do aquecimento global (SILVA, 2011).

E é assim, denominado ecológico, por atenuar a agressão ambiental em razão da diminuição da extração de argila, da baixa emissão de CO₂ na atmosfera e da redução na derrubada de árvores para queima.

Segundo Santos *et al.* (2009), esse tijolo possui inúmeras vantagens, podendo economizar de 30 a 50% o custo total de uma construção. Entre as inúmeras vantagens temos que: maior resistência mecânica, possui maior isolamento acústico e térmico, combate a umidade, possui um menor peso e gerar menores quantidades de resíduos derivados do processo construtivo.

De acordo com Teixeira *et al.* (2006), atualmente existem alternativas para confeccionar tijolos ecológicos utilizando lodo de ETA. Estudos foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar a viabilidade da utilização dos lodos dos decantadores das estações de tratamento de água, juntamente com o agregado reciclado miúdo de resíduo da construção civil, na fabricação de tijolos estabilizados com cimento. Procurou-se incorporar a máxima quantidade de lodo e minimizar a de cimento.

Desta forma, Teixeira *et al.* (2006) investigaram as proporções mássicas cimento: agregado reciclado miúdo:lodo de 5:85:10, 5:80:15, 5:75:20, 5:50:25, 10:80:10, 10:75:15, 10:70:20 e 10:65:25. Para cada uma destas proporções, variou-se, como componente principal de avaliação o teor de umidade do lodo: 0, 50, 70 a 74% e 75 a 80%. Os tijolos foram confeccionados com prensa manual, tipo solo-cimento, e na umidade ótima pré-determinada através de ensaios. Os resultados mostraram que a umidade do lodo influenciou significativamente na qualidade dos tijolos, sendo possível sua confecção somente com teor de umidade abaixo de 50%.

3.7.3 Material Cerâmico para Revestimento Aplicados na Construção Civil

Materiais cerâmicos de revestimento são aqueles materiais na forma de placas, usados na construção civil para revestimento de paredes e pisos em ambientes internos e externos, comumente conhecidos com designações, tais como: azulejo, pastilha, ladrilho, cerâmica, porcelanato, grês, lajota, etc., (DA SILVA FILHO; PIZZOLATO, 2011) (Figura 04).

Figura 04 - Revestimento Cerâmico (Lajotas).



Fonte: Portobello (2019) Disponível <https://www.portobelloshop.com.br/>, acesso: 5/10/2019.

Este material é composto por uma mistura de argilas que passam pelos processos de prensagem, secagem, até serem queimadas a até 1.000°C. De acordo com os autores Da Silva Filho e Pizzolato (2011), as placas cerâmicas de revestimento podem ser aplicadas em áreas residenciais, comerciais, industriais e em locais públicos, como calçadas, paredes internas e externas.

As peças cerâmicas são oferecidas em versões esmaltadas, naturais e em porcelanato e podem ser classificadas em dois grandes grupos: a tradicional e a avançada (puras).

Segundo Da Silva Filho e Pizzolato (2011), o mercado consumidor de revestimentos cerâmicos encontra-se em forte expansão no Brasil. Conforme dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos (ANFACER, 2019), atualmente existem mais de 13.000 pequenas e médias unidades produtivas dispersas em todo o país. Este crescimento na demanda decorre não somente de incentivos do Governo Federal para estimular a construção civil, mas, também de crescentes financiamentos para compra e construção, bem como, de diversos programas específicos do setor público para a construção civil.

Trabalhos reportados na literatura têm mostrado que é possível a incorporação do lodo de ETA como constituintes de massas cerâmicas para a fabricação de produtos para revestimento aplicados na construção civil (PAIXÃO *et al.*, 2008).

Fernandes, Oliveira e Hotza (2003) afirmam que há viabilidade de obtenção de placas cerâmicas para revestimentos utilizados na construção civil, a partir da incorporação de resíduos de diversos setores, a exemplo do lodo de ETA. Nas formulações foram acrescentados percentuais variáveis do resíduo, até 10%, sintetizados entre 900 e 1120°C, sem alterar a qualidade final do produto. Concluindo que é possível utilizar matérias-primas não convencionais e obter um comportamento semelhante aos produtos fabricados com matérias-primas tradicionais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em quatro etapas sequenciais. Primeira parte é referente à revisão da literatura sobre o tema abordado, incluindo o processo de produção, tratamento e gestão do lodo de ETA, a reciclagem, reutilização deste resíduo, resultando do emprego do mesmo na fabricação de um produto final aplicado na construção civil.

Na segunda parte, após o embasamento teórico, caracterizou-se a área de estudo, na qual ocorreram as coletas de amostras das tortas de lodo extraídas dos decantadores da Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB, como também a identificação do ponto de coleta do solo utilizado no material produzido. Em seguida, foram realizadas análises laboratoriais para caracterização desse material coletado, através de análises físico-químicas.

A terceira parte seguiu com os procedimentos experimentais para desenvolvimento do produto, em que as tortas de lodo, após o pré-tratamento, foram moídas e misturadas a amostra do solo e ao cimento, formando uma massa homogênea, tendo sua umidade ajustada entre 5 e 20% e, em seguida, os compósitos foram modelados e secos, baseado esta metodologia em experimentos realizados por Santos (2003).

Por fim, a quarta parte deu-se a avaliação do produto final produzido, analisando seu desempenho, objetivando sua adequação ao uso, através de análises dos parâmetros específicos dos corpos de prova, avaliando a absorção de água, retração linear, retração volumétrica e massa específica aparente, assim como o desempenho ambiental do produto, uma vez que, a reciclagem só pode justificar-se quando for à alternativa de gestão do resíduo menos impactante ao meio ambiente (SANTOS, 2003).

Os métodos de quantificação das proporções de lodo:solo:cimento:água utilizados foram avaliados através de um modelo estatístico, baseados em pesquisas de autores que já trabalharam esta questão, a exemplo de Santos (2003) e Teixeira (2006). Para a produção dos compósitos foram utilizados lodo de Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB, solo obtido da empresa Cerâmica Santa Rosa da cidade de Malta/PB, cimento Portland e água.

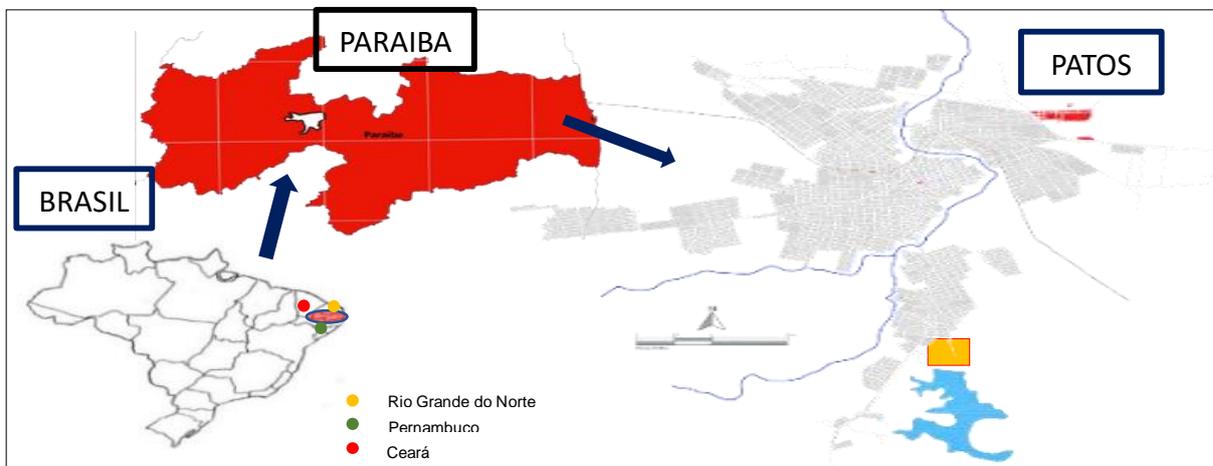
4.1 ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB

A cidade de Patos está localizada no estado da Paraíba, na microrregião de Patos e na mesorregião do Sertão Paraibano. Distante 307 km da capital João Pessoa, sua sede localiza-se

no centro do estado com vetores viários interligando-o com toda a Paraíba e viabilizando o acesso aos Estados do Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará (IBGE, 2017) (Figura 05).

Figura 05 - Mapa Ilustrativo do Estado da Paraíba com Destaque para o Recorte da Cidade de Patos/PB.



Fonte: Autora (2018).

Legenda:

 Estação de Tratamento de Água

Segundo dados do IBGE, em 2017, a população da cidade de Patos foi estimada em 107.790 habitantes. É considerada a terceira cidade polo do estado da Paraíba, devido a sua importância socioeconômica. Apresenta um território de 473,056 km² de área e densidade demográfica de 227,85 habitantes por quilômetro quadrado, dado ao seu crescimento urbano e comercial registrado nas últimas décadas.

Os aspectos geomorfológicos do município encaminham a classificação de depressão, com o registro de pequenos declives, oscilando entre 240 e 580 metros de altitude, com predominância de relevos ondulados e baixa amplitude térmica.

Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário da cidade de Patos/PB são realizados pela Estação de Tratamento de Água (Figura 06) e de competência da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). A Estação de Tratamento de Água (ETA) está localizada na zona urbana, parte sul do município, e segundo dados do Ministério das Cidades/Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2013) esta trata um volume de água potável de aproximadamente 1.205m³/h, que equivale ao abastecimento de 97% da população. A água que é recebida por esta Estação de Tratamento é proveniente de três mananciais, Barragem da Farinha, Capoeira e Açude de Coremas.

Figura 06 - Estação de Tratamento de Água (ETA) Patos/PB.



Fonte: Autora (2018).

A Estação de Tratamento de Água possui uma estrutura com 08 (oito) misturadores que trabalham em velocidades diferentes para dissolver a quantidade de sulfato de alumínio adicionado à água bruta facilitando a formação dos flocos. Existem também, como mostra a (Figura 07), 02 (dois) decantadores de grandes portes, com aproximadamente 05 (cinco) metros de profundidade e 02 (dois) de porte médio (Figura 08), com aproximadamente 03 (três) metros de profundidade. Possui ainda 03 (três) filtros que contém areia, argila, carvão ativado e pedras, com profundidade de 1,5 a 2 metros, aproximadamente (Figura 09).

Figura 07 - Decantador de Médio Porte.



Fonte: Autora (2018).

Figura 08 - Decantador de Grande Porte.



Fonte: Autora (2018).

Figura 09 - Filtros.



Fonte: Autora (2018).

No processo da desinfecção é injetado o cloro na água por 03 (três) bombas e em seguida a água é conduzida para o reservatório da cidade para ser distribuída (Figura 10). Este tratamento é considerado eficaz, pois, está dentro do padrão de potabilidade exigidos pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 (MMA, 2005).

Figura 10 - Bombas de Controle de Distribuição do Cloro.



Fonte: Autora (2018).

4.1.2 Cerâmica Santa Rosa

A Cerâmica Santa Rosa é uma fábrica de material cerâmico, localizada na cidade de Malta, pequena cidade no interior do estado da Paraíba, localizada na Região Metropolitana de Patos. Distante cerca de 332 km da capital João Pessoa e 31km do centro de Patos, seu núcleo urbano importante mais próximo. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nos resultados divulgados do Censo 2010, a população maltense era de aproximadamente 5.612 habitantes. A cidade apresenta a 12ª melhor qualidade de vida da Paraíba.

O solo coletado é proveniente da zona rural de Malta/PB as margens da Cerâmica Santa Rosa (Figura 11). Este solo contendo a argila é normalmente utilizado por esta cerâmica para fabricação de tijolos e telhas cerâmicas.

Figura 11 - Cerâmica Santa Rosa Malta/PB.



Fonte: Autora (2018).

4.2 COLETA E ACONDICIONAMENTO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E DO SOLO

Foram feitas duas coletas do lodo de ETA, provenientes do fundo dos decantadores da Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB, entre os meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019. Para isso, utilizaram-se cinco recipientes de polietileno com tampa e capacidade de 10 litros cada, coletando aproximadamente 50 litros de lodo de ETA (Figura 12). As análises da porcentagem de umidade e matéria orgânica foram realizadas na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES/UEPB) localizada na cidade de Campina Grande/PB.

Figura 12 - Recipiente com Amostra do Lodo de ETA.



Fonte: Autora (2018).

4.2.1 Coleta e Acondicionamento do Solo

O solo utilizado nas análises foi proveniente da região de Malta/PB, e coletado no período de fevereiro a maio de 2019 utilizando-se três recipientes de polietileno com tampa e capacidade de 10kg cada, totalizando uma amostra de aproximadamente 30kg de solo contendo argila (Figura 13). As análises de porcentagem de umidade e características físicas e químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Solos do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Campina Grande, com Polo em Patos/PB.

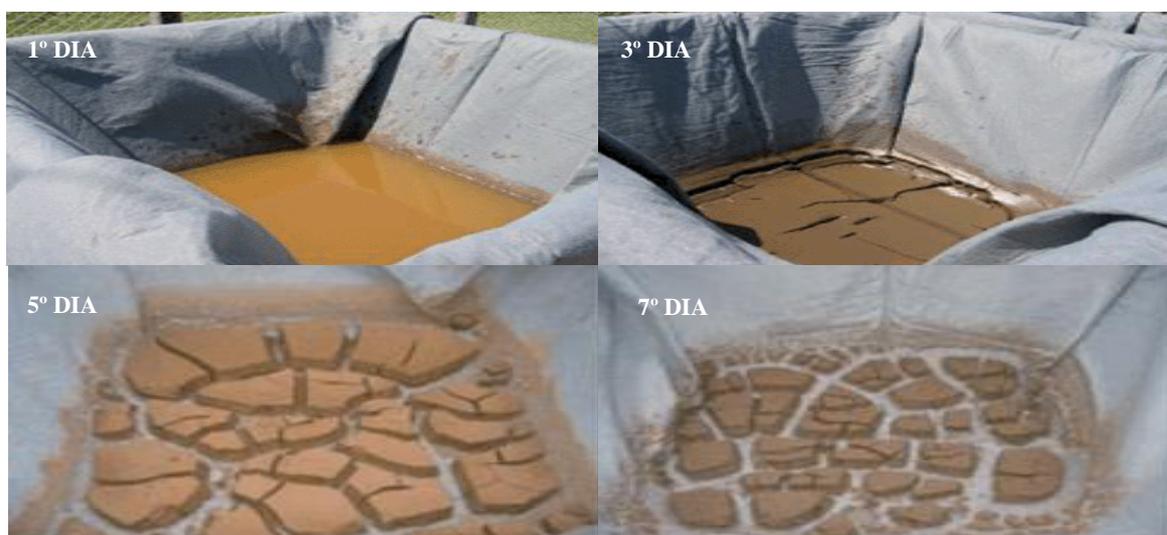
Figura 13 - Solo Coletado

Fonte: Autora (2019).

4.2.2 Caracterização da Umidade do Lodo de Estação de Tratamento de Água

A análise teve como base o método Gravimétrico (APHA, 2012). A desidratação do lodo de ETA foi efetuada através de dois meios, evaporação natural e evaporação artificial através de estufa.

A primeira etapa iniciou-se com a utilização de uma amostra (A) contendo 5.000g do lodo de ETA da cidade de Patos/PB, em seguida, este lodo foi disposto em lonas plásticas para desidratação por evaporação natural, num período de sete dias (Figura 14). Após este processo, o lodo foi pesado novamente, em balança semi-analítica, para identificação do peso restante e da umidade eliminada.

Figura 14 - Amostra de Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB para Secagem por Evaporação Natural.

Fonte: Autora (2018).

Posteriormente, com este mesmo material previamente desidratado naturalmente, foram feitas novas análises da porcentagem da umidade, em triplicata (amostra 1, amostra 2, amostra 3), distribuindo-as aproximadamente 8g deste material em três cápsulas e levadas para a estufa a 105° C, durante 24h, para verificação do teor de umidade ainda existente nas amostras. Repetindo este mesmo processo até peso constante.

Na segunda etapa, as amostras úmidas do lodo de ETA foram desidratadas artificialmente através da estufa. Distribuídas em três cápsulas (amostra 4, amostra 5, amostra 6) contendo aproximadamente 46g cada (Figura 15). Em seguida foram conduzidas para a estufa, à temperatura de 105° C durante 24h. Após este tempo, resfriou-as no dessecador e realizou-se nova pesagem, repetindo este processo até estabilização do peso.

Figura 15 - Amostra de Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB Desidratada Artificialmente Através de Estufa.



Fonte: Autora (2018).

Obedecendo a Associação de Normas Técnicas, NBR 7181:2016 (SOLO-ANÁLISE GRANULOMÉTRICA), o lodo foi destorreado, reservado, acondicionado em recipiente plástico com identificação e disponibilizado para a mistura. Vale ressaltar que o processo adotado na estação de tratamento citada utilizou como agente coagulante sulfato de alumínio.

4.2.3 Caracterização da Umidade do Solo

As amostras do solo foram coletadas em recipientes previamente pesados e lacrados para não perder o teor de umidade original, até o seu manuseio. As amostras foram distribuídas em triplicata, contendo aproximadamente 40g cada e colocadas em estufa a 105°C, num período de 24h, até peso constante. Identificando-se, assim, o teor de umidade do solo coletado. O teor de umidade nos dois casos, foram quantificados aplicando-se a Equação 1:

$$u = \left(\frac{P_f - P_i}{P_i} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde: P_f = peso da amostra seca (g).

P_i = peso da amostra úmida (g).

u = teor de umidade (%).

4.3 DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE MATÉRIA ORGÂNICA (STV) DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Após realização das análises do teor de umidade das amostras de lodo de ETA, verificou-se a quantidade de matéria orgânica (STV) ainda presentes no material estudado.

