

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UFAL- CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PAULO HENRIQUE FIRMINO DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA DE ENSAIO À COMPRESSÃO DE TIJOLOS DE ADOBE
(TERRA CRUA) COM ADIÇÃO DE LODO DESIDRATADO DE ETA E ETE

Delmiro Gouveia – AL
2020

PAULO HENRIQUE FIRMINO DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA DE ENSAIO À COMPRESSÃO DE TIJOLOS DE ADOBE
(TERRA CRUA) COM ADIÇÃO DE LODO DESIDRATADO DE ETA E ETE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – Campus do Sertão, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profº Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

S586a Silva, Paulo Henrique Firmino da

Análise comparativa de ensaio à compressão de tijolos de adobe (terra crua) com adição de lodo desidratado de ETA e ETE / Paulo Henrique Firmino da Silva. – 2020.

82 f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2020.

1. Engenharia civil. 2. Estação de Tratamento de Esgoto – ETE. 3. Estação de Tratamento de Água – ETA. 4. Lodo de ETE. 5. Lodo de ETA. 6. Indústria cerâmica. 7. Tijolo de adobe. I. Título.

CDU: 628.012.81

PAULO HENRIQUE FIRMINO DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA DE ENSAIO À COMPRESSÃO DE TIJOLOS DE ADOBE
(TERRA CRUA) COM ADIÇÃO DE LODO DESIDRATADO DE ETA E ETE

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Alagoas (UFAL) – Campus do Sertão,
como requisito final para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Antônio Netto

Prof^o Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto
Orientador

Rogério de Jesus Santos

Prof^o Msc. Rogério de Jesus Santos
Coorientador

Aprovado em 13 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Antônio Netto

Prof^o Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto
Presidente

Rogério de Jesus Santos

Prof^o Msc. Rogério de Jesus Santos
Examinador interno

Vinicius Costa Correia

Prof^o Msc. Vinicius Costa Correia
Examinador interno

DEDICATÓRIA

A minha querida avó Dona Creuza (*in memorian*) por todos os ensinamentos e incentivos.

Aos meus pais José Paulo e Silvaní, por toda educação, incentivo e vibração a cada vitória alcançada.

A minha esposa Saamara, pelo companheirismo, atenção e estímulo.

A minha irmã Prissylla, a quem me coloco como sua maior inspiração, por todo sucesso alcançado até aqui.

A minha Tia Siverania, por todo carinho, contribuição e apoio.

A todos os meus familiares e amigos, por todo companheirismo.

Ao meu eterno prof^o de Matemática, Naldinho, a quem me inspiro cotidianamente.

A todos os meus professores da educação básica, por todos os ensinamentos e inspiração.

Ao grande amigo Joeci, pela contribuição e oportunidade profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, todo poderoso, pelo dom da vida, inteligência e oportunidades dadas ao longo de toda minha vida.

A Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade oferecida por meio de um curso gratuito e de qualidade.

Aos professores Antônio Netto e Rogério, pelas orientações, ensinamentos e contribuições para a efetivação deste trabalho, assim como ao longo de todo o curso.

Aos grandes professores Marcelo, Cícero, Agnaldo, Alexandre, Vivianne, Romildo, Salvatore, Alverlando, Vinícius, Rafaella, Raniery, David, Raniere, Thiago, Jonhatan, Francirley por todos os ensinamentos e experiências coMPartilhadas e pela parceria construída durante essa jornada.

Ao técnico do laboratório de materiais Arnon, pela estimada contribuição na realização de todos os experimentos, e até mais que isso.

Aos grandes colegas e irmãos que encontrei nessa jornada, Adson e Otávio, pela parceria e amizade, construída e mantida ao longo de tantos apertos nesses últimos anos, mas também de alegrias nessa fase íMPar de nossas vidas acadêmicas.

As empresas EMBASA e Agreste Águas, pela parceria firmada para que se tornasse possível o andamento e conclusão das pesquisas nesse trabalho.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

“O temor do Senhor é o princípio do conhecimento; mas os insensatos desprezam a sabedoria e a instrução.”

Provérbios 1:7

RESUMO

SILVA, P. H. F. da. **Análise comparativa de ensaio à compressão de tijolos de adobe (terra crua) com adição de lodo desidratado de ETA e ETE.** Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, 2020. 81 páginas.

Diante da problemática do descarte de lodo produzido no tratamento de água e de esgoto, opções que sejam úteis e viáveis para o descarte do resíduo sólido vem se transformando numa demanda de interesse público e governamental, haja vista os diversos impactos surgidos com a realização do descarte indevido. Baseado nessa problemática, o presente trabalho buscou avaliar a possibilidade do descarte do lodo desidratado da ETA e da ETE na indústria cerâmica, como aditivo em tijolos de adobe. Para isso, foram moldados tijolos matrizes, sem adição de lodo, para serem tomados como base; tijolos com adição de 20% de lodo de ETA; tijolos com adição de 20% de lodo de ETE; e tijolos com adição misturada de 10% de lodo de ETA com 10% de lodo de ETE. Com isso, foi realizado um trabalho investigativo através de 4 diferentes tipos de tijolos de adobe, avaliando e comparando o comportamento mecânico sob o esforço de compressão. Após a realização do ensaio à compressão, foi observado que nenhum dos tijolos apresentou condição de utilização, já que suas resistências ficaram abaixo da preconizada pelo projeto de norma NBR 16814:2019, que é de 1,5 MPa. Além disso, em relação ao tijolo matriz, os tijolos com adição de lodo de ETE tiveram uma redução média de cerca de 22,8%; os tijolos com adição de lodo de ETA tiveram uma redução média de cerca de 18,6%; e os tijolos com adição da mistura de ETE + ETA apresentaram redução de 10,9%, considerada a menor e, portanto, representando a opção que possui as características mais próximas do tijolo matriz. Os tijolos com adição de lodo de ETA e os tijolos com adição da mistura ETE + ETA apresentaram valores de resistência média semelhantes, indicando que o comportamento mecânico dos dois são parecidos.

Palavras-chaves: Lodo de ETA; Lodo de ETE; Descarte de lodo; Indústria cerâmica; Tijolo de adobe.

ABSTRACT

SILVA, P. H. F. da. **Comparative analysis of adobe brick compression test (raw earth) with addition of dewatered sludge from ETA and ETE.** Graduation in Civil Engineering, Federal University of Alagoas, 2020. 81 pages.

In view of the problem of disposing of sludge produced in the treatment of water and sewage, options that are useful and feasible for the disposal of solid waste have become a demand of public and governmental interest, given the various impacts that emerged with the disposal improper. Based on this problem, the present study sought to evaluate the possibility of disposing of dewatered sludge from ETA and ETE in the ceramic industry, as an additive in adobe bricks. For this, matrix bricks were molded, without the addition of sludge, to be taken as a base; bricks with the addition of 20% ETA sludge; bricks with the addition of 20% ETE sludge; and bricks with a mixed addition of 10% ETA sludge with 10% ETE sludge. With this, an investigative work was carried out through 4 different types of adobe bricks, evaluating and controlling the mechanical behavior under the compression effort. After the compression test was carried out, it was observed that none of the bricks showed a condition of use, since their strengths were below that recommended by the NBR 16814:2019 standard project, which is 1.5 MPa. In addition, in relation to the matrix brick, the bricks with the addition of ETE sludge had an average reduction of about 22.8%; bricks with ETA sludge had an average reduction of about 18.6%; and the bricks with the addition of the mixture of ETE + ETA showed a reduction of 10.9%, considered the smallest and, therefore, representing the option that has the characteristics closest to the matrix brick. The bricks with the addition of ETA sludge and the bricks with the addition of the ETE + ETA mixture showed similar average strength values, indicating that the mechanical behavior of the two are similar.

Keywords: ETA sludge; ETE sludge; Sludge disposal; Ceramic industry; Adobe brick.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Composição química e propriedades típicas do lodo bruto e do lodo digerido	19
Tabela 02	Principais tecnologias para o tratamento de lodo de ETE	22
Tabela 03	Principais métodos de disposição de lodo em diferentes países	24
Tabela 04	Qualidades e limitações do tijolo de adobe como material de construção	30
Tabela 05	Distribuição granulométrica do material utilizado	60
Tabela 06	Escala granulométrica.....	61
Tabela 07	Dados das amostras do ensaio do LL	62
Tabela 08	Umidades das amostras no ensaio do LL	62
Tabela 09	Dados das amostras do ensaio de LP.....	63
Tabela 10	Umidades das amostras no ensaio do LP	64
Tabela 11	Dimensões médias dos tijolos	65
Tabela 12	Dimensões efetivas dos tijolos	66
Tabela 13	Valores de resistência à compressão.....	67
Tabela 14	Valores da média aritmética, variância, desvio padrão e coeficiente de variação do conjunto de dados da resistência	68

LISTA DE IMAGENS

Imagem 01	Mapa de Alagoas com localização do município de Olivença	32
Imagem 02	Argila utilizada na confecção dos adobes	33
Imagem 03	Lodo coletado na ETE de Paulo Afonso - AL	34
Imagem 04	Lodo coletado na ETA de Arapiraca - AL	35
Imagem 05	Lodo no leito de secagem	35
Imagem 06	Fôrma utilizada na confecção dos tijolos.....	36
Imagem 07	Mistura da massa para tijolo matriz.....	37
Imagem 08	Secagem dos adobes	39
Imagem 09	Amostra de solo após o processo de destorroamento.....	40
Imagem 10	Quarteamento da amostra	41
Imagem 11	Solo retirado do quarteamento.....	41
Imagem 12	Conjunto de peneiras.....	42
Imagem 13	Início do ensaio de Granulometria com adição do solo no jogo de peneiras .	42
Imagem 14	Pesagem dos grãos retidos na peneira de 0,6 mm	43
Imagem 15	Amostra de solo usado no ensaio do Limite de Liquidez	44
Imagem 16	Umedecimento do solo	44
Imagem 17	Aparelho de Casagrande	45
Imagem 18	Moldagem do solo no aparelho de Casagrande.....	45
Imagem 19	Ranhura central na amostra de solo	46
Imagem 20	União das bordas da ranhura após os golpes	46
Imagem 21	Amostra de solo retirado no ponto de união da ranhura.....	47
Imagem 22	Pesagem das amostras extraídas do aparelho de Casagrande	47
Imagem 23	Cápsulas sendo colocadas na estufa.....	48
Imagem 24	Pesagem das amostras após secagem na estufa	48
Imagem 25	Umedecimento do solo	49
Imagem 26	Rolamento da amostra de solo na placa de vidro.....	50
Imagem 27	Cilindro sendo comparado com o gabarito	50
Imagem 28	Cápsulas sendo pesadas antes da secagem na estufa.....	51
Imagem 29	Pesagem das cápsulas após secagem na estufa.....	51
Imagem 30	Cápsulas contendo as amostras	52
Imagem 31	Forma de medição das dimensões efetivas dos adobes	54

Imagem 32	Tijolos após processo de secagem	54
Imagem 33	Corpos de prova extraídos dos tijolos	55
Imagem 34	Corpos de prova em cubo extraídos dos tijolos	56
Imagem 35	Rompimento de corpo de prova com uso de capeamento não colado	56
Imagem 36	Pesagem do tijolo após retirada da estufa	58
Imagem 37	Resultado das Médias das Tensões Máximas de Ruptura em Função da Incorporação de Lodo	71
Imagem 38	Tijolo após 1 hora de imersão em água	72
Imagem 39	Tijolos após 24 horas de imersão em água	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Curva de distribuição granulométrica	61
Gráfico 02	Reta de escoamento	63
Gráfico 03	Análise comparativa das perdas de resistência à compressão dos tijolos com adição de lodo em relação ao tijolo matriz.....	70

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01	Teor de umidade.....	49
Equação 02	Interpolação linear.....	49
Equação 03	Índice de plasticidade.....	52
Equação 04	Altura média.....	53
Equação 05	Largura média.....	53
Equação 06	Comprimento médio.....	53
Equação 07	Altura efetiva.....	53
Equação 08	Largura efetiva.....	53
Equação 09	Comprimento efetivo.....	53
Equação 10	Resistência a compressão.....	57
Equação 11	Média aritmética.....	57
Equação 12	Variância.....	57
Equação 13	Desvio padrão.....	57
Equação 14	Coeficiente de variação.....	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Considerações iniciais	15
1.2 Objetivos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Produção de lodo de ETAs e ETEs	17
2.1.1 Produção de lodo no Brasil	17
2.1.2 Características do lodo produzido nas ETAs e ETEs	18
2.2 Tratamento da fase sólida do lodo de ETAs e ETEs	20
2.2.1 Fases do tratamento do lodo	20
2.3 Alternativas para aproveitamento do lodo de ETAs e ETEs	23
2.3.1 Utilização de lodo como aditivo em bloco cerâmico	24
2.4 Tijolos de terra crua	28
2.4.1 Histórico da utilização dos tijolos de adobe no Brasil	29
2.4.2 Vantagens e desvantagens da utilização dos tijolos de adobe	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Local de estudo	32
3.2 Coleta dos materiais	32
3.2.1 Argila	33
3.2.2 Lodo de estação de tratamento de esgoto	33
3.2.3 Lodo de estação de tratamento de água	34
3.3 Fabricação do adobe	35
3.3.1 Dimensões da forma	35
3.3.2 Determinação do número de tijolos a serem moldados	36
3.3.3 Definição dos percentuais de adição	36
3.3.4 Moldagem dos adobes	37
3.3.5 Secagem dos adobes	38
3.4 Ensaio em laboratório	39
3.4.1 Caracterização do material	40
3.4.1.1 Granulometria	40
3.4.1.2 Limites de consistência	43
3.4.1.2.1 Limite de liquidez	43
3.4.1.2.2 Limite de plasticidade	49
3.4.1.2.3 Índice de plasticidade	52
3.4.2 Características dimensionais	53
3.4.3 Resistência mecânica a compressão	55

3.4.4	Imersão em água	58
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1	Análise granulométrica.....	60
4.2	Limites de consistência	62
4.2.1	Limite de liquidez	62
4.2.2	Limite de plasticidade.....	63
4.2.3	Índice de plasticidade.....	64
4.3	Características geométricas.....	65
4.4	Resistência à compressão	66
4.5	Imersão em água	72
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS.....	76

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A quantidade de lodo produzido diariamente, oriundos de processos de tratamento de água e de esgoto vem se tornando um problema mundial, uma vez que, por simbolizar quantidades enormes, demandam cada vez mais espaços para realização de seu descarte.

A problemática envolvendo o descarte é ainda maior se considerar que boa parte de todo o lodo produzido nas estações acabam sendo depositados no meio ambiente, principalmente em leitos de rios e lagos. Essa atitude provoca um desequilíbrio total dos corpos d'água ao considerar todas as substâncias que recebem durante as diversas fases de tratamento a que são submetidos.

Uma outra solução comumente utilizada é a deposição desse material, na versão sólida, em aterros sanitários. Embora possa ser uma prática coerente, não é tecnicamente viável, se considerarmos que tende a elevar cada vez mais o volume de dejetos depositados diariamente, comprometendo o tempo de vida útil do aterro.

Além dessas soluções utilizadas mais comumente, para descarte do lodo produzido no tratamento de água e de esgoto, outras começam a surgir, de modo a criar alternativas que sejam ambientalmente viáveis e tecnicamente possíveis. Dentre estas, é possível destacar o uso de lodo tratado na agricultura, como adubo, na produção de energia, a partir de sua queima, na indústria cerâmica, como aditivo entre outros.

Dentre essas opções, a utilização do lodo na indústria cerâmica é uma das que mais apresenta vantagens para sua adoção, uma vez que, além dos benefícios ambientais apresentados, reduz consideravelmente o custo do elemento cerâmico, já que substitui parte da massa utilizada em sua confecção.

Desta forma, o presente trabalho busca verificar a possibilidade da utilização dos lodos desidratados produzidos em estações de tratamento de água e de estações de tratamento de esgoto como material aditivo para utilização na moldagem de tijolos de adobe, de modo a verificar a variação do comportamento mecânico dos tijolos submetidos ao esforço de compressão a partir dos diferentes percentuais de adições realizados.

1.2 OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

- Avaliar a variação do comportamento mecânico dos tijolos submetidos ao esforço de compressão a partir dos diferentes percentuais de adição de lodo proveniente de ETA e ETE.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a argila utilizada para confecção dos tijolos;
- Determinar as características geométricas dos tijolos;
- Avaliar a variação do comportamento mecânico de cada tipo de tijolo em função dos percentuais de lodo de ETA e/ou ETE adicionados;
- Observar o comportamento dos tijolos quando emergidos em meio aquoso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PRODUÇÃO DE LODO EM ETAs E ETEs

No item a seguir será tratado da produção de lodo em Estações de Tratamento de Água e em Estações de tratamento de esgoto, elucidando quantitativos da produção brasileira e as principais características do lodo gerado nessas estações.

2.1.1 PRODUÇÃO DE LODO NO BRASIL

A produção de lodo é um dos maiores problemas atrelados ao tratamento de água e/ou esgoto, haja vista que os grandes volumes gerados criam impactos ambientais relacionados ao seu descarte. O descarte desse material requer uma solução que seja ambientalmente vantajosa e ao mesmo tempo tecnicamente viável, de modo a alcançar a máxima eficiência possível, no menor intervalo de tempo e com o mínimo de impacto ao meio ambiente.

Segundo o SNIS (2017, p. 13), no Brasil a coleta de esgoto atende a uma pequena parcela da população, sendo de apenas 60,9%. Desse quantitativo apenas 46,3% passa por tratamento e o restante acaba sendo descartado na natureza ou recebendo destinação desconhecida,

Considerando esses valores, é possível verificar que:

[...] “a produção de lodo no Brasil é estimada entre 150 e 220 mil toneladas de matéria desidratada por ano. Este dado pode ser ainda maior se todo o esgoto hoje coletado fosse também tratado de forma eficiente, assim o volume de lodo produzido chegaria a 473 mil toneladas por ano.” (CATOLICO, CARVALHO & JARQUE, 2015, p. 03).

Com esse expressivo volume produzido de lodo, torna-se indispensável a reciclagem e reuso desse material como forma de reduzir a sua disposição indevida, podendo chegar a corpos d'água e até mesmo em aterros sanitários, que acabam tendo sua vida útil reduzida em decorrência do grande volume que recebe diariamente.

No tratamento de água, a geração de lodo é ainda maior, em virtude da alta demanda de uso pela população e pouco variável a partir do tipo de tratamento e substâncias empregadas. No Brasil existem cerca de 7.500 ETAs, realizando o

tratamento de aproximadamente 30.651.850 m³ de água diariamente. (CORDEIRO & CAMPOS, 1999)

Nesse aspecto, é possível vislumbrar que o volume de lodo gerado na ETA é muito maior do que aqueles gerados na ETE, mas que tende a passar por processos mais rigorosos e eficientes de tratamento já que possuem fiscalização vigente ativa ao longo desses processos.

O lodo da ETA é constituído por matéria orgânica, areia, silte e argila, proveniente da água bruta extraída do rio e formado nos decantadores, como resultado do processo de floculação e coagulação, esta última etapa feita com uso de sulfato de alumínio ou cloreto férrico. A quantidade de lodo produzida depende da qualidade da água captada e dos processos empregados no tratamento. (HOPPEN et al, 2006, p.79-84).

2.1.2 CARACTERÍSTICAS DO LODO PRODUZIDO NAS ETAs E ETEs

As características apresentadas pelo lodo possuem ligação direta com os procedimentos de tratamento que este será submetido, o que torna fundamental conhece-las de forma específica a fim de utilizar meios e técnicas que sejam eficazes no manejo e eficiência do tratamento.

Embora seja considerado como matéria sólida, cerca de 95% do lodo é constituído de água em várias etapas do seu manuseio, adotando-se essa descrição como forma de referenciar uma distinção do fluxo líquido que está passando pelo tratamento (METCALF & EDDY, 1991).

Segundo (Fernandes, 2000), o lodo produzido na ETE é constituído, em boa parte, por bactérias vivas. Anaerobiamente, a fração de massa bacteriana é elevada, estando entre 50% e 90% da biomassa, enquanto do lado anaeróbio assume a faixa entre 2% e 20%, dependendo da idade do lodo.

Quando se encontra no processo de digestão, o lodo sofre uma diminuição de 2/3 de matéria orgânica. Após esse processo, sua composição gira em torno de 45% de matéria orgânica e 55% de substâncias minerais. A tabela 01 a seguir apresenta a composição química do lodo sólido e do lodo digerido:

TABELA 01 – Composição química e propriedades típicas do lodo bruto e do lodo digerido

Item	Lodo bruto		Lodo digerido	
	Faixa	Típico	Faixa	Típico
pH	5,0 – 8,0	6,0	6,5 – 7,5	7,0
Alcalinidade (mg/L em CaCO ₃)	500 - 1500	600	2500 - 3000	3000
Ácidos orgânicos (mg/L em HAc)	200 - 2000	500	100 - 600	200
Sólidos totais (ST)	2 – 8	5	6 – 12	10
Sólidos voláteis (%ST)	60 – 80	65	30 – 60	40
Graxas e gorduras solúveis em éter (%ST)	6 – 30	–	5 – 20	18
Proteínas (%ST)	20 – 30	25	15 – 20	18
Nitrogênio (N, %ST)	1,4 – 4,0	2,5	1,6 – 6,0	3,0
Fósforo (P ₂ O ₅ , %ST)	0,8 – 2,8	1,6	1,5 – 4,0	2,5
Potássio (K ₂ O, %ST)	0,0 – 1,0	0,4	0,0 – 3,0	1,0
Celulose (%ST)	8 – 15	10	8 – 15	10
Ferro (exceto na forma de sulfeto)	2,0 – 4,0	2,5	3,0 – 8,0	4,0
Sílica (SiO ₂ , %ST)	15 – 20	–	10 – 20	–

FONTE: Metcalf & Eddy, 1991.

Formatado: Português (Brasil)

De um modo geral, as características do lodo produzido na ETA podem sofrer variações em decorrência da qualidade da água coletada e também das substâncias utilizadas durante o processo de tratamento. Assim como o lodo da ETE, o que é produzido na ETA possui um percentual considerável de matéria orgânica e inorgânica, tais como algas, bactérias, vírus, ferro, entre outros. (GRANDIN et al, 1993).

A taxa de microrganismos vivos no lodo é um fator preocupante para a saúde pública, uma vez que diversos parasitas encontrados em sua composição podem desencadear doenças em seres humanos através do contato direto e por meio de vetores (ratos, baratas, moscas) que entrem em contato com o lodo.

As condições que influenciam nesses seres patógenos estão ligadas a eficiência do processo de tratamento que o lodo é submetido, o tempo de permanência no tratamento, o local de deposição do lodo e também fatores climáticos adversos que podem contribuir para potencializar a ação destes. (BATISTA, 2015, p.11)

Segundo Batista (2015, p.17-18), embora a incidência de vetores seja enorme mesmo após o tratamento, quando esta passa a ter contato com o solo, ocorre uma

considerável diminuição dos riscos à saúde humana em decorrência da diminuição do tempo de sobrevivência da maioria destes microrganismos causada pela competição e predação natural do ambiente.

2.2 TRATAMENTO DA FASE SÓLIDA DO LODO DE ETAs e ETEs

Após passar por todas as etapas de tratamento preliminar, o lodo é separado, de modo que as partes líquidas e sólidas sigam destinos diferentes. Enquanto a parte líquida passa por processo de tratamento específico para que possa ser depositada na natureza, a parte sólida também continua em tratamento. De modo que o material final a ser depositado no ambiente, apresente características químicas cada vez mais próximas do ideal, e com o mínimo possível de agressão ao meio ambiente, ficando suscetível à reutilização em diversas formas, desde a agricultura até a indústria cerâmica. Desta forma, será descrito a seguir as etapas de tratamento do lodo, especificando o procedimento em cada uma delas.