A determinação do percentual de matéria orgânica através da mufla foi feita seguindo-se o método estabelecido por Goldin (1987), com as seguintes modificações: secagem prévia das amostras em estufa a 105 °C, por um período de 24h, visando eliminar toda a água presente nos resíduos. Após esse período, as amostras foram distribuídas em três cadinhos de cerâmica, pesadas e acondicionadas em forno do tipo mufla e incineradas em uma temperatura de 550 °C, por 1h. Posteriormente, o conjunto (cadinho + resíduos) foi acondicionado em dessecador e, em seguida, pesado novamente, com a finalidade de comparar os valores dos pesos iniciais e finais para obter o percentual de matéria orgânica calcinada.

Este percentual de matéria orgânica presente no lodo de ETA gera influência na qualidade do produto cerâmico com incorporação deste lodo. O percentual de matéria orgânica presente no lodo de ETA foi quantificado aplicando-se a Equação 2:

$$MO = \left(\frac{P_{fm} - P_i}{P_i} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Onde: P_{fm} = peso da amostra após acondicionamento na mufla (g).

P_i = peso inicial da amostra (seca) (g).

MO = percentual de matéria orgânica (%).

4.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DE ETA E DO SOLO

O sulfato de alumínio é o coagulante utilizado na Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB por possuir baixo custo em relação aos outros coagulantes utilizados em escala comercial, facilidade de manuseio e transporte, além de eficiência comprovada. A utilização do sulfato de alumínio também influencia nas características e quantidades de volume de lodo de ETA gerado.

A argila é um material extraído diretamente da natureza, terrosa de granulação fina, que ao ser umedecida com água, geralmente, adquire uma certa plasticidade. Quimicamente as argilas são formadas principalmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, denominados de argilominerais. Em menor quantidade as argilas podem conter substâncias orgânicas, partículas de quartzo, pirita, mica, dolomita, calcita e outros minerais residuais, podendo conter minerais amorfos. Os minerais argilosos mais comuns que são de interesse possuir o que é conhecido por estrutura da caulinita ($[Al_2(Si_2O_5)(OH)_4]$).

Baseadas nessas premissas foram feitas as análises físico-químicas tanto do lodo de ETA, como do solo contendo frações de argila e comparadas a estudos já consolidados, analisando-se suas características e as proporções ideais de lodo-solo para produção de material cerâmico para revestimento aplicados na construção civil, com qualidade e que atenda as normativas vigentes, como Associação de Normas Técnicas NBR 13818:1997 - Placas Cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio, e a Portaria n.º 412 de 01 de setembro de 2014 (Anexo M – Placas cerâmicas para revestimento e porcelanatos).

4.5 MÉTODO DE PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS

A preparação dos corpos de prova foi realizada no Laboratório de Solos da UFCG/PATOS e no Laboratório de Materiais dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil da Unifip, com o auxílio dos equipamentos necessários como: moinho de placas, peneira de malha 12 mesh, balança semi-analítica, molde de metal fabricado com chapa galvanizada, possuindo dimensões (CxLxE) (18,0x4,5x2,5)cm, estufa, molde de metal e cerâmicos, misturadores, paquímetro, etc. Para cada composição determinada, foram confeccionadas 03 (três) amostras com o objetivo de representar estatisticamente os resultados obtidos nos ensaios.

Os corpos de prova foram confeccionados, misturando-se o solo (90 a 98%) o lodo de ETA (2 a 10%), o cimento (6 a 12%) e a água (5 a 20%). A moagem foi realizada em moinho

de placas e o peneiramento em peneira de malha 12 mesh (Figura 16) utilizando-se a regra da mistura de massas.

Figura 16 - Peneira 12 Mesh.



Fonte: Autora (2019).

O cimento utilizado foi do tipo Portland comum, que possui propriedades ligantes por ser constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, que endurece sob a ação da água e que, depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à água, não se decompõe mais, dando resistência mecânica e durabilidade ao material produzido.

A Tabela 04 apresenta o delineamento estatístico das proporções calculadas para a produção dos compósitos, em função dos traços unitários estabelecidos, e com massa mínima de 1000g para a confecção de três compósitos para cada proporção definida.

Tabela 04 - Indicadores do Delineamento Experimental Aplicado.

Nº	LODO DE ETA (%)	UMIDADE (%)	CIMENTO (%)
1	2	5	6
2	2	5	9
3	2	5	12
4	2	12,5	6
5	2	12,5	9
6	2	12,5	12
7	2	20	6
8	2	20	9
9	2	20	12
10	6	5	6
11	6	5	9
12	6	5	12
13	6	12,5	6
14	6	12,5	9
15	6	12,5	12
16	6	20	6
17	6	20	9
18	6	20	12

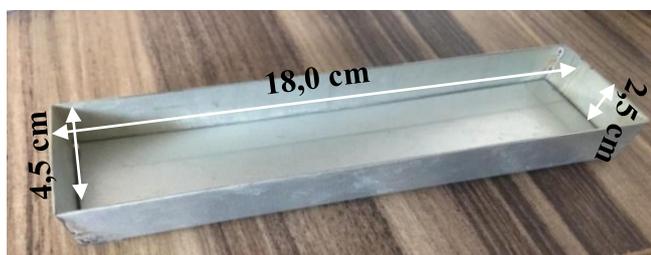
19	10	5	6
20	10	5	9
21	10	5	12
22	10	12,5	6
23	10	12,5	9
24	10	12,5	12
25	10	20	6
26	10	20	9
27	10	20	12

Fonte: Autora (2019). Proporção utilizada

A partir de experimentos realizados tendo como base o delineamento estatístico, foi possível definir a dosagem adequada do lodo de ETA a ser incorporado ao solo para a confecção do material cerâmico para revestimento aplicado na construção civil.

Cada corpo de prova foi preparado de modo que seu peso seco foi de aproximadamente 300g. Os materiais foram pesados em balança semi-analítica e colocados em um recipiente de porcelana para incorporação de água na concentração de 5 a 20% do peso de cada corpo de prova (Cp). Após a mistura ser homogeneizada, ajustou-se a umidade tendo como base o delineamento estatístico de modo que facilitasse a modelagem, sendo, então, a massa colocada nos moldes de metal retangular (Figura 17) para compactação mecânica. Em seguida, as peças foram desmoldadas, pesadas novamente, identificadas e colocadas para secagem natural ao sol, em temperatura média ambiente de 35° C por 24 horas.

Figura 17 - Molde de Metal confeccionado com Chapa Galvanizada.



Fonte: Autora (2019).

Segundo Paixão, Tenório e Espinosa (2004) os corpos de prova devem ser moldados em dimensões que possam ser submetidos ao maior número de ensaios possíveis e também que permita a realização de ensaios simultâneos com maior número de amostras. A massa desses corpos de prova é semi-seca, sendo possível medir após secagem a retração linear ou volumétrica e a massa específica aparente.

4.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES DOS PARÂMETROS ESPECÍFICOS DOS COMPÓSITOS

Foram realizados alguns ensaios laboratoriais dos compósitos com o objetivo de conhecer as características morfológicas do material confeccionado. Nesse sentido, as análises dos parâmetros específicos realizados para os compósitos produzidos foram: absorção de água, retração linear ou volumétrica, porosidade, massa específica aparente.

Segundo Tallini Junior (2009), as propriedades dos materiais cerâmicos são determinadas através das características atômicas e microestruturais dos materiais que os compõem, podendo ser controladas pela seleção das matérias-primas, processo de fabricação e produto, tornando-se de fundamental importância, com a finalidade de minimizar os defeitos micro estruturais.

A absorção da água por imersão é definida como o ganho em peso, expresso em porcentagem, que o compósito apresenta quando introduzidos em água durante um período de tempo determinado, sendo considerado um fator chave no efeito da durabilidade, porosidade e resistência do material cerâmico para revestimento. Sendo assim, os compósitos secos foram pesados e em seguida imersos em água, durante 24h. Após este processo, os mesmos foram pesados novamente, identificando-se a porcentagem de água absorvido pelos compósitos.

A expressão matemática utilizada neste processo foi a Equação 3:

$$Ab_{H_2O} = \left(\frac{P_u - P_s}{P_s} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde: Ab_{H_2O} = Absorção de água pelo compósito (%).

P_u = Peso da amostra úmida (g)

P_s = Peso da amostra seca (g)

Após esta etapa, os compósitos foram novamente submetidos à secagem natural, à temperatura ambiente de cerca de 35° C, durante 24h. Em seguida, realizaram-se novas pesagens e aferições das dimensões, antes de encaminhá-las para a estufa, a temperatura de 105°C, durante 24h. Efetuando sucessivas pesagens, até atingir peso constante. Passada esta etapa, verificou-se novamente as dimensões do compósito, a fim de constatar se houve retração linear e/ou volumétrica.

Sabendo-se que a retração linear ou volumétrica por secagem é dada pela variação do comprimento ou do volume quando o compósito produzido for seco em estufa à 105° C, visto que todas as argilas possuem elevado grau de retração, podendo sofrer deformações do mesmo, identificado como efeito negativo da retração.

Outro fator que está associado a essa absorção de água e a retração linear/volumétrica é a porosidade. Os revestimentos porosos devem apresentar boa estabilidade dimensional durante a sinterização, ou seja, não apresentar alterações nas suas dimensões, apresentando baixos valores de retração linear. A porosidade classificada como aberta deve estar entre 10 e 20% expressa como a capacidade de absorção de água. E a presença de carbonatos na massa cerâmica é de fundamental importância, pois, garante a porosidade necessária a este tipo de revestimento e está de acordo com a classificação da norma Brasileira NBR 13818.

A massa específica aparente (densidade) é uma propriedade importante no processo cerâmico que está relacionada com os valores de resistência à flexão dos compósitos, como também a absorção de água e retração linear. O aumento dessa massa específica aparente durante a compactação é uma decorrência da deformação plástica dos grânulos que se deformam ao ocupar os espaços vazios que havia entre eles (porosidade intergranular). A massa específica aparente é dada pela razão entre a massa e o volume do mesmo, e a única forma de se aumentar esta massa específica aparente é através da redução do volume (TALLINI JUNIOR, 2009, *apud* CASAGRANDE, 2002).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB são removidas as impurezas coloidais e em suspensão existentes na água bruta, na forma de materiais inertes a exemplo de areia, pedaços de vegetais, organismos vivos e partículas dissolvidas desses materiais, responsáveis pela cor e turbidez da água, transformando-a em água potável para abastecimento da população.

E em decorrência deste processo geram-se resíduos nos decantadores classificados como resíduos sólidos, denominados de Lodo de Estação de Tratamento de Água e precisam ser dispostos sem que provoquem danos ao meio ambiente. Atualmente identificou-se que há uma disposição inadequada deste lodo, sem nenhum tratamento prévio. Visto esta problemática, gerou-se uma preocupação ambiental, motivando esta pesquisa sobre possíveis usos deste lodo na fabricação de material cerâmico para revestimentos aplicados na construção civil.

Atualmente, o volume gerado de lodo de ETA da cidade de Patos/PB é muito grande, pois trata um volume de água potável de cerca de 1.205m³/h, que equivale ao abastecimento de 97% da população, gerando, assim, aproximadamente 65 toneladas/mês de lodo.

Considerando que a massa específica do lodo de ETA varia de acordo com as concentrações de sólidos presentes, com peso específico estimado em 1,5 kg/m³, derivado do uso de sulfato de alumínio no processo de coagulação e do índice de turbidez da água bruta, foi possível estimar a quantidade de lodo no mês gerado nesta estação.

Para utilização de proporções deste lodo no processo de fabricação de material cerâmico para revestimento aplicados na construção civil, ensaios foram realizados na produção dos compósitos cerâmicos, testando proporções adequadas do uso deste lodo incorporando-o ao solo, cimento e água. Obtendo-se proporções de 10% / 20% / 9% (lodo/umidade/cimento).

Considerando esta proporção de lodo de ETA utilizado na produção do compósito, estimada em 10%, e a quantidade de lodo produzido derivado do processo de potabilização da água, sendo de aproximadamente 65 toneladas/mês, estima-se que este volume daria para produzir cerca de 72 mil peças de cerâmicas de revestimento por dia.

Em estudo sobre a viabilidade econômica da produção deste cerâmico, estima-se que o retorno é considerado excelente, visto que giraria em torno de 60%. Para cada R\$ 1,00 investido, tem-se retorno de R\$ 0,60, além dos riscos de níveis baixos.

Os compósitos cerâmicos produzidos foram submetidos a análises de parâmetros específicos, como retração linear, retração volumétrica, massa específica aparente e absorção de água, que atendessem as exigências da Associação de Normas Técnicas NBR 13818:1997 -

Placas Cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio, e a Portaria n.º 412 de 01 de setembro de 2014 (Anexo M – Placas cerâmicas para revestimento e porcelanatos).

5.1 TEOR DE UMIDADE DO LODO DE ETA

Os lodos provenientes de decantadores das estações de tratamento de água possuem alto teor de umidade, geralmente superior a 95% apresentando-se em estado fluido, podendo também, conter elevada concentração de matéria orgânica, dessa forma, o correto é que o lodo de ETA seja desidratado antes da disposição final (CORDEIRO, 2003).

Os dados da umidade do lodo da ETA da Cidade de Patos/PB, no qual foi utilizado como método de desidratação à evaporação natural e o uso de estufa durante o período da realização da pesquisa de campo é apresentado na Tabela 05.

Tabela 05 – Resultado do Teor de Umidade das Amostras do Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB, com o Método de Desidratação por Evaporação Natural e o Uso de Estufa.

AMOSTRAS	DESIDRATAÇÃO	PESO INICIAL(g)	PESO FINAL(g)	UMIDADE (%)
A	Evaporação	5.000	835,0	83,3%
1	Estufa	8,027	7,0885	11,7%
2	Estufa	7,3972	6,5363	11,7%
3	Estufa	6,9924	6,0677	13,3%

Fonte: Autora (2019).

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 05 pode-se concluir que o lodo de ETA da cidade de Patos/PB, após desidratação por evaporação natural ao sol (amostra A) possuía 83,3% de umidade. Este mesmo material foi distribuído em três recipientes (amostras 1, 2 e 3) e submetido à desidratação artificial através de estufa, para retirada total da umidade. O resultado observado é que no material ainda havia umidade e que variou de 11,7 a 13,3%.

Segundo Tallini Junior (2009) os processos de desidratação, utilizados para lodo de ETA, têm por finalidade reduzir o percentual de água do lodo a fim de minimizar o volume a ser disposto.

Os dados apresentados na Tabela 06 mostram o percentual de umidade para as três amostras úmidas lodo de ETA da cidade de Patos/PB desidratado apenas artificialmente através de estufa. Resultando num percentual de umidade de 95,2%, ficando apenas 4,8% do material coletado correspondente a material particulado.

Tabela 06 – Resultado do Teor de Umidade das Amostras do Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB, com o Método de Desidratação Artificial através do uso de estufa.

AMOSTRAS	DESIDRATAÇÃO	PESO INICIAL(g)	PESO FINAL(g)	UMIDADE (%)
4	Estufa	45,4959	2,1328	95,3%
5	Estufa	45,9981	2,1640	95,2%
6	Estufa	44,5729	2,1144	95,2%

Fonte: Autora (2019).

A evaporação realizada tanto artificialmente em estufa, quanto naturalmente ao sol revelaram que o lodo de ETA possui um percentual de umidade superior a 95%, constatando-se que estes resultados estão de acordo com estudos abordados na literatura, a exemplo de Cordeiro (2003).

5.2 RESULTADO DO PERCENTUAL DE MATÉRIA ORGÂNICA (SSV) PRESENTE NO LODO DE ETA DA CIDADE DE PATOS/PB

Após ser retirada toda a umidade da amostra, a mesma foi distribuída em 06 recipientes (a, b, c, d, e, f), em seguida foram colocadas no forno Mufla, e após o resfriamento foi quantificado o percentual de matéria orgânica calcinada. Os resultados analisados podem ser observados na Tabela 07.

Tabela 07 – Análise do Percentual de Matéria Orgânica Presente no Lodo de ETA da Cidade de Patos/PB.

AMOSTRAS	FORNO	PESO INICIAL(g)	PESO FINAL(g)	M.O (%)
a	Mufla	20,7353	19,7880	4,50 %
b	Mufla	20,8499	19,8852	4,62 %
c	Mufla	15,6321	14,7090	5,90 %
d	Mufla	14,0633	11,3561	19,25 %
e	Mufla	13,7464	11,2271	18,32 %
f	Mufla	13,1187	10,7576	18,00 %

Fonte: Autora (2019).

Percebe-se através dos dados da Tabela 07 que as amostras a, b e c, que foram desidratadas em duas etapas, uma previamente ao natural ao sol e outra artificialmente via estufa, identificou-se o percentual de matéria orgânica entre 4,5% e 5,9%, ficando numa média de 05,0% resultado este satisfatório, visto que, segundo Cabral Junior (2008) para evitar defeitos nos compósitos cerâmicos, recomenda-se que o conteúdo de matéria-orgânica existente na massa não seja superior a 5%. As amostras d, e, e f que foram desidratadas apenas artificialmente via estufa, apresentaram uma porcentagem de matéria orgânica calcinada entre

18,0% e 19,25%, numa média de 18,52%. Isso quer dizer que na amostra ainda possuía uma grande quantidade de matéria orgânica.

Rodrigues (2013) argumenta que elevada presença de matéria orgânica na amostra de lodo de ETA pode causar alterações nos compósitos cerâmicos, como fissuras e deformações. Assim como, influenciam as reações de hidratação do cimento.

Os resultados apresentados nesta pesquisa auxiliaram nos estudos das várias proporções de porcentagens adequadas para a incorporação do lodo de ETA da cidade de Patos/PB na produção de material cerâmico de revestimentos aplicados na construção civil, sem comprometer a qualidade do material produzido.