2.2.1 FASES DO TRATAMENTO DO LODO

Segundo Coelho et al (2011), o gerenciamento adequado do lodo gerado traz benefícios em várias ordens, recebendo destaque por implantar a ideia de redução da geração de resíduos, principalmente pela diminuição significativa dos custos operacionais.

Desta forma, o prosseguimento correto do tratamento indica o nível de qualidade em que a matéria final, líquida e sólida, pode chegar, constituindo uma grande importância ao referenciar a disposição final. Todavia, o processo de tratamento deve estar ligado a qualidade e ao tipo do material que chega a estação, sendo necessário realizar análises específicas que possam atribuir o melhor método a ser utilizado.

O tratamento específico do lodo está ligado a necessidade em corrigir três características indesejáveis, conforme aponta Andreoli (2006):

- a) Instabilidade biológica: nos processos de tratamento de geração de lodo primário e aeróbio existe uma grande fração de material orgânico biodegradável, o que pode ocasionar a geração de maus odores;

- b) Qualidade higiênica: a qualidade do lodo gerado é péssima já que o esgoto sanitário contém uma grande diversidade de vírus, bactérias e parasitas (protozoários, ovos de nematoides e helmintos), constituindo uma ameaça à saúde pública;
- c) Grande volume: a concentração de sólidos no lodo de esgoto é baixa, da ordem de 5 a 50 g/L, dependendo da natureza do lodo, o que ocasiona em um volume considerável.;

De um modo geral, para alcançar a superação dos três problemas citados anteriormente, é preciso seguir todas as etapas do tratamento com eficiência, haja vista que cada etapa tem uma funcionalidade distinta e que precisa ser seguida.

Essas etapas podem ser várias, a depender da qualidade do resíduo que chega à estação de tratamento, no entanto as principais, onde todo e qualquer resíduo deve passar, são: adensamento, digestão e desidratação. Pela própria nomenclatura, é possível ter ideia de qual atividade será submetido o lodo em cada uma das etapas.

Segundo Andreoli et al (2001), as principais etapas do tratamento do lodo e os objetivos de cada uma, são:

- i) Adensamento – visa a remoção de umidade (diminuição do volume). É mais utilizado nos processos de tratamento primário, lodos ativados e filtros biológicos percoladores;
- ii) Estabilização: remoção da matéria orgânica, inibindo o potencial de putrefação do lodo e, conseqüentemente, seu potencial de produção de odores; visa também a redução de microrganismos patogênicos;
- iii) Condicionamento: preparação para desidratação (principalmente mecânica);
- iv) Desidratação: remoção da umidade (diminuição do volume). Os principais objetivos são:
 - Redução do curso de transporte para o local da disposição final;
 - Melhoria nas condições de manejo do lodo, já que o lodo desaguado é mais facilmente transportado;
 - Aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução da umidade com vistas à preparação para incineração;
- v) Higienização: remoção de organismos patogênicos. É uma etapa imprescindível na reciclagem agrícola;

Segundo Andreoli et al (2006), a principal etapa do tratamento de efluentes de ETAs é o desaguamento, etapa em que o lodo é reduzido, facilitando seu manuseio, transporte e destinação final.

De um modo geral, mesmo após o lodo passar por todas essas fases de tratamento, isso não implica que sua purificação ocorra em sua totalidade. O normal é que esse percentual fique próximo de 100%, mas dificilmente alcance esse valor.

Para cada uma das etapas de tratamento do lodo, existem diversos mecanismos que podem ser utilizados, tendo sua escolha efetivada em função da necessidade, da possibilidade e do interesse. De um modo geral, a simplicidade operacional e o baixo custo são fatores consideráveis na hora de escolher o método.

De acordo com Andreoli et al (2001), a tabela 02 a seguir apresenta as etapas de tratamento do lodo citadas anteriormente e algumas tecnologias existentes que podem ser utilizadas:

TABELA 02 – Principais tecnologias para o tratamento de lodo de ETE

Adensamento	Estabilização	Condicionamento	Desidratação	Higienização
Adensamento por gravidade	Digestão aeróbia	Condicionamento químico	Leitos de secagem	Adição de cal (caleação)
Flotação	Digestão anaeróbia	Condicionamento térmico	Lagoas de lodo	Tratamento térmico
Centrífuga	Tratamento térmico		Filtro prensa	Compostagem
Filtro prensa de esteira	Estabilização química		Centrífuga	Oxidação úmida
			Filtro prensa de esteiras	Outros (radiação gama, solarização, etc.)
			Filtro a vácuo	
			Secagem térmica	

Fonte: Andreoli et al, 2001.

Após todo o procedimento de tratamento do lodo, surge um novo questionamento: onde serão depositados os resíduos sólidos? Haja vista que a parte líquida volta para os corpos d'água. Considerando as tecnologias implementadas no tratamento, a fase sólida pode receber diversos destinos, desde aplicação na agricultura, fabricação de blocos cerâmicos, até os aterros sanitários.

Com isso, o capítulo a seguir discutirá acerca dessa destinação, citando as mais utilizadas no Brasil, atualmente, e dando ênfase a utilização da fase sólida na indústria cerâmica, como aditivo de blocos.

2.3 ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DO LODO DE ETA E ETE

Nos dias atuais, o lodo é o material proveniente do tratamento, tanto de água quanto de esgoto, que apresenta o maior problema em relação ao seu descarte, haja vista que em muitos dos casos não apresenta qualidade suficiente para reintegrar o meio ambiente, principalmente em decorrência da carga de substâncias químicas diversas a que é submetido durante o tratamento.

Neste sentido, mesmo com essa premissa, é muito comum que o destino do lodo seja o ambiente, o que vem se tornando um problema de saúde pública, ao considerar o risco que a deposição errada desse material pode representar para a contaminação de corpos d'água e de lençóis freáticos.

Um dos destinos mais comum desse material é o aterro sanitário, que acaba por aumentar ainda mais a carga de contaminação do chorume que é produzido. Além disso, o aterro acaba recebendo esse material em grandes volumes, o que tende a reduzir consideravelmente o tempo de vida útil, impactando diretamente na necessidade de buscar outros espaços para a construção de novos aterros.

Com isso, a busca por alternativas que possam minimizar estes impactos tem se tornado um desafio para a atualidade. Onde se torne possível adotar meios de utilização do lodo de modo eficiente e sustentável, dando utilidade e destinação adequada ou pelo menos com redução drástica de impactos ao meio ambiente.

A tabela 03 a seguir apresenta os principais meios de destinação do lodo em alguns países que possuem características distintas:

TABELA 03: Principais métodos de disposição de lodo em diferentes países

País	Método de disposição (como % do total produzido)			
	Aterros	Agricultura	Incineração	Outros
França ⁽¹⁾	50	50	0	0
Alemanha ⁽¹⁾	25	63	12	0
Itália ⁽¹⁾	34	55	11	0
Portugal ⁽¹⁾	80	13	0	7
Espanha ⁽¹⁾	10	50	10	30
Japão ⁽²⁾	6	14	80	0
EUA ⁽²⁾	30	20	30	20
Brasil ⁽²⁾	80	5	0	15

Fonte: ⁽¹⁾CHANG e colaboradores, 2001; ⁽²⁾GEYER, 2001.

De acordo com a tabela acima, é possível observar que a maior parte do lodo produzido no Brasil é depositado em aterros, atenuando ao que foi mencionado anteriormente. Uma outra proposta é a utilização como adubo na agricultura, representando um pequeno percentual de apenas 5%. Além disso, nota-se que a utilização de novas metodologias, tais como fabricação de cimento, disposição no solo, cultivo de grama comercial, fabricação de tijolos, solo comercial, compostagem e plantações de cítricos, segundo Iwaki (2018), ainda representa um alcance pequeno, representando, apenas, cerca de 15% de toda produção.

Uma saída alternativa que tem surgido há pouco tempo e que parece promissora, é a utilização do lodo na indústria cerâmica, servindo de aditivo para confecção de tijolo. Tratando-se de uma alternativa economicamente eficiente e ambientalmente viável, apresenta resultados excelentes e aceitação quase que unânime. Desta forma, será discutido a seguir a utilização do lodo para essa finalidade, apresentando percentuais de utilização e resultados que podem ser alcançados com sua utilização.

2.3.1 UTILIZAÇÃO DE LODO COMO ADITIVO EM BLOCO CERÂMICO

A utilização de materiais diversos como aditivos na indústria cerâmica sempre foi uma prática comum, desde a adição de plásticos, cinza da cana de açúcar e até o lodo, entre outros, efetivando três realidades significativamente interessantes, ligadas:

à manutenção de características técnicas do produto final, apresentando parâmetros de acordo com a norma específica; redução do custo de fabricação, por estar utilizando materiais em reciclagem; e preservação do meio ambiente, já que propõe um destino viável, esta sendo, talvez, a mais importante entre todos os ganhos.

Para que o material tenha um bom desempenho, se faz necessário uma dosagem adequada desse material, haja vista que o alcance de todas as características técnicas depende diretamente da qualidade da mistura, não sendo possível estabelecer quantidades empíricas. Todo esse cuidado tem sentido ao considerar possíveis alterações das propriedades mecânicas, de absorção e de retração do bloco.

Em busca da determinação de um percentual ótimo de dosagem do lodo na mistura para confecção do bloco cerâmico, Duarte (2008) realizou um experimento utilizando 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40% de lodo proveniente de uma empresa de caminhões limpa-fossa da cidade de Natal-RN. Destaca-se a dosagem de 25% que absorveu, em média, 160% de água a mais do que o tijolo-testemunha na sua etapa de fabricação. Por fim, a resistência à compressão foi significativamente diminuída com a adição de lodo: os tijolos com 5% de lodo perderam, em média, cerca de 45% da resistência obtida pelo tijolo-testemunha; os tijolos fabricados com 15 e 20% perderam na faixa de 70% da resistência máxima. As dosagens mais altas, de 25 e 30%, perderam cerca de 90% da resistência do tijolo-testemunha. Em relação aos critérios de periculosidade, foram analisadas as duas maiores dosagens que obtiveram aprovação técnica, ou seja, tijolos com dosagens de 15 e 20% de lodo; pode-se afirmar que não há risco de contaminação do meio-ambiente com a utilização destes tijolos. Desta forma, para as condições especificadas nesta pesquisa, pode-se concluir que a dosagem máxima de lodo que atende aos requisitos técnicos e ambientais é de 20%.

Segundo estudo realizado por Pires et al (2012) com o lodo produzido na ETE Camanducaia, localizada no município de Jaguariúna-SP, foram utilizados percentuais de lodo de 10%, 20% e 30%, chegando-se a conclusão de que o percentual considerado ótimo foi o que apresentou a maior adição, 30%, baseado nos ensaios de absorção, umidade de extrusão, retração e resistência.

No estudo desenvolvido por Júnior et al (2018), a reutilização do lodo de ETE ocorreu na fabricação de tijolos ecológicos solo-cimento. Em parceria com a Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL, foi utilizado o lodo gerado na ETE

de Santana do Ipanema, município localizado no Sertão alagoano. Para análises, foi utilizado uma variação da adição do lodo entre 5%, 10% e 15% da massa do bloco, que junto ao bloco matriz, passou por estudos de caracterização e qualificação dispostos na NBR. Os resultados apontaram que a incorporação do lodo de ETE influencia diretamente nas propriedades tecnológicas dos tijolos de solo-cimento, indicando que quanto maior o percentual de lodo na composição, maior será a tendência em se aumentar a perda de massa por imersão do tijolo, além disso, os tijolos com 10% e 15% de lodo não apresentaram a resistência mínima a compressão especificada pela NBR, denotando uma pequena variação de alguns em relação a resistência estabelecida na norma. Desta forma, o estudo conclui que o lodo analisado pode ser incorporado numa proporção aproximada de até 5% em relação à massa de solo seca, de modo a alcançar os padrões estabelecidos pela norma para tijolos de solo-cimento.

Silva et al (2015), encontrou percentuais semelhantes aos apresentados anteriormente nos estudos de Pires et al (2012) e Dias et al (2004). O estudo foi baseado na utilização de lodo da ETE Verde, localizada no município de Ponta Grossa-PR, aplicando proporções que variaram entre 5% e 50% de massa de lodo no bloco cerâmico. Com isso, após efetuar análise técnicas, os autores chegaram à conclusão de que a adição de lodo em até 25% da massa de argila atende a todos os parâmetros preconizados pelas normas vigentes para fabricação dos blocos.

Para o estudo realizado por Dias et al (2004), utilizando lodo produzido na ETA Meia Ponte, localizada na cidade de Goiânia-GO, foram utilizadas adições de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. As conclusões obtidas foram que os blocos fabricados com 10% de lodo atenderam as exigências da ABNT; os blocos fabricados com dosagem de 20% e 30% atenderam a norma, porém foram enquadrados na Classe 10 de resistência à compressão, diminuindo a qualidade do produto; e os tijolos com percentuais entre 40% e 50% de lodo não atenderam as especificações técnicas. Desta forma, embora apresente resistência menor, o bloco com 30% é considerado o que possui percentual ótimo de adição de lodo, já que possui resistência acima do que recomenda a norma e atende todos os parâmetros técnicos.

Castão e colaboradores (2017), fizeram análises da viabilidade de utilização de lodo nas proporções de 10%, 20% e 30% tomando como referência o lodo extraído da ETA Cabuçu, em Guarulhos-SP para confecção de blocos cerâmicos. Em seus estudos, foram analisados índices como resistência mecânica à compressão,

absorção de água e retração linear. Em suas observações, constataram que a retração linear da massa cerâmica diminui de acordo com o incremento do lodo e que adições superiores a 10% aumentam, ligeiramente, a absorção de água e diminui a resistência mecânica. Neste sentido, concluíram que a possibilidade de incorporação do lodo na fabricação de blocos cerâmicos deve ir até um limite próximo a 10%, em peso.

No estudo elaborado por Chalhoub e seus colaboradores (2019), as proporções de lodo utilizadas foram menores em relação aos dois estudos citados anteriormente, sendo de 3%, 6%, 9% e 12%. O lodo utilizado foi proveniente da ETA unidade Tamanduá, localizada no município de Foz do Iguaçu – PR. Nesse estudo o grupo produziu 10 amostras de percentual de lodo indicado anteriormente, além desses blocos com adição do lodo, foram produzidas 10 amostras do tipo testemunha, sem nenhuma adição.

As análises técnicas ocorreram através dos ensaios de absorção de água, índice de retração e resistência mecânica à compressão. Baseado nisso, o grupo chegou à conclusão de que os resultados foram satisfatórios nas amostras com teores entre 3% e 6% de lodo de ETA, já para as amostras com percentual superior a 9%, observou-se um alto índice de retração linear e conseqüentemente a redução da resistência à compressão. Neste sentido, concluiu-se que o percentual de lodo de ETA considerado ideal para incorporação dos blocos deve estar numa escala entre 3% e 6%, de modo a possibilitar uma relação absorção/retração X resistência considerada ótima.

Neste sentido, é possível observar que as variações entre o percentual ótimo de lodo na adição apresentam uma diferença em relação ao lodo de ETA e de ETE, que pode ocorrer em decorrência do tipo de tratamento ao qual foi submetido o lodo utilizado. Neste sentido, a utilização do lodo de ETE permite um percentual de incorporação maior do que do lodo da ETA.

Mesmo havendo essa pequena, porém pouco notável, diferença, o que chama a atenção é a quantidade de lodo a ser utilizado em substituição a argila, observando que em todos os casos apresentados, a resistência mínima estabelecida foi alcançada, estabelecendo um produto tecnicamente aceitável. Além disso, a substituição da argila pelo lodo, que representa algo em torno de 20% a 30% de toda mistura, apresenta uma redução drástica do uso desse material, importando duas conclusões significativas: uma ligada ao custo da produção, que tem uma redução

considerável em relação ao bloco tradicional; e a segunda em relação a diminuição do uso de argila na mistura, reduzindo consideravelmente a extração desse material de jazidas, o que representa diversos ganhos para o meio ambiente, envolvendo a conservação de corpos d'águas e até a redução da erosão do solo.

2.4 TIJOLOS DE TERRA CRUA

Os tijolos de Adobe recebem a denominação de tijolos de terra crua por não serem submetidos ao processo de queima, de modo que a etapa de secagem é feita através da energia solar, o que representa uma de suas maiores vantagens, se comparado a outras técnicas usadas mundialmente.

Historicamente as construções com terra crua se tornaram alternativas eficientes para edificação de moradias, tendo seu surgimento remontado desde os primórdios da humanidade. Essa técnica é presente em todo o mundo, justificada pelo custo/benefício de sua utilização e/ou por questões culturais. Um exemplo clássico da utilização histórica dessa técnica é a Muralha da China, com mais de dois mil anos de existência.

Dentro dessa visão histórica, com veemência, Junior (2015, p.02) salienta que:

“O ADOBE está para a história da construção dos abrigos do homem, como o próprio homem para a história da civilização. Isto significa que, junto à pedra e à madeira, foi o primeiro material a ser trabalhado dentro de princípios de modulação, isto é, de elemento componente pré-manufaturado, passível de estocagem e posterior montagem na edificação do abrigo-arquitetura.”

Neste sentido, é possível observar o quão importante essa técnica é para o desenvolvimento de técnicas modernas de construções ligadas à arquitetura contemporânea. No entanto, embora seja notável uma modernização sistemática desse conceito, Santiago (2001, p.31) acredita que:

“Aproximadamente 1/3 da população do mundo habita em edificações de terra crua, locais como: Peru, Índia, China, Espanha, França, Inglaterra, Portugal, Egito, Brasil e Estados Unidos, dentre outros, adotam este material construtivo para executar edificações.”

A informação levantada por Santiago traduz significativamente a importância e atuação dessa técnica no cenário mundial, valendo destacar que existe uma tendência de utilização ainda maior em regiões de clima mais seco e também em lugares mais carentes, já que acaba se tornando uma opção mais barata, tanto do ponto de vista de fabricação quanto de manuseio.

2.4.1 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DOS TIJOLOS DE ADOBE NO BRASIL

O Brasil, considerado um país dinamicamente tropical, apresenta subsídios importantes para utilização dessa técnica, considerando regiões mais específicas, como a Nordeste, onde o clima é mais seco e as chuvas mais escassas, já que o contato constante e direto com a água é desfavorável.

A introdução dessa técnica em terras brasileiras é remontada desde o período colonial, como presente trazido pelos colonizadores. Conforme Silva (2011, p.51), essa técnica “foi trazida para o Brasil pelos portugueses, os abrigos dos índios que aqui viviam eram feitos basicamente de palha e folhagens”.

Além do mais, como herança social trazida dessa época, segundo Silva (2001, p.36):

“as casas de terra sempre estiveram relacionadas à ideia de miséria, falta de salubridade e condições subumanas de moradia, porém, à medida que se conhece melhor o padrão construtivo que é possível alcançar com o uso dessas técnicas, chega-se à conclusão que boa parte da imagem de pobreza atribuída à estas casas é preconceituosa.”

Nessa visão apresentada, é notório que o fato de se tratar de uma técnica de fácil manuseio e baixo custo de produção acaba sendo relacionada com a condição social do usuário, o que vem ganhando sentido incoerente ao se comparar sua importância e diversificação de possibilidades de utilização.

2.4.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DOS TIJOLOS DE ADOBE

Assim como qualquer material, a utilização dos tijolos de adobe apresenta variantes com relação as vantagens e as desvantagens, servindo de parâmetros consideráveis para avaliar o quão útil pode ser a sua adoção em uma edificação.

Diante desse cenário, um fator, já citado anteriormente, e que merece destaque, em relação ao uso dessa técnica é a facilidade de manuseio, que pode ser realizado por qualquer pessoa, sem que necessariamente seja especializado, o que tende a reduzir circuntanciavelmente o custo com esse serviço. Acrescentando, Romero (2013, p.13) confirma que:

“Uma edificação com tijolo de adobe tem uma outra importante qualidade que é a de poder ser executada através de autoconstrução, por mão de obra não especializada assessorada por profissional da área, propiciando assim que a população mais carente possa habitar em moradia construída por ela própria.”

Além desse destaque, a tabela 04 abaixo, aborda um resumo das qualidades e limitações apresentadas pelos adobes que podem se tornar empecilhos e/ou atenuantes de sua utilização:

TABELA 04: Qualidades e limitações do tijolo de adobe como material de construção

QUALIDADES	LIMITAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> • Redução com os custos de produção. • Redução com custo de transporte de material industrializado. • Disponibilidade de material de construção. • Reutilização ilimitada. • Diminuição da contaminação do meio ambiente por resíduos de obra. • Economia de energia. • Adequado à autoconstrução. • Pode ser executado por mão de obra não especializada. • Conforto térmico no interior do ambiente construído. • Isolamento acústico 	<ul style="list-style-type: none"> • Desintegração do material na presença de água. • Manutenção constante do revestimento para evitar frestas. • Retração por evaporação da água da mistura. • Não padronização do produto final. • Falta de melhoramentos técnicos.

Fonte: Minke (2008) e Faria (2002).

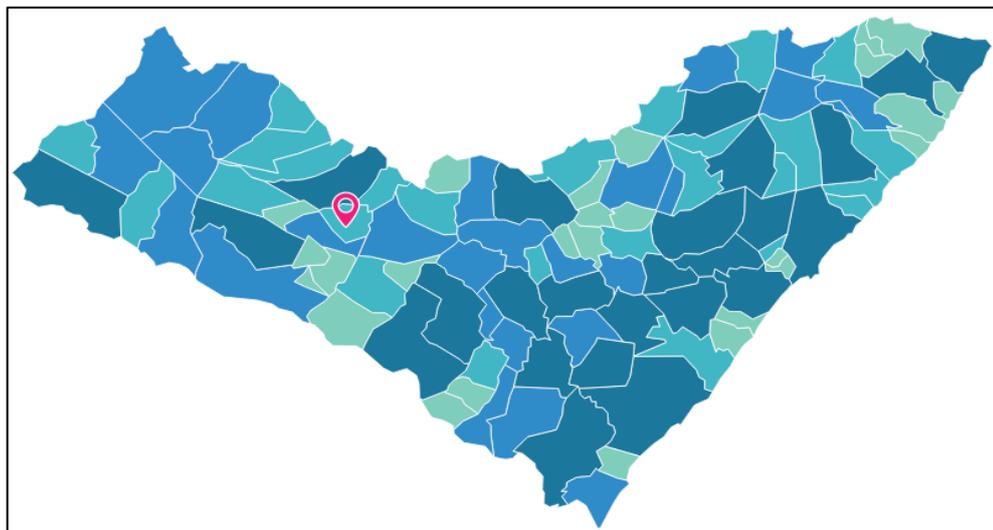
Analisando a tabela 04, é possível observar que, embora as limitações sejam consideráveis, os benefícios apresentados pelos tijolos de adobe indicam índices suficientes para sua utilização. No entanto, as desvantagens são pontuais e comprometedoras, necessitando de uma análise técnica abrangente antes de ser considerada uma opção útil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

As ações desenvolvidas no presente trabalho foram realizadas em dois locais distintos. Inicialmente, os tijolos foram moldados e secos na zona rural do município de Olivença-AL, conforme localização apresentada na imagem 01 a seguir; em seguida, após o período de secagem, foram levados ao laboratório de materiais da Universidade Federal de Alagoas/UFAL – Campus do Sertão, na cidade de Delmiro Gouveia – AL, para realização dos ensaios.

IMAGEM 01: Mapa de Alagoas com localização do município de Olivença



Fonte: IBGE, 2020.

3.2 COLETA DOS MATERIAIS

Regionalmente, os tijolos de adobe são confeccionados com uso de fibras, com a finalidade de ampliar sua resistência. No entanto, como o objeto maior da pesquisa é analisar a adição do lodo no tijolo, optou-se pela não utilização da fibra, considerando o desconhecimento de impactos que podem surgir através da reação entre ambos, deixando essa análise para pesquisas posteriores.