5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA AMOSTRA DO SOLO

Primeiramente foi determinado o teor de umidade do solo coletado. O estudo foi realizado com amostra de solo na classe textural 47,9% de argila. O material foi então desidratado artificialmente através de estufa a 105°C por 24h, após esse período, pesou-se o material resultante comparando-o ao peso inicial, repetindo este processo até peso constante.

A amostra foi distribuída em três recipientes, utilizando aproximadamente 40g em cada. Ao final do processo identificou-se uma média percentual de 20%, restando peso médio de 40g. A variação na umidade do solo influencia no processo da mistura (solo/lodo de ETA/cimento) e é de suma importância para as operações mecanizadas e resultado final do material produzido.

No entanto, as argilas são materiais muito heterogêneos, com suas características dependendo da sua formação geológica e localização de extração. Assim, para a utilização das argilas em processos de fabricação de cerâmica é importante e indispensável à identificação também das características química e físico-mineralógicas das argilas, uma vez que, as propriedades do produto final são intimamente dependentes das características das matérias-primas.

Nas tabelas 08 e 09 são apresentados os dados advindos da caracterização física e química do solo que contém argila utilizada pela empresa Santa Rosa, localizada na cidade de Malta no Estado da Paraíba.

Tabela 08 – Resultados da Análise Física do Solo (argila) da cidade de Malta/PB.

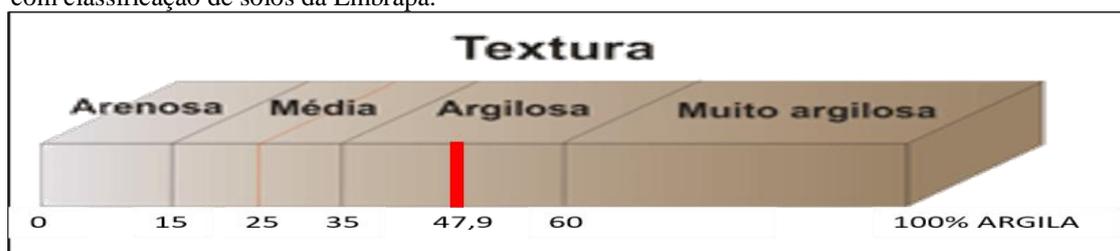
RESULTADO DA ANÁLISE FÍSICA DO SOLO				
Nº AM	GRANULOMETRIA			CLASS. TEXTURAL USDA
	g.kg ⁻¹			
	AREIA	SILTE	ARGILA	
70/2019	323	198	479	Argila

Fonte: Laboratório de Solos e Água (CSTR/UFCG, 2019).

Analisando de forma pontual as granulometrias dos três tipos de substratos que compõe a estrutura física do solo podem ser constatado que o maior percentual é de argila com 47,9% (porcentagem em peso). A segunda maior fração é de areia com 32,3% restando para a fração silte o percentual de 19,8%. Isto, significa dizer que de 01kg de solo utilizado para a fabricação dos compósitos cerâmicos 479g é de argila, 323g é de areia e 198g é de silte.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997), solos com teores de argila entre 35% a 60% classificam-se como argilosos com boa estrutura do tipo montmorilonita, apresentando forte agregação, característica essa que agrega resistência mecânica ao material produzido (Figura 18).

Figura 18 – Intervalos de Percentuais de Argila e a Classificação do Solo Coletado em Malta/PB de acordo com classificação de solos da Embrapa.



Fonte: EMBRAPA (1997).

Mediante os resultados da análise química do solo da Tabela 09, verificou-se que o mesmo tem um pH 5,0 classificado em caráter ácido e com concentrações maiores de P (fósforo) e Ca (cálcio) de 19,4mg. dm^{-3} e 18,0 mol. dm^{-3} , respectivamente. As bases determinadas na análise do solo são cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na). Estes são expressos em porcentagens como índice de saturação por base (V) que atingiu o valor 90,76%. Isto quer dizer que esta amostra de solo possui grandes quantidades de calcário para elevar a saturação destas bases.

Tabela 09 – Resultados da Análise Química do Solo (argila) da Cidade de Malta/PB.

RESULTADO DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO										
AM	pH	M.O.	P	Ca	Mg	K	Na	H + Al	T	V
Nº.	CaCl ₂ 0,01M	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	----- cmolc.dm ⁻³ -----			-----			%
70/2019	5,0		19,4	18,0	4,0	0,36	1,21	2,4	25,97	90,76

Fonte: Laboratório de Solos e Água (CSTR/UFCG, 2019).

Segundo Oliveira *et al.* (2004) frações de calcário acima de 5% conferem características de plasticidade a argila em estado úmido.

Esta saturação por base expressa quanto por cento das cargas negativas estão ocupadas por K, Ca, Mg, Na e possíveis troca de pH 7,0 quando comparado com os pontos ocupados por (H+AL), auxilia

Ainda na Tabela 09 são apresentados os dados da capacidade de troca catiônica (T) que é de 25,97 mol.dm⁻³, ou seja, expressa a capacidade de troca de cátions correspondente à soma das cargas negativas nas partículas microscópicas do solo (fração argila e matéria orgânica) retendo os cátions, tais como cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), alumínio (Al³⁺), hidrogênio (H⁺). De acordo com Cabral Junior (2008) esta capacidade está diretamente ligada com a estruturação e consistência do solo, proporcionando maior resistência ao compósito cerâmico produzido.

De acordo com Macedo *et al.* (2008) uma massa cerâmica não pode ser constituída apenas por argila, em virtude de dificuldade que surgiriam no seu processamento. É formulada contendo materiais não plásticos o que acarreta uma “mistura” de granulometrias, sendo a fração mais “fina” associada à argila e as demais (“mais grosseira”) relacionadas aos materiais friáveis, e deve possuir plasticidade no estado úmido, dureza ao secar e rigidez ao ser queimada.

Ao analisar os resultados físicos e químicos da amostra do solo utilizado para a fabricação dos compósitos cerâmicos, pode-se perceber que o mesmo possui características específicas necessárias para conferir ao compósito cerâmico, resistência e durabilidade. Como também esta caracterização permitiu estimar que a amostra de solo coletada é adequada para a produção deste produto.

5.4 PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS CERÂMICOS

A preparação dos compósitos foi realizada no Laboratório de Solos da UFCG/PATOS,

e no Laboratório de Materiais dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil da Unifip (Patos/PB).

Com a aplicação do delineamento estatístico, estabelecendo as possíveis porcentagens de lodo de ETA, cimento e umidade incorporados a amostra de solo, foi possível realizar 27 (vinte e sete) ensaios, realizados em triplicata, resultando em 81 (oitenta e um) compósitos confeccionados, com a finalidade de estabelecer qual a proporção para o produto final que atendesse as exigências da Associação de Normas Técnicas NBR 13818:1997 - Placas Cerâmicas para revestimento.

Considerando que o material utilizado na confecção dos compósitos foi uma amostra de solo com uma proporção de 47,9% de argila, então se estima que um compósito úmido pesando 241g, utilizando as proporções de 10% de lodo, 9% de cimento e 20% de umidade, conterà em massa 24,1g de lodo de ETA, 21,7g de cimento, 48,2g de água e 147g de solo contendo 70,4g de argila, restando 47,5g de areia e 29,1g de silte.

Estas frações de solo, lodo de ETA, cimento e água, foram pesadas e misturadas, formando uma massa homogênea, modeladas em formas e expostas para secagem natural ao sol à temperatura média de 35°C e artificialmente em estufa a 105°C, ambos durante 24h (Figuras 19 e 20).

Figura 19: Compósitos cerâmicos úmidos.



Fonte: Autora (2019).

Figura 20: Compósitos cerâmicos secos.



Fonte: Autora (2019).

Os compósitos após secagem apresentaram relevo sobre a superfície e texturas táteis e visuais, configurando a eles um aspecto rústico. A cor exibida pelo produto foi em tons de marrom, aspecto atribuído, segundo Roveri (2007), a presença de óxido e hidróxidos de ferro na amostra de solo utilizado.

Para Parra (2006), as propriedades óticas da superfície de um revestimento cerâmico constituem atualmente objeto com grande atrativo para os fabricantes e consumidores, dada à influência das mesmas no aspecto visual e estético do produto. Para os consumidores finais,

muitas vezes a estética do produto acabado assume papel mais preponderante do que as propriedades técnicas que indicam o desempenho do mesmo frente às solicitações exigidas.

A Tabela 10 apresenta os dados em gramas (g) dos compósitos úmidos, variando numa média de 241,0g. Em seguida estes compósitos foram expostos ao sol à temperatura média de 35°C para secagem ao natural, registrando novo peso médio de 197,0g. Após este processo, os compósitos cerâmicos foram submetidos à estufa, finalizando com peso médio de 188,0g. Identificando-se, desta forma, que houve uma redução dessa massa em média de 21,3% referente à quantidade de água eliminada do produto.