Dentre os principais materiais utilizados no trabalho, destacam-se a utilização de argila, lodo de Estação de Tratamento de Água e lodo de Estação de Tratamento de Esgoto.

3.2.1 ARGILA

A argila foi coletada numa jazida localizada na zona rural do Município de Olivença-AL, nas proximidades do Povoado Poço da Cacimba. A escolha do local de coleta da argila ocorreu através da indicação de moradores da região, haja vista ser um local onde comumente esse material é extraído e utilizado para a confecção de tijolos de adobe pela própria comunidade e vizinhos. A imagem 02, a seguir, apresenta a argila utilizada nos tijolos:

IMAGEM 02: Argila utilizada na confecção dos adobes



Fonte: O autor (2019).

3.2.2 LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

O lodo da Estação de Tratamento de Esgoto foi coletado no dia 30 de agosto de 2019, em uma das Estações da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA), localizada na cidade de Paulo Afonso-BA. Na própria estação, a equipe técnica realiza a desidratação do lodo em leitos de secagem, de modo a restar apenas a matéria desidratada para posterior descarte.

Desta forma, o material coletado tinha formato granular e já estava com teor de umidade reduzido, pronto para o uso, descartando, assim, a necessidade de secagem complementar. A quantidade coletada não foi mensurada pela falta de equipamento no local de coleta, mas como se tratava de matéria pronta para o uso, estima-se que

tenha sido coletado aproximadamente 10 Kg. A imagem 03, a seguir, mostra o lodo coletado na ETE:

IMAGEM 03: Lodo coletado na ETE de Paulo Afonso – AL



Fonte: O autor (2019)

3.2.3 LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O lodo da Estação de Tratamento de Água foi coletado no dia 18 de novembro de 2019 em uma Estação do grupo Agreste Saneamento, localizada na cidade de Arapiraca-AL. A secagem do lodo é realizada através de Bag's de desidratação, na própria estação. Foi coletado cerca de 50 litros através de um tambor plástico e, após seco, restou aproximadamente 6 Kg de matéria desidratada. O lodo contido nos Bag's era "novo", contendo alto teor de umidade e apresentando consistência pastosa, conforme imagem 04, a seguir.

IMAGEM 04: Lodo coletado na ETA de Arapiraca - AL



Fonte: O autor (2019)

O lodo coletado na estação foi submetido ao processo de secagem natural, ficando exposto a céu aberto por 7 dias. Após as primeiras 24 h de secagem, o lodo ainda apresentava, a olho nu, alto teor, conforme imagem 05, a seguir:

IMAGEM 05: Lodo no leito de secagem



Fonte: O autor (2019)

3.3 FABRICAÇÃO DO ADOBE

3.3.1 DIMENSÕES DA FORMA

O projeto de Norma do Adobe, NBR 16814:2019, estabelece dimensões específicas para o tijolo de adobe, através de um modelo matemático empírico. No

entanto, existe uma variação dessas dimensões a partir de critérios regionais, em diferentes contextos de métodos construtivos, desde os mais esbeltos até os mais robustos. Dessa forma, foram escolhidas dimensões utilizadas mais comumente em nossa região, considerando, ainda, uma certa economia de material.

Nesse sentido, adotou-se uma fôrma com 23 cm de comprimento, 11 cm de largura e 7 cm de profundidade, conforme mostra a imagem 06, a seguir:

IMAGEM 06: Forma utilizada na confecção dos tijolos



Fonte: O autor (2019)

3.3.2 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE TIJOLOS A SEREM MOLDADOS

Para inspeção geral, a NBR 16814:2019 estabelece o uso de 13 amostras retiradas em cada lote, que deverão ser utilizadas como corpos de prova. No entanto, como o trabalho é de pesquisa experimental, em busca da redução de uso excessivo de materiais que serão descartados em seguida, optou-se pela utilização de 7 tijolos para realização dos ensaios e análises.

3.3.3 DEFINIÇÃO DOS PERCENTUAIS DE ADIÇÃO

De acordo com a bibliografia, destacado no referencial construído nesse trabalho, o percentual considerado ótimo para adição de lodo está entre 20% e 30%, de modo a conservar as características físicas e mecânicas inalteradas.

Neste sentido, foram analisados 4 tipos diferentes de tijolos, contendo adições de lodo na ordem de 20% da massa total do tijolo. Neste sentido, foram consideradas as seguintes misturas:

- Tijolo Matriz (TM) – sem adição
- Tijolo com adição de lodo de ETA (TAA) – adição de 20% de lodo de ETA
- Tijolo com adição de lodo de ETE (TAE) – adição de 20% de lodo de ETE
- Tijolo com adição de lodo de ETA e ETE (TAAE) – adição de 10% de lodo de ETA + 10 % de lodo de ETE

A imagem 07 a seguir mostra a mistura para o tijolo matriz:

IMAGEM 07: Mistura da massa para tijolo matriz



Fonte: O autor (2019)

3.3.4 MOLDAGEM DOS ADOBES

As misturas ocorreram seguindo os percentuais definidos acima, com acréscimo de água, de modo a chegar numa consistência que permitisse o manuseio e a moldagem.

Além disso, o lodo adicionado em cada traço precisou ser destorrado, antes de ser misturado, de modo a esfarela-lo e ficar o mais fino possível. Esse processo ocorreu de forma manual, o que justifica o fato da não obtenção de um material tão fino quanto se queria.

A mistura, então, era colocada na fôrma e adensada com a mão, de modo a impedir vazios e preencher o molde por completo. Em seguida, o tijolo já era desenformado de imediato, para evitar danos ao tijolo em decorrência de secagem. Após o desenformamento do tijolo, a fôrma era mergulhada em um balde com água, como meio de deixar a parte interna da fôrma sempre úmida e impedir a fixação do material do próximo tijolo nas laterais do molde. Além disso, por considerar diferentes adições, as misturas foram realizadas de forma individual, ou seja, à medida que eram realizadas, já se realizava a moldagem dos tijolos, efetuando descarte do excedente e limpeza do local onde estava sendo feita a mistura.

3.3.5 SECAGEM DOS ADOBES

De acordo com o que estabelece o projeto de norma do adobe, NBR 16814:2019, o tempo de secagem dos adobes varia de acordo com as condições climáticas de cada região.

Dessa forma, após o processo de moldagem, por volta das 16:00 horas, ocorrido em ambiente aberto ao tempo, os tijolos ficaram em descanso no local de moldagem para endurecimento natural e assim evitar a remoção dos mesmos ainda com a massa mole. No dia seguinte, por volta das 06:00 horas, quando já apresentavam uma consistência melhor, os tijolos foram retirados do local aberto e levados para um local coberto e ficaram secando na sombra por 2 dias. Após isso, quando já estavam com um grau de dureza considerável, foram levados para secagem direto no sol por mais 2 dias, de modo que, após o primeiro dia, todos os tijolos foram virados, facilitando a secagem uniforme e homogênea de todas as faces. Após o 2º dia de secagem dos tijolos no sol, já percebendo boa secagem, foram estocados em local coberto e fechado até o dia de realização de ensaios, cerca de 5 dias depois.

Na imagem 08, a seguir, é apresentado à disposição dos tijolos no processo de secagem. Embora os ensaios sejam realizados com 7 amostras de cada tipo, por conta da sobra de material, alguns tipos de tijolos foram moldados a mais, sendo descartado o excedente:

IMAGEM 08: Secagem dos adobes



Fonte: O autor (2019)

3.4 ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Alagoas, UFAL – Campus do Sertão, no dia 02 de dezembro de 2019, com auxílio do técnico do laboratório Arnon Berg Michel de Lima.

O projeto da norma do adobe, NBR 16814:2019, estabelece quatro ensaios que deverão ser realizados com os adobes:

- Caracterização do material usado
- Determinação das características dimensionais
- Determinação da resistência à compressão
- Determinação da resistência à compressão de prismas

Neste sentido, para análise dos adobes, foram realizados os seguintes ensaios:

- Caracterização do material
 - Granulometria
 - Limite de liquidez
 - Limite de plasticidade
- Características dimensionais
- Resistência mecânica a compressão
- Imersão em água

3.4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

A caracterização do material ocorreu através da avaliação de 3 parâmetros fundamentais da Engenharia de Materiais, o ensaio Granulométrico e dos limites de Atterberg, liquidez e plasticidade. Ambos os ensaios foram realizados no próprio laboratório de materiais da UFAL.

3.4.1.1 GRANULOMETRIA

O ensaio de granulometria foi realizado tomado como base as orientações estabelecidas pela norma NBR 7181:2016.

Inicialmente a amostra de solo retirada da jazida foi colocada para secagem em ambiente aberto e com contato direto com o sol e ar. Em seguida foi retirado 5 Kg de solo e realizado o processo de destorroamento manual com auxílio do almofariz de porcelana e a mão de grau, buscando separar as partículas menores das maiores. Na imagem 09 a seguir, tem-se a amostra de solo após o processo de destorroamento:

IMAGEM 09: Amostra de solo após o processo de destorroamento



Fonte: O autor (2019)

Antes do ensaio, conforme estabelece a norma, foi realizado o processo de quarteamento direto da amostra, conforme a imagem 10 a seguir:

IMAGEM 10: Quarteamento da amostra



Fonte: O autor (2019)

Após o quarteamento, duas partes foram selecionadas para realização da granulometria e as outras duas foram descartadas. Na imagem 11, a seguir, tem-se os dois quartos retirados do quarteamento, totalizando 1309 gramas.

IMAGEM 11: Solo retirado do quarteamento



Fonte: O autor (2019)

O jogo de peneiras utilizadas no ensaio era composto por 10 peneiras de malhas: #19 mm, #9,5 mm, #4,8 mm, #2,0 mm, #1,2 mm, #0,6 mm, #0,42 mm, #0,3 mm, #0,21 mm, #0,15 mm e #0,075 mm. Conforme apresentado na imagem 12 a seguir:

IMAGEM 12: Conjunto de peneiras



Fonte: O autor (2019)

O conjunto foi montado na ordem da peneira de maior abertura para a de menor abertura. Após a adição do solo na primeira peneira, a agitação foi realizada de forma manual, uma vez que o aparelho agitador não cabia todas as peneiras, conforme imagem 13 a seguir:

IMAGEM 13: Início do ensaio de Granulometria com adição do solo no jogo de peneiras



Fonte: O autor (2019)

Com o processo de agitação, os grãos com diâmetros menores que a malha, passam para a próxima peneira e os demais ficam retidos. De acordo com o ensaio,

os grãos retidos na peneira possuem diâmetro maior que sua malha. Desta forma, eram encaminhados para aferição do peso. Na imagem 14, a seguir, tem-se um exemplo da pesagem dos grãos. Neste caso, os retidos na peneira de 0,6 mm, pesando 235 gramas.

IMAGEM 14: Pesagem dos grãos retidos na peneira de 0,6 mm



Fonte: O autor (2019)

3.4.1.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

A determinação dos limites de consistência do solo foi realizada por meio dos Limites de liquidez e de plasticidade e do índice de plasticidade, descritos a seguir.

3.4.1.2.1 LIMITE DE LIQUIDEZ

A realização do ensaio para determinação do limite de liquidez do solo foi baseada na NBR 6459:2017.