Com a análise dos dados da Tabela 10, pode-se perceber que a umidade eliminada pelo compósito está diretamente ligada à quantidade de umidade acrescentada na mistura para modelagem dos mesmos. Segundo Cabral Junior (2008) para o processo de fabricação de compósitos cerâmicos, a massa tem que ser umidificada acima do limite de plasticidade, geralmente com mais de 20% de umidade, assemelhando-se a umidade natural da própria argila.

Tabela 10 – Tabela Quantitativa dos Pesos dos Compósitos Úmidos e Secos.

COMPÓSITO	PESO ÚMIDO (g)	PESO INICIAL (g) (SECO AO SOL)	PESO FINAL (g) (APÓS ESTUFA)	UMIDADE (%)
1	241,00	200,00	190,00	21%
2	244,00	200,00	191,00	21%
3	237,00	191,00	183,00	22%

Fonte: Autora (2020).

5.5 ANÁLISES DOS PARÂMETROS ESPECÍFICOS

Em paralelo a atividade de pesagem dos compósitos cerâmicos, também se verificou suas dimensões nas distintas etapas, considerando comprimento, largura e espessura (CxLxE) em centímetros, com a finalidade de identificar se durante o processo houve retração linear e volumétrica. A Tabela 11 expressa estas dimensões dos compósitos úmidos; após secagem natural ao sol e artificial em estufa, identificando que a maior retração linear ocorreu nas dimensões de comprimento e largura, com uma variação média de 0,1cm. Este fato ocorre em decorrência da eliminação de umidade do compósito que foi em média de 21,3%, fazendo com que ele retraia. Não foi identificada retração linear na espessura do compósito, permanecendo as mesmas dimensões.

De acordo com Sánchez-Muñoz (2002) esta retração linear é diretamente ligada à absorção de água. Quanto maior for à retração, menor será este índice de absorção de água, e vice-versa.

Para que se possa explicar o que acontece, é preciso entender que o volume inicial do compacto é dado pela soma do volume das partículas sólidas, dos espaços vazios entre elas (porosidade) e a água. Esses espaços vazios podem ser: os espaços vazios entre as partículas sólidas dentro dos grânulos (intragranulares) e espaços vazios entre os grânulos (intergranulares). Então, esta retração linear, com a eliminação da umidade, acontece em decorrência da deformação plástica dos grânulos que ao se deformarem passam a ocupar os espaços vazios que passa a existir entre eles. Mediante a porcentagem de retração linear identificada no compósito de 0,58% no comprimento e de 1,90% na largura, pode-se afirmar que pouco influenciou diretamente na seção da área do compósito e que o mesmo atende a NBR 13818/1997 – (Placas Cerâmicas para revestimento).

Tabela 11 - Retração Linear.

COMPÓSITO	ÚMIDO (CxLxE) cm	DIMENSÕES (CxLxE) cm SECO AO SOL	DIMENSÕES (CxLxE) cm APÓS ESTUFA	RETRAÇÃO LINEAR (cm)	DIMENSÕES
1	17,1 x 5,0 x 1,3	17,0 x 5,0 x 1,3	17,0 x 5,0 x 1,3	0,1	Comprimento
2	17,1 x 5,1 x 1,4	17,1 x 5,1 x 1,4	17,0 x 5,0 x 1,4	0,1	Comprimento e largura
3	17,3 x 5,2 x 1,3	17,3 x 5,2 x 1,3	17,2 x 5,1 x 1,3	0,1	Comprimento e largura

Fonte: Autora (2020).

Logo após a conformação do compósito cerâmico, a água encontra-se distribuída, quase que homogeneamente, entre as partículas de argila e outros componentes do solo utilizado. Esta água tem que ser retirada cuidadosamente e de forma homogênea, já que a saída da água faz com que as partículas de argila e outros componentes se aproximem, diminuindo o tamanho do compósito alterando seu volume inicial, a este fenômeno dá-se o nome de retração volumétrica.

Segundo Batista (2009), se a diminuição da umidade não for uniforme, poderá provocar trincas ou, em casos extremos, a quebra da peça. A água, presente no sistema, começa a evaporar pela superfície. Em seguida, a água que se encontra no interior do compósito migra para a superfície para também evaporar. Entretanto, em temperaturas mais elevadas, a evaporação da água pode ocorrer nos próprios poros da peça. Portanto, quanto maior as dimensões do compósito, mais demorado e difícil é o seu processo de secagem. Contudo, desde que a relação área/volume da peça e as condições operacionais dominem o processo, esta afirmação é dependente do tipo e forma do produto.

Neste contexto, é fundamental conhecer os efeitos da secagem e o seu controle, através da uniformidade de temperatura na superfície para secagem compósito, uma vez que estes

alteram as propriedades físicas do produto, e tais alterações afetam sensivelmente o processo de transferência de calor, percebido através do índice de condutividade térmica do compósito.

Na Tabela 12, pode ser observado o volume médio dos compósitos úmidos de 116,73cm³, e dos compósitos após secagem (natural e artificial) de 114,51cm³. Este volume é calculado através do produto das três dimensões (comprimento, largura e espessura), e conseqüentemente, se há diminuição em uma destas três dimensões, também haverá redução do volume. Visto esta retração linear identificada na Tabela 11 calcula-se para a Tabela 12 um percentual médio de retração volumétrica do compósito cerâmico produzido de 1,90%.

Tabela 12 - Retração Volumétrica.

COMPÓSITO	ÚMIDA (cm ³)	VOLUME (cm ³) SECO AO SOL	VOLUME (cm ³) APÓS A ESTUFA	RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA (%)
1	111,15	110,50	110,50	0,58
2	122,09	122,09	119,00	2,53
3	116,95	116,95	114,04	2,48

Fonte: Autora (2020).

Outro parâmetro específico analisado foi à massa específica aparente, que é a relação entre a massa do agregado seco (g) e seu volume (cm³) incluindo os poros permeáveis à água. A Tabela 13 destaca o valor médio da massa específica aparente dos compósitos úmidos de 2,06g/cm³ e de 1,64g/cm³ para os compósitos secos. Isso quer dizer que houve uma redução de 20,38% de sua massa média, visto que inicialmente existia a presença de água, além dos poros permeáveis. Mais uma vez esta proporção se assemelha à quantidade da proporção de água utilizada no processo de fabricação dos compósitos cerâmicos, que de acordo com Cabral Junior (2008) é acima de 20%.

Tabela 13 - Massa Específica Aparente.

COMPÓSITO	MASSA ÚMIDA (g)	VOLUME ÚMIDO (cm ³)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³) (ÚMIDA)	MASSA SECA (g)	VOLUME SECO (cm ³)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (SECO) (g/cm ³)
1	241,00	111,15	2,16	190,00	110,50	1,72
2	244,00	122,09	2,00	191,00	119,00	1,60
3	237,00	116,95	2,03	183,00	114,04	1,60

Fonte: Autora (2020).

Garcez (2018) ressalta a importância de se determinar as massas específicas dos compósitos, pois remete ao fato de que reduções na massa específica, conforme a elevação do percentual de umidade e lodo de ETA utilizados, pode ocasionar redução no limite de resistência.

Segundo De Paula, Quinteiro e Boschi (1997), com o aumento da massa específica do compósito seco, há diminuição tanto da absorção de água como da retração linear após secagem, aumentando o módulo de ruptura à flexão.

Batista (2009) relata que estas perdas de massas específicas, que não sejam decorrentes da eliminação da umidade, não devem ultrapassar 9,0%, para que não haja prejuízos na qualidade do compósito.

O último parâmetro específico analisado foi à absorção de água, que configura como o aumento de massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água, expressa em porcentagem de sua massa seca.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10836:2013, a amostra ensaiada deve apresentar a média dos valores de absorção de água igual ou menor que 20% e valores individuais iguais ou menores que 22% aos 28 dias de idade.

Os compósitos produzidos, após a secagem, foram pesados e submersos em água num período de 24h. Em seguida foram quantificados novamente os pesos, então úmidos, para avaliar o percentual de umidade absorvido pelo compósito cerâmico.

Na Tabela 14, pode-se observar que houve uma variação entre 20,20% a 21,98% de absorção de água pelo compósito, estando numa média de 21,07%, o que atende as exigências da NBR 10836:2013, como também a NBR 13818/1997.

Tabela 14 - Absorção de Água.

COMPÓSITO	PESO INICIAL	PESO APOS A IMERSÃO EM ÁGUA	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
1	190,00	230,00	21,05
2	191,00	233,00	21,98
3	183,00	220,00	20,20

Fonte: Autora (2020).

Para Sánchez-Muñoz (2002), quando os valores de retração linear e absorção de água se mantêm constantes, ocorre à estabilidade dimensional. Esta característica é essencial nos revestimentos, pois implica em dimensões constantes nos compósitos, sem alterar a estrutura, peso, área e volume dos mesmos. A absorção de água também exerce um importante papel na classificação dos compósitos, esta característica está diretamente relacionada à porosidade da peça e também a outras características como resistência mecânica, resistência a baixas temperaturas (Figura 21).

Figura 21 – Classificação das Cerâmicas pelos Grupos de Absorção de Água.