Foram coletadas 200 gramas de solo que passou na peneira de #0,42 mm e desses, 100 gramas foi colocado num almofariz de porcelana, conforme apresentado na imagem 15 a seguir:

IMAGEM 15: Amostra de solo usado no ensaio do Limite de Liquidez



Fonte: O autor (2019)

Em seguida, foi umedecido o solo com adição de água por cerca de 15 minutos até chegar numa pasta homogênea, nesse primeiro instante foi adicionado 33 ml de água, conforme apresentado na imagem 16 a seguir:

IMAGEM 16: Umedecimento do solo



Fonte: O autor (2019)

Para realização do ensaio, foi utilizado o aparelho de Casagrande, conforme apresentado na imagem 17 a seguir:

IMAGEM 17: Aparelho de Casagrande



Fonte: O autor (2019)

Após o umedecimento do solo, a pasta foi transferida para a concha do aparelho de Casagrande, conforme apresentado na imagem 18 a seguir:

IMAGEM 18: Moldagem do solo no aparelho de Casagrande



Fonte: O autor (2019)

Após a moldagem, foi feita uma ranhura com o cinzel, de modo a fazer uma divisão no meio central, conforme a imagem 19 a seguir:

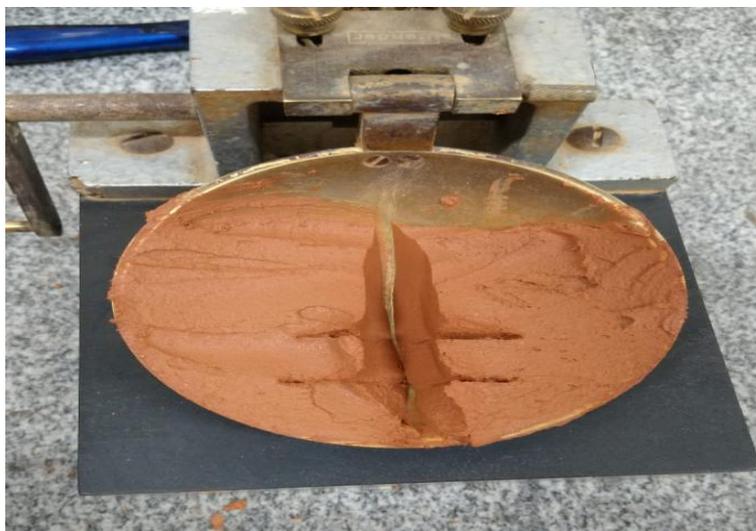
IMAGEM 19: Ranhura central na amostra de solo



Fonte: O autor (2019)

Em seguida, foram realizados golpes até que ocorresse a união das bordas da ranhura ao longo de 13 mm, conforme mostrado na imagem 20 a seguir:

IMAGEM 20: União das bordas da ranhura após os golpes



Fonte: O autor (2019)

Após a união, com auxílio de uma espátula foi retirado amostra de solo da parte da ranhura onde ocorreu a união, conforme apresentado na imagem 21, a seguir:

IMAGEM 21: Amostra de solo retirado no ponto de união da ranhura



Fonte: O autor (2019)

As amostras extraídas foram colocadas em cápsulas, devidamente identificadas, e pesadas, conforme apresentado na imagem 22 a seguir, e levadas para estufa a 105 °C, conforme apresentado na imagem 23, a seguir, ficando por 24 horas. Após esse período, as amostras foram pesadas novamente, para determinação da massa de água presente na amostra, conforme mostrado na imagem 24 a seguir:

IMAGEM 22: Pesagem das amostras extraídas do aparelho de Casagrande



Fonte: O autor (2019)

IMAGEM 23: Cápsulas sendo colocadas na estufa



Fonte: O autor (2019)

IMAGEM 24: Pesagem das amostras após secagem na estufa



Fonte: O autor (2019)

Esse procedimento foi efetuado 5 vezes, alterando a umidade para que pudesse variar o processo entre 25 golpes, para cima e para baixo. Após a finalização de todas as etapas, foi calculado a umidade de cada amostra por meio da equação 01, abaixo, relacionando-a ao número de golpes por meio de um gráfico. Como não se conseguiu chegar a uma umidade que tivesse exatamente 25 golpes, foi efetuado a interpolação dos dados obtidos para chegar a essa informação por meio da equação 02.

$$h = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

h – teor de umidade em %

M_u – massa úmida da amostra

M_s – massa seca da amostra

$$\frac{y - y_0}{y_1 - y_0} = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

x_0 e y_0 – ponto abaixo de 25 golpes

x e y – ponto de exatos 25 golpes

x_1 e y_1 – ponto acima de 25 golpes

3.4.1.2.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

A realização do ensaio para determinação do limite de plasticidade do solo foi baseada na NBR 7180:2016 e na ME 082/94 (DNER/DNIT).

Durante a realização do ensaio para determinação do Limite de Plasticidade, sobraram 100 gramas do solo que passaram na peneira de #0,42 mm, o mesmo solo a ser utilizado no limite de plasticidade, conforme orientação da norma.

O solo foi colocado em um almofariz e umedecido com água por 15 minutos, conforme imagem 25 a seguir:

IMAGEM 25: Umedecimento do solo



Fonte: O autor (2019)

Em seguida foi coletada uma parte da amostra úmida e rolada sobre uma placa de vidro, até formar um cilindro, conforme imagem 26 a seguir:

IMAGEM 26: Rolamento da amostra de solo na placa de vidro



Fonte: O autor (2019)

O rolamento do cilindro só foi interrompido quando o mesmo começou a se fraturar e quando já estava com diâmetro de 3 mm, para isso foi utilizado como base um gabarito de metal, conforme a imagem 27 abaixo:

IMAGEM 27: Cilindro sendo comparado com o gabarito

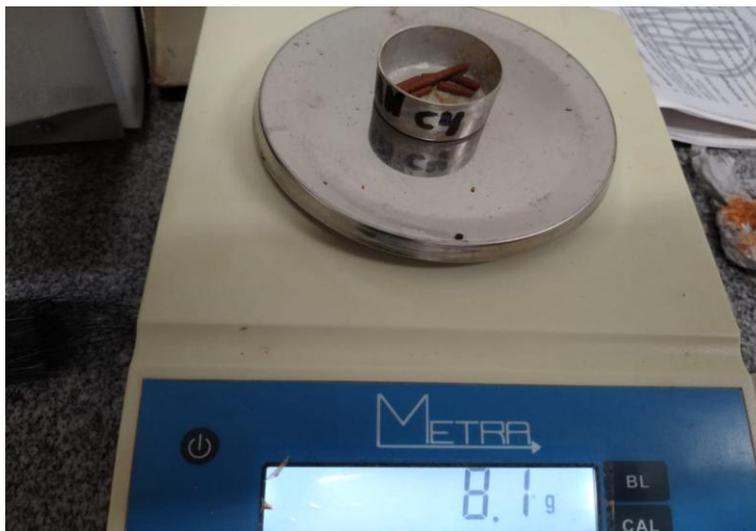


Fonte: O autor (2019)

Além disso, utilizando a haste de metal, os cilindros foram cortados de modo a conter apenas 10 cm de comprimento.

Após a moldagem dos cilindros, os mesmos foram colocados em cápsulas devidamente identificadas, pesadas e em seguida levadas para a estufa, a 105 °C por 24 horas, conforme imagem 28 a seguir:

IMAGEM 28: Cápsulas sendo pesadas antes da secagem na estufa



Fonte: O autor (2019)

Após serem retiradas da estufa foram pesadas novamente e assim determinado o teor de umidade de cada uma, conforme apresentado na imagem 29 a seguir:

IMAGEM 29: Pesagem das cápsulas após secagem na estufa



Fonte: O autor (2019)

Esse procedimento foi repetido quatro vezes, de modo a gerar quatro amostras, conforme mostrado na imagem 30 abaixo. Por fim, após determinação do teor de umidade de cada uma, o Limite de Plasticidade foi determinado pela média do teor de umidade das três amostras

IMAGEM 30: Cápsulas contendo as amostras



Fonte: O autor (2019)

3.4.1.2.3 ÍNDICE DE PLASTICIDADE

Como forma de medir a plasticidade do solo, foi determinado o índice de plasticidade. Este índice também é regulamentado pela NBR 7180:2016 e determinado através da equação 03 a seguir:

$$IP = LL - LP \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

IP – índice de plasticidade

LL – limite de liquidez

LP – limite de plasticidade

Segundo Jenkins (apud Almeida, 2005, p.33) através do índice de plasticidade é possível caracterizar o solo em:

Francamente plástico $1 < IP < 7$

Medianamente plástico $7 < IP < 15$

Altamente plástico $IP > 15$

3.4.2 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS

Nesse ensaio, todos os tijolos moldados foram utilizados, num total de 28, considerando os 4 tipos de traços. Para realizá-lo, seguiu-se as instruções do Projeto de Norma NBR 16814:2019, que orienta a medição de todas as dimensões do tijolo adobe e por conseguinte o cálculo da média, para determinação das dimensões efetivas. Neste sentido, foram utilizadas as equações (4, 5 e 6) a seguir:

$$H_i = \frac{H_1 + H_2}{2} \quad \text{Equação 4}$$

$$L_i = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad \text{Equação 5}$$

$$C_i = \frac{C_1 + C_2}{2} \quad \text{Equação 6}$$

Onde H, L e C são, respectivamente, as medidas de altura, largura e profundidade do tijolo.

Por fim, após obter as dimensões efetivas de cada tijolo, as dimensões médias são determinadas pelas seguintes equações (7, 8 e 9):

$$H_m = \frac{\sum_1^n H_i}{n} \quad \text{--} \quad \text{Altura média} \quad \text{Equação 7}$$

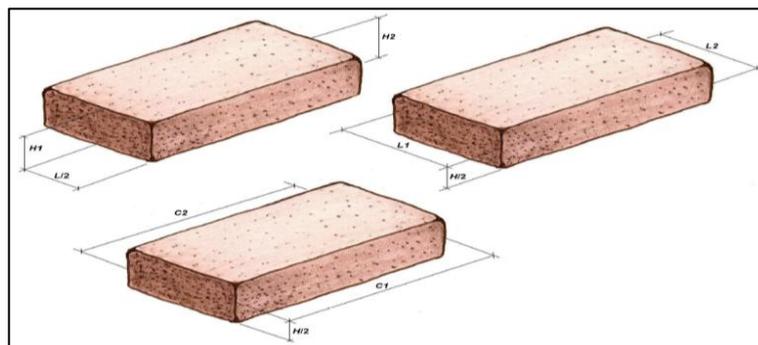
$$L_m = \frac{\sum_1^n L_i}{n} \quad \text{--} \quad \text{Largura média} \quad \text{Equação 8}$$

$$C_m = \frac{\sum_1^n C_i}{n} \quad \text{--} \quad \text{Comprimento médio} \quad \text{Equação 9}$$

Onde n é o número de corpos de prova da amostra.

A imagem 31, a seguir, extraída da norma, indica o processo de medição a ser seguido:

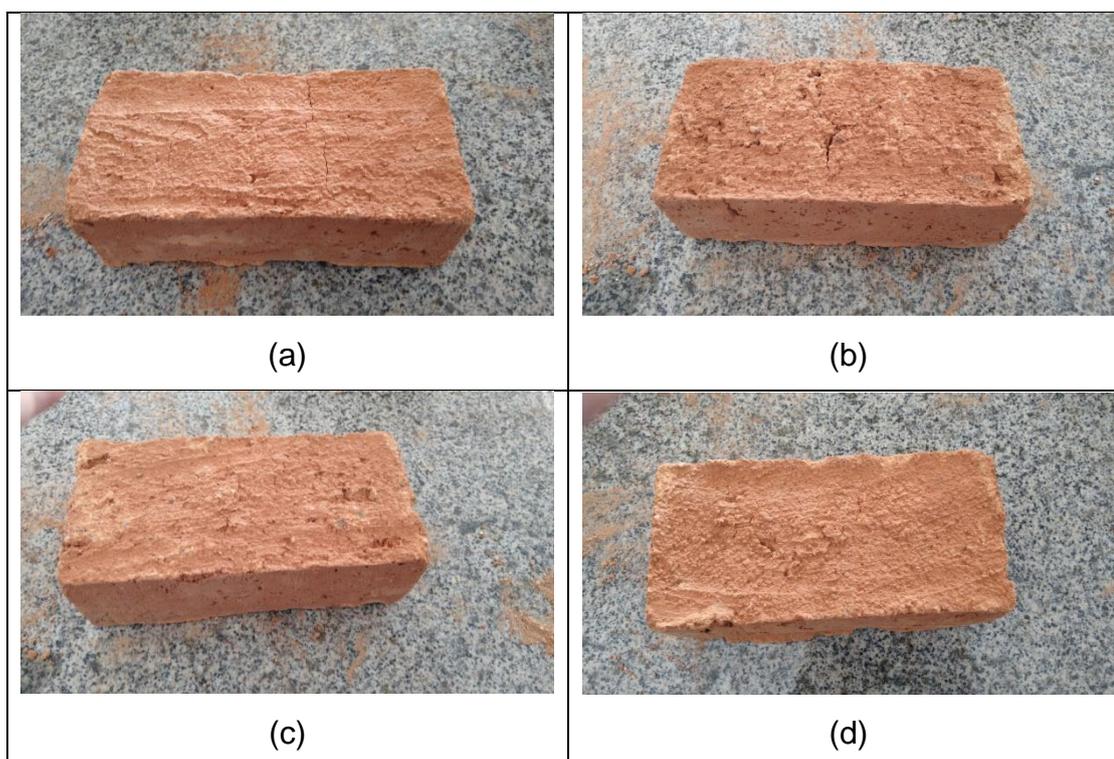
IMAGEM 31: Forma de medição das dimensões efetivas dos adobes



Fonte: NBR 16814:2019, p. 14

A imagem 32 a seguir mostra os tijolos após o processo de secagem:

IMAGEM 32: Tijolos após processo de secagem



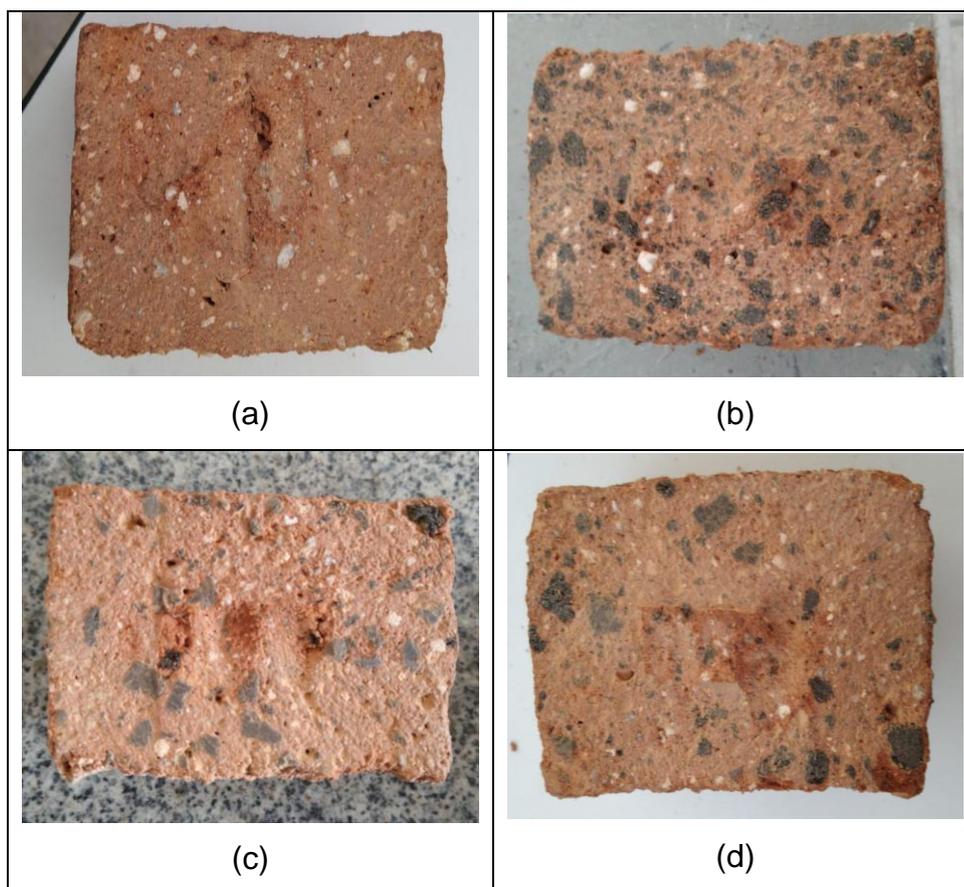
(a) Tijolo matriz; (b) Tijolo com lodo de ETE; (c) Tijolo com lodo de ETA; (d) Tijolo com mistura de lodo de ETA + lodo de ETE

Fonte: O autor (2019)

É possível observar que não existem diferenças significativas, visíveis a olho nu, que diferenciem os tijolos em diferentes traços.

No entanto, a imagem 33 a seguir, mostra a parte interna dos tijolos, que foram submetidos ao ensaio de compressão.

IMAGEM 33: Corpos de prova extraídos dos tijolos



(a) Tijolo matriz; (b) Tijolo com lodo de ETE; (c) Tijolo com lodo de ETA; (d) Tijolo com mistura de lodo de ETA + lodo de ETE

Fonte: O autor (2019)

É possível notar que, internamente, existe uma variação da disposição do lodo adicionado em cada traço, de modo que, provavelmente, o fato de sua utilização não ter sido mais fina, deixou a presença de pequenos grãos. No entanto, a intenção da pesquisa está ligada, especificamente, a busca por uma forma alternativa de descarte do lodo, o que leva a concluir que não há interferência direta na forma como o lodo está disposto no interior do tijolo, muito embora seja necessário admitir que o fato do lodo ficar mais fino facilita o processo de homogeneização da mistura com a argila.

3.4.3 RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO

Para o ensaio de resistência a compressão foram utilizados 3 tijolos de cada traço. Esses tijolos foram cortados em 3 partes no formato de cubos (ver imagem 34).

IMAGEM 34: Corpos de prova em cubo extraídos dos tijolos



Fonte: O autor (2019)

Para regularização das faces que entrariam em contato com a prensa, foi utilizado sistema de capeamento não colado, disponibilizado pelo laboratório. Essa técnica é referenciada cientificamente como meio alternativo ao uso de pasta de cimento, conforme estabelece a NBR 8492:1984 (ver imagem 35).

IMAGEM 35: Rompimento de corpo de prova com uso de capeamento não colado



Fonte: O autor (2019)

O rompimento dos corpos de provas foi realizado no próprio laboratório de materiais através de uma prensa hidráulica. Para arquivamento dos dados, foi construída uma planilha programada, com entrada da resistência em Kgf, convertido

no ato na medição, e da área da seção transversal, calculada individualmente em cada corpo de prova, haja vista a não regularidade das dimensões. Após a obtenção desses dados, precisou-se convertê-los para chegarmos a valores de resistência na unidade de MPa, para isso foi usada a equação 10, a seguir:

$$\varphi = \frac{F * g}{A * 10^6} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

φ – Resistência (em MPa)
 F – Força (dada em Kgf)
 g – Aceleração da gravidade (adotado como 10 m/s²)
 A – Área da seção transversal do corpo de prova (dado em m²)

Após a determinação das resistências, foi realizado um estudo estatístico dos dados apresentados. Por meio das equações 11 (média aritmética), 12 (Variância), 13 (Desvio padrão) e 14 (Coeficiente de variação) indicadas abaixo, foi possível determinar parâmetros que promovem uma avaliação mais específica e detalhada dos dados obtidos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

\bar{x} – Média aritmética das resistências (MPa)
 n – Número de casos
 x – Valor da resistência (MPa)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

σ^2 - Variância (MPa²)
 x – Valor da resistência (MPa)
 \bar{x} – Média aritmética
 n – Número de casos

$$D_p = \sqrt{S^2} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

D_p – Desvio padrão (MPa)
 S² – Variância (MPa²)

$$CV = \frac{D_p}{\bar{x}} * 100 \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

CV – Coeficiente de variação (%)

D_p – Desvio padrão (MPa)

\bar{x} – Média aritmética (MPa)

3.4.4 IMERSÃO EM ÁGUA

O projeto da norma do adobe, NBR 16814:2019, não normatiza o ensaio de absorção. No entanto, optou-se pela realização deste, como forma de avaliar prováveis resultados e assim observar o comportamento dos tijolos quando imersos em água.

Para realização deste ensaio, foram utilizados 3 corpos de prova de cada traço, identificados através de marcação com pincel permanente. Inicialmente foram colocados na estufa a 105 °C, por 24 horas; decorridas as 24 horas, foram retirados da estufa e ficaram esfriando por cerca de 1 hora; adiante, foram pesados em balança digital. A imagem 36 a seguir, apresenta o momento da pesagem de um dos tijolos:

IMAGEM 36: Pesagem do tijolo após retirada da estufa



Fonte: O autor (2019)

Após efetivação da pesagem de todos os tijolos e registro dos dados, os mesmos foram imersos em recipiente com água, devendo ficar cerca de 5 horas.

Como fora realizada a marcação de todos com pincel, não havia risco de problemas para identificação, após o período de imersão.

Neste ensaio, a análise ocorreu através da observação do comportamento dos tijolos dentro da água. Caso o experimento não apresentasse problemas, a continuidade do mesmo ocorreria através da pesagem dos tijolos úmidos para determinação do índice de absorção. Informações complementares serão apresentadas a seguir.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados para caracterização da argila utilizada por meio da análise granulométrica e dos limites de consistência; na análise geométrica dos tijolos; na avaliação da resistência mecânica a compressão dos tijolos; e na análise da imersão dos tijolos em água por 24 horas.

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Após o procedimento de peneiramento do material utilizado, foi obtido a seguinte distribuição granulométrica apresentada na tabela 05 a seguir:

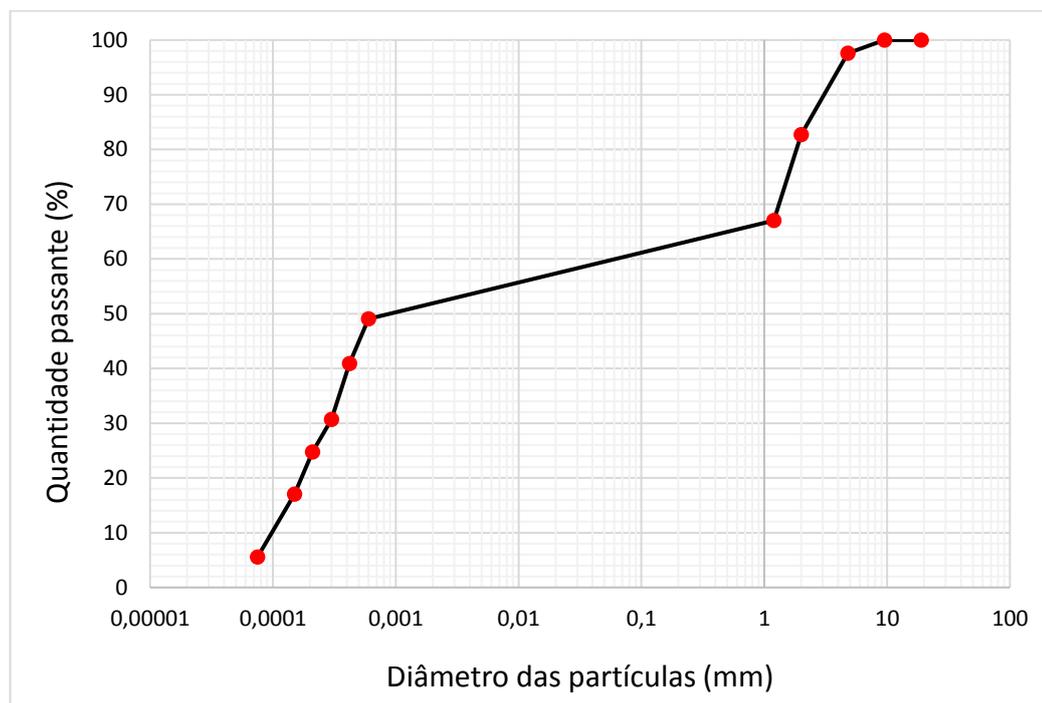
TABELA 05: Distribuição granulométrica do material utilizado

Peneira (mm)	Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Massa não retida (g)	% não retido
19	0	0	1309	100
9,5	0	0	1309	100
4,8	32	32	1277	97,56
2	194	226	1083	82,73
1,2	206	432	877	67,00
0,0006	235	667	642	49,05
0,00042	107	774	535	40,87
0,0003	133	907	402	30,71
0,00021	78	985	324	24,75
0,00015	101	1086	223	17,04
0,000075	150	1236	73	5,58

Fonte: O autor (2019)

A partir desses dados foi construída a curva de distribuição granulométrica do material, apresentada no gráfico 01 a seguir:

GRÁFICO 01: Curva de distribuição granulométrica



Fonte: O autor (2019)

De acordo com a NBR 6502, temos a escala de distribuição granulométrica:

TABELA 06: Escala granulométrica

Classificação	Escala (mm)
Pedregulho	60 – 2
Areia grossa	2,0 – 0,6
Areia média	0,6 – 0,20
Areia fina	0,20 – 0,06
Silte	0,06 – 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: NBR 6502:1995

Avaliando a curva de distribuição granulométrica é possível observar que o solo tem uma distribuição relativamente mal graduado, uma vez que não existe uma coesão em relação aos percentuais de grãos passantes ao longo das aberturas das peneiras.