CLASSIFICAÇÃO DAS CERÂMICAS PELO GRUPO DE ABSORÇÃO		
Absorção de água (%)	Produto	Grupo de absorção
Abs ≤ 0,5	Porcelanato	Quase nula
0,5 < Abs ≤ 3,0	Grês	Baixa
3,0 < Abs ≤ 6,0	Semi-Grês	Média
6,0 < Abs ≤ 10,0	Semi-Poroso	Média Alta
Abs > 10,0	Poroso	Alta

Fonte: Programa Qualimat (2009).

Na Figura 22, de acordo com o percentual de absorção de água observado na Tabela 14, no valor médio de 21,07%, pôde-se classificar o compósito cerâmico produzido com adição de lodo de ETA como poroso e de alta absorção, por encontra-se acima de 10%.

Figura 22 – Classificação por Grupos de Absorção de Água.

GRUPOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	
Grupos	Absorção de água (%)
Ia	0 < Abs ≤ 0,5
Ib	0,5 < Abs ≤ 3,0
IIa	3,0 < Abs ≤ 6,0
IIb	6,0 < Abs ≤ 10,0
III	Abs acima de 10,0

Fonte: ABNT NBR 13817 (1997).

O produto também é classificado quanto ao grupo de absorção de água que de acordo, com a Figura 20 faz parte do Grupo III.

De acordo com o Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais, através do Programa Qualimat (2009), os compósitos cerâmicos para revestimento produzidos nesta pesquisa, ainda podem ser classificadas segundo os seguintes critérios: quanto ao acabamento de sua superfície como não esmaltada, quanto ao método de fabricação como placas cerâmicas estruturadas (A) tipo artesanal.

As Figuras 23 e 24 demostram o resultado final dos compósitos, aptos a serem utilizados como revestimento cerâmico na construção civil, podendo ser utilizado sem receber tratamento em suas superfícies (Figura 22) e com tratamento, como resinas, selantes e vernizes (Figura 23), aumentando ainda mais a resistência e durabilidade do produto, além de exaltar seu valor estético, trazendo um aspecto de rusticidade.

Figura 23: Compósitos Aplicados à Parede sem Tratamento na Superfície.



Fonte: Autora (2020).

Figura 24: Compósitos Aplicados à Parede com Tratamento na Superfície.



Fonte: Autora (2020).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disposição final do lodo de Estações de Tratamento de Água é um desafio de proporções mundiais. Desta forma, esse assunto passou a ser discutido e estudado a fim de encontrar soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas e capazes de viabilizar a disposição adequada deste lodo de ETA. No sentido de avaliar a aplicação e/ou reaproveitamento (reúso) desse resíduo, a pesquisa desenvolvida utilizou lodo da Estação de Tratamento de Água da cidade de Patos/PB transformando-o em um material cerâmico para revestimento a ser aplicado na construção civil, como tecnologia inovadora e sustentável ambientalmente.

Com o objetivo de determinar e avaliar as características físicas e químicas do lodo gerado pelo processo de tratamento de água bruta na ETA da cidade de Patos/PB, percebeu-se que o lodo proveniente desta constitui-se num material com grande potencial para aproveitamento na indústria de cerâmica e pode ser considerada uma formulação de massa argilosa natural, o que ocorre devido à eficácia e a influência do sulfato de alumínio, da areia, da argila, do carvão ativado e das pedras utilizadas no tratamento dessa estação.

Objetivando realizar a caracterização física e química do solo coletado (argila) na cidade de Malta/PB, que foi utilizado na produção do material cerâmico desenvolvido na pesquisa para revestimento a ser aplicado na construção civil, constatou-se que era um material terroso de granulagem fina que, quando umedecido com água, adquiria certa plasticidade. Também é um material composto por argilominerais, entre eles, silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Portanto, esse tipo de solo contendo argila tende a deixar mais resistentes os compósitos cerâmicos produzidos como mostra a pesquisa.

É possível concluir que conhecer os efeitos da secagem do compósito produzido e o seu controle é fundamental na produção deste material cerâmicos, pois estes alteram as propriedades físicas do produto afetando sensivelmente o processo de transferência de calor.

A preparação dos compósitos cerâmicos realizados durante a pesquisa apontou que a resistência do material confeccionado com base no aumento da concentração de lodo de ETA variou entre 2% e 10%, sendo utilizado o percentual de 10%.

Demonstrou-se que o lodo de ETA e o solo apresentam características física, químicas e mineralógicas muito distintas. Logo, as diferentes proporções de lodo de ETA, solo e cimento usados na pesquisa para a produção do material cerâmico de revestimento para serem aplicados na construção civil evidenciaram que o lodo de ETA pode ser usado como uma matéria-prima

alternativa de baixo custo em substituição parcial de até 10% em peso de solo na fabricação de compósitos cerâmicos.

Outro ponto observado foi que a incorporação do lodo de ETA provocou alterações nas propriedades tecnológicas (absorção de água, massa específica, retração linear e volumétrica) dos corpos cimentícios, porém resultou em um produto que atendeu as exigências da Associação de Normas Técnicas (NBR 13818:1997) - Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e Métodos de Ensaio, e está apto a ser produzido e utilizado.

A pesquisa desenvolvida encontrou vários desafios, pois a literatura que trata sobre esse tema ainda é escassa, principalmente quando se busca a quantificação dos dados de lodo ETA produzidos na Paraíba. No entanto, com base na literatura consultada e diante das explicações apresentadas, observa-se com relação à adição de lodo de ETA na produção de material cerâmico para revestimentos aplicados na construção civil, que atualmente esta é uma das técnicas mais viável e vantajosa de destinação final deste lodo.

Esta pesquisa pode auxiliar em futuros trabalhos que tenham como objetivo a reutilização e reciclagem do lodo gerado nas estações de tratamento de água, assim como, minimizar os impactos gerados advindos da má destinação deste lodo, chamando a atenção do poder público, para desenvolver políticas de incentivo a destinação final, com tecnologias sustentáveis e ambientalmente corretas, preservando o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S.. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013.

ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA-Lei 12.305/2010. **XIX Exposição De Experiências Municipais Em Saneamento**, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - **Métodos Padrão para o Exame de Água e Esgoto**. 22 ed. Washington, D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2012.

ANDRADE, C. F.; SILVA, C. M.; OLIVEIRA, F. C. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de eta e seus impactos na qualidade das águas. In: **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo Horizonte/MG–2014**. 2014.

ANDRADE, L. R. **Poluição do ambiente aquático por hormônios naturais e sintéticos: um estudo em Poços de Caldas/MG**. São João da Boa Vista, SP: [sn], 2013.

ANDRADE, P. S. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estação de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: Estudo de caso**. 269 p. Campinas – SP: UNICAMP, 2005.

ANDREOLI, C. V. *et al.* **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Projeto PROSAB. 1ª ed. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo: SP, 2001.

ASSIS, L. R. **Avaliação do Impacto em Corpos D'Água Devido ao Lançamento de Resíduos de uma Estação de Tratamento de Água de Juiz de Fora – MG**. Monografia do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Juiz de Fora, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004: Resíduos Sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10836**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 1387**: Placas cerâmicas para revestimento - Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL. **A Lei dos Crimes Ambientais**. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017**. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002 a.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**.

_____. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**: altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Lei 12.305/2010. Brasília, 2010.

_____. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981.

_____. Ministério das Cidades/Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2013.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil- Literature review: reuse of construction and demolition waste in the construction industry. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

BARROS, R. T. V. *et al.* **Saneamento**. Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

BATISTA, V. R.; NASCIMENTO, J. J. S.; DE LIMA, A. G. B. Secagem e retração volumétrica de tijolos cerâmicos maciços e vazados: uma investigação teórica e experimental. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 14, n. 4, p. 1088-1100, 2009.

CABRAL JUNIOR, M. *et al.* **RMIs: argila para cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008.

CASAGRANDE, M. N., **Efeito da adição de chamote semi-gresificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento**. 2002. 195 f. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2002.

CATOLICO, A. C. C.; CARVALHO, L. C. G.; JARQUE, N. A. Aproveitamento de Resíduos do Saneamento Básico na Fabricação de Cerâmica Vermelha. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 9, 2015.

CAVINATTO, V. M. **Saneamento básico; fonte de saúde e bem-estar**. Moderna, 2003.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA (CAGEPA). **Estação de Tratamento de Água de Patos – PB**. Patos, 2018.

CORDEIRO, J. S. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. PROSAB, v. 5, p. 107-119, 1999.

CORDEIRO, J. S. **Processamento de lodo de ETAs**. Relatório Técnico. São Carlos. UFSCar/DECiv. Projeto PROSAB, 2001.

CORDEIRO, J. S. **Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs**. In: Noções gerais de tratamento de disposição final de lodos de ETA. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2003.

CORNWELL, D. A.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C. **Commercial application and marketing of water plant residuals. Aplicação comercial e comercialização de resíduos de plantas aquáticas**. American Water Works Association. 2000.