Além disso, tomando como referência os dados determinados pela NBR 6502:1995, mostrado na tabela 06, analisando os dados da curva granulométrica apresentada no gráfico 01 acima, é possível destacar que o solo utilizado é formado,

efetivamente, por pedregulhos, areia e argila. Considerando os valores, a divisão é composta por 2,44% de pedregulhos, 30,56% de areia e 61,42% de argila.

4.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

4.2.1 LIMITE DE LIQUIDEZ

Para determinação do limite de liquidez, foram coletadas 5 amostras e os dados obtidos são apresentados na tabela 07 a seguir:

TABELA 07: Dados das amostras do ensaio do LL

AMOSTRA	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Número de golpes
A1	17,8	12,9	07
A2	14,5	11	14
A3	12,1	9,2	17
A4	9	7	29
A5	8,3	6,5	31

Fonte: O autor (2019)

Utilizando a equação 1, foram obtidas as umidades de cada amostra que serão relacionadas ao número de golpes, apresentadas na tabela 08 abaixo:

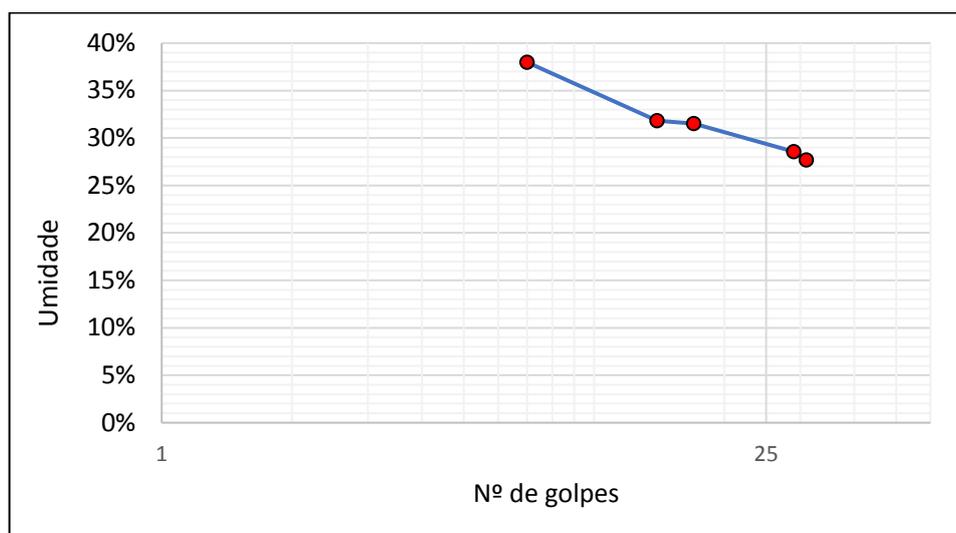
TABELA 08: Umidade das amostras no ensaio do LL

AMOSTRA	Umidade	Número de golpes
A1	37,98%	07
A2	31,82%	14
A3	31,52 %	17
A4	28,57%	29
A5	27,69%	31

Fonte: O autor (2019)

Dessa forma, a partir dos valores da umidade de cada amostra foi construído o gráfico 02 a seguir que relaciona a umidade ao número de golpes efetuados no aparelho de Casagrande:

GRÁFICO 02: Retas de escoamento



Fonte: O autor (2019)

Observando o gráfico 02 acima, é possível observar que existe uma função linear entre a relação da umidade com o número de golpes. Desta forma, tomando essa informação como referência, por meio da tabela 08 e da equação 02, é possível estimar, por meio de interpolação linear, o teor de umidade do solo (limite de liquidez) para o caso em que o número de golpes é 25, que é de 29,55%.

4.2.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

O ensaio de determinação do limite de plasticidade foi realizado com 3 amostras que determinaram dados da tabela 09 a seguir:

TABELA 09: Dados das amostras no ensaio de LP

AMOSTRA	Massa úmida (g)	Massa seca (g)
B1	1,4	1,2
B2	1,4	1,2
B3	1,7	1,5

Fonte: O autor (2019)

Baseados nos dados obtidos no ensaio, utilizando a equação 01, é possível estimar a umidade de cada uma das amostras, conforme apresentado na tabela 10 a seguir:

TABELA 10: Umidades das amostras no ensaio do LP

AMOSTRA	Umidade
B1	16,67%
B2	16,67%
B3	13,33%

Fonte: O autor (2019)

Para validação do ensaio, conforme determina a NBR 7180:2016, a margem de erro entre as amostras deve ser de no máximo 5%. Os valores obtidos e apresentados na tabela 10 acima demonstram que essa exigência é atendida, já que a diferença máxima entre umidades das amostras é de 3,37%, o que valida a execução do ensaio.

Após confirmação da validação do ensaio, a determinação do Limite de Plasticidade é feita através do cálculo da média das umidades das 3 amostras, que é, portanto, equivalente a 15,57%.

4.2.3 ÍNDICE DE PLASTICIDADE

A determinação do índice de plasticidade é realizada através dos limites de liquidez e plasticidade, de modo que se determina considerando a diferença entre os dois parâmetros citados, conforme a equação 03:

$$IP = 29,55\% - 15,57\% \quad \text{--} \quad IP = 13,98\%$$

Esse resultado indica o quanto de água pode ser adicionado a amostra sem que ela perca sua característica plástica, a partir do seu limite de plasticidade.

Tomando como referência o parâmetro de caracterização do solo proposto por Jenkins, considerando que o índice de plasticidade encontrado é maior que 7 e menor que 15, é possível concluir que se trata de um solo medianamente plástico.

4.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

A análise geométrica realizada neste trabalho levou em consideração a determinação do projeto de norma NBR 16814:2019, considerando como efetiva a avaliação de todas as dimensões dos tijolos, de modo a estimar medidas mais precisas.

Através das equações 4, 5 e 6 foram calculadas as dimensões médias de cada tijolo conforme apresentado na tabela 11 a seguir:

TABELA 11: Dimensões médias dos tijolos

DIMENSÕES MÉDIAS (cm)				
	Nº da amostra	COMPRIMENTO	LARGURA	PROFUNDIDADE
A	01	22,05	10,55	7,4
	02	22	10,4	7,1
	03	21,8	10,5	7,1
	04	21,85	10,4	7,15
	05	21,9	10,45	7,15
	06	21,95	10,3	7,1
	07	22,65	10,35	7,15
B	01	21,9	10,45	7,1
	02	21,95	10,5	7
	03	21,95	10,4	6,95
	04	21,75	10,1	7,25
	05	22	10,45	7,1
	06	21,9	10,35	7,1
	07	22,1	10,35	7,05
C	01	22	10,5	7,15
	02	22	10,45	7,1
	03	22,1	10,45	7,15
	04	22,1	10,45	7,2
	05	21,95	10,45	6,95
	06	22	10,3	6,9
	07	22	10,5	6,9
D	01	22,3	10,55	7
	02	21,95	10,35	7,05
	03	21,95	10,5	6,9
	04	22	10,5	7,35
	05	22,05	10,6	7,2
	06	21,9	10,5	7,05
	07	22,3	10,35	6,75

(A) Tijolo matriz; (B) Tijolo com lodo de ETE; (C) Tijolo com lodo de ETA; (D) Tijolo com mistura de lodo de ETE + ETA

Fonte: O autor (2019)

De posse desses dados, por meio das equações 7, 8 e 9 foram calculadas as dimensões efetivas do conjunto de tijolos de cada traço diferente. Esses dados são apresentados na tabela 12 abaixo:

TABELA 12: Dimensões efetivas dos tijolos

DIMENSÕES EFETIVAS (cm)			
TIPO DE TIJOLO	COMPRIMENTO	LARGURA	PROFUNDIDADE
A	22,03	10,42	7,16
B	21,94	10,37	7,08
C	22,02	10,44	7,05
D	22,06	10,48	7,04

(A) Tijolo matriz; (B) Tijolo com lodo de ETE; (C) Tijolo com lodo de ETA; (D) Tijolo com mistura de lodo de ETE + ETA

Fonte: O autor (2019)

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para realização do ensaio de compressão foram utilizadas 9 amostras de cada tipo de tijolo, como forma de construir um rol maior de dados. Durante o ensaio, os dados coletados da prensa hidráulica eram expressos em tonelada-força. Para fins de comparação entre as amostras, foi preciso transformar as tensões para a unidade de Pascal. Para isso foi utilizado a equação 10, resultando nas resistências apresentadas na tabela 13 abaixo:

TABELA 13: Valores de resistência à compressão

	φ (MPa)		
A	1,356	0,959	1,259
	0,887	1,002	1,092
	1,111	1,513	1,545
B	0,916	0,796	0,816
	0,918	1,010	1,008
	0,849	0,920	1,047
C	1,162	1,091	0,956
	1,018	0,715	0,968
	0,866	1,045	0,913
D	0,843	0,926	0,857
	1,047	1,237	1,125
	1,178	0,980	1,367

(A) Tijolo matriz; (B) Tijolo com lodo de ETE; (C) Tijolo com lodo de ETA; (D) Tijolo com mistura de lodo de ETE + ETA

Fonte: O autor (2019)

Segundo estabelecido pelo projeto de norma NBR 16814:2019, a resistência a compressão do Adobe deve ser maior que 1,5 MPa. Desta forma, analisando os dados apresentados na tabela acima é possível observar que apenas 2 amostras, do tijolo matriz, chegaram ao valor mínimo estabelecido, o que torna os lotes inviáveis para utilização.

O fato de os tijolos matrizes terem apresentado resistência abaixo do que determina a NBR 16814:2019 pode estar ligado ao fato da não utilização de fibras na mistura, já que é um componente importante para melhoramento da resistência do tijolo de adobe. Além disso, variáveis relacionadas a qualidade da argila utilizada, tempo de cura (estabelecido empiricamente na norma), processo de mistura e moldagem etc também podem ter contribuído indiretamente. No entanto, algumas conclusões podem ser construídas com esses valores, conforme descritos a seguir.

Através das equações 11, 12, 13 e 14 foi determinado a média aritmética, variância, desvio padrão e coeficiente de variação, respectivamente. Desta forma, a tabela 14, a seguir, apresenta esses dados de forma resumida:

TABELA 14: Valores da média aritmética, variância, desvio padrão e coeficiente de variação do conjunto de dados da resistência

	\bar{x}	σ^2	Dp	CV
A	1,1916	0,057	0,2394	20,09%
B	0,9201	0,008	0,0889	9,66%
C	0,9704	0,017	0,1316	13,56%
D	1,0621	0,032	0,1790	16,85%

(A) Tijolo matriz; (B) Tijolo com lodo de ETE; (C) Tijolo com lodo de ETA; (D) Tijolo com mistura de lodo de ETE + ETA

Fonte: O autor (2019)

Embora os lotes de tijolos não tenham apresentado valores de resistência mínimos estabelecido pelo projeto de norma NBR 16814:2019, é importante ressaltar que o objeto maior deste trabalho está na variação do comportamento mecânico dos tijolos de adobe para cada traço diferente.

Neste sentido, levando em conta