DA SILVA FILHO, M. C.; PIZZOLATO, N. D. A viabilidade econômica de empreendimentos no setor da construção civil: estudo de caso dos revestimentos cerâmicos. **Sistemas & Gestão**, v. 6, n. 1, p. 20-41, fev. 2011.

DE PAIVA, G. S.; MOREIRA, V. T. G.; SOARES, A. F. S. Lodo de estação de tratamento de água (LETA): resíduo ou insumo?. **Revista Petra**, v. 3, n. 1, nov. 2017.

DE PAULA, G. R.; QUINTEIRO, E.; BOSCHI, A. O. Efeito do teor de umidade e da pressão de prensagem sobre as características de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 3/4, p. 28-31, 1997.

DE SOUSA OLIVEIRA, Adriana Paulo et al. Avaliação dos atributos de um latossolo adubado com lodo de estação de tratamento de água. **Revista Internacional de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 29-46, jan. 2015.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Propriedades do solo**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível on line em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/propriedades-do-solo>>. Acesso em: 20 de agosto de 2019.

FERNANDES, P. F.; OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D. Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos. Parte 1: Ensaio laboratoriais. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 2, p. 26-34, abr. 2003.

FONTANA, A. O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros**. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, São Carlos, 2004.

FONTES, C. M. A. **Utilização das cinzas de lodo de esgoto e de resíduo sólido urbano em concretos de alto desempenho**. 2008, 294 f. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

FRANCO, E. S.; PENNA, J. A. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. 2009.165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PROÁGUA, Ouro Preto, 2009.

FREITAS, A. G.; *et al.* Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 37-46, 2010.

GARCEZ, Monica Regina *et al.* Tijolos leves para alvenaria produzidos a partir de resíduos da indústria madeireira. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 607-614, 2018. GONÇALVES, F. S. *et al.* Caracterização de Lodos Oriundos de Estação de Tratamento de Água Visando Alternativas de Reciclagem. In: **Fórum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais**. 2018.

GUNTHER, W.M.R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7 ed. Curitiba, 2000. **Anais**. Curitiba, 2000.

GUERRA, R. C.; ANGELIS, D. F. 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, fev. 2005.

HOPPEN, C. **Reciclagem de Lodo de ETA Centrifugado na construção civil, Método alternativo de preservação ambiental**. Curitiba, 2004.

HOPPEN, C. et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento Portland para reduzir o impacto ambiental. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 79, ago. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Reaproveitamento de Resíduos de ETA uma Alternativa para o Desenvolvimento Sustentável**. Agência IBGE de Notícias, 2010.

_____. **Populações Brasileiras – Município de Patos na Paraíba**. Agência IBGE de Notícias, 2017.

INGUNZA, M. P. D. et al. Uso de resíduos do saneamento na fabricação da cerâmica vermelha. **Alternativas de uso de resíduos de saneamento**. Punta Del Este: AIDIS, 2006.

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da Região Metropolitana de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 117-126, jun. 2007.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000.

KARPINSK, L. A. *et al.* **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1997.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. São Paulo: Átomo, 2008.

MACEDO, R. S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 54, n. 332, p. 411-417, 2008.

MACHADO, A. O.; DE ARAÚJO, J. A. **Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil**. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGET: Gestão do Conhecimento para a Sociedade, 2014.

MEDEIROS, E. N. M. et al. **Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica. Utilização da técnica de planejamento**. **Cerâmica**, v. 56, p. 399-404, 2010.

MORITA, D. M. *et al.* Incorporação de lodos de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos. **Revista Saneas**, v. 1, n. 14, dez. 2002.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. **Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de Estação de Tratamento de Águas visando sua utilização em cerâmica vermelha** - Characterization of waterworks waste (sludge) aiming its use in red ceramic. **Cerâmica**, v. 50, n. 6, p. 324-330, dez. 2004.

OWEN, P. G. **Water-Treatment Works' Sludge Management - Gestão de lodo de obras de tratamento de água**. **Water and Environment Journal**, v. 16, n. 4, p. 282-285, set. 2002.
PAIVA, M. W.; PARREIRA, R. L. T. Resíduos das estações de tratamento de água (ETA). **LINGUAGEM ACADÊMICA**, v. 2, n. 2, p. 83-96, fev. 2012.

PAIXÃO, L. C. C. *et al.* Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa. Effect of addition of high iron content sludge from water treatment plant on a clay-based ceramic. **Cerâmica**, v. 54, n. 329, p. 63-76, jul. 2008.

PAIXÃO, L. C. C.; TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. **Reciclagem do lodo da estação de tratamento de água do sistema Rio Manso/copasa do município de Brumadinho-MG com cerâmica vermelha**. 2004.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 154 f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

PIMENTEL, U. H. O. **Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias** – Bloco EVANG. 86 f. Dissertação de Mestrado – Programa

de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1999.

RAMIRES, M. V. V. et al. Incorporação do resíduo (lodo) da ETA de São Leopoldo-RS nas misturas de argilas para a fabricação de componentes cerâmicos conformados por prensagem. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45º**. 2001. p. 0401306-0401313.

RAUPP PEREIRA, F. **Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentíceas**. 2005. 267 f. Tese (Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de Aveiro. Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro. Portugal, 2005.

REALI, M. A. P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de ETA**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, p. 21-39, 1999.

REALI, M. P. **Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETA's**. In: REALI, M. P. (coord.) **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de ETA**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2001.

REVISTA ANICER. **Cerâmica: a mais antiga das indústrias**. Rio de Janeiro, v. 96, n 07, p. 45-60, jan. 2020.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2005.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. **Cerâmica**, v. 59, n. 352, p. 551-556, 2013.

ROVERI, C. D. et al. Variação da cor e propriedades cerâmicas com o aumento da temperatura de queima de uma argila proveniente da formação Corumbataí, região de Piracicaba (SP). **Cerâmica**, v. 53, n. 328, p. 436, 2007.

SALES, A. **Utilização de Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água em Argamassas e Concretos de Cimento Portland**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15, Natal, 2006.

SÁNCHEZ-MUÑOZ, L. et al. Modelamento do processo de gresificação de massas cerâmicas de revestimento. **Cerâmica**, v. 48, n. 308, p. 217-222, 2002.

SANTOS, A. F. R. D. *et al.* Utilização de resíduos da construção civil em tijolos ecológicos. Santa Catarina: Associação do Vale do Itajaí Mirim, 2009. 20 f. . Dissertação (Mestrado Engenharia e Ciência dos Materiais) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SANTOS, A. D. **Estudo das Possibilidades de Reciclagem dos Resíduos de Tratamento de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. 2003. 282 f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2003.

SANTOS, F. P. S.. **Estudo da Incorporação do Lodo de ETA em Argamassa**. Trabalho de Dissertação de Engenharia Ambiental e Sanitária. Caçapa do Sul, 2016.

SANTOS, T. Z.; LENZ, G. F.; ZARA, R. F. Estudo comparativo da eficiência do polímero natural extraído do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar na coagulação: remoção de turbidez e volume de lodo gerado. **In: Encontro Nacional de Tecnologia Química**, 4., Rio de Janeiro, 2011. Anais Eletrônicos... Rio de Janeiro: ABQ, 2011. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/entequi/2011/trabalhos/1/1-20-10458.htm>> , Acesso em: 13 mar. 2019.

SCALIZE, P. S. **Disposição de resíduos gerados em uma estação de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto**. 2003. 146 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, M. V. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água**. 2011. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, V. et al. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 551-559, 2009.

SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem em manta geotêxtil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento – Universidade Estadual de Londrina, 2012.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, S. J. A Gestão de Lodo de Tratamento de Água Potável: Situação Atual no Reino Unido - The management of potable water treatment sludge: present situation in the UK. *Water and Environment Journal*, v. 16,n. 4, p. 260-263, set. 2002.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. Placas cerâmicas para revestimento. **Programa Qualimat Sinduscon - MG**. Belo Horizonte: Sinduscon – MG, 2009.

SOARES, Isabela Mylena Pedroso et al. LODO DE ETA E DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR NA EXPANSÃO DA ARGILA E SEUS POSSÍVEIS IMPACTOS NO CONFORTO TÉRMICO. *ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498*, v. 16, n. 16, 2020.

TALLINI JUNIOR. V. M. Desenvolvimento de Novos Materiais Cerâmicos a Partir de **Lodo de Estações de Tratamento de Água, Micro Esferas de Vidro de Jateamento, Sais de Neutralização de Ácidos de Baterias de Areia de Fundição**. Dissertação de Mestrado em Engenharia (PIPE). CURITIBA, 2009.

TEIXEIRA, S. R. *et al.* A. **Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural**. *Cerâmica*, v. 52, n. 24/02/06, p. 215-220, set. 2006.

TSUTUYA, M. T.; Hirata, A. Y. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. João Pessoa, 2001.

VILELLA, A. L. A. *et al.* **Diagnóstico dos resíduos gerados em estações de tratamento de água nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá-SP**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. São Carlos, 2011. 98f.

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa - Characterization and incorporation of wastes from Water Treatment Plant into clayey ceramic. *Cerâmica*, v. 55, n. 336, p. 385-392, nov. 2009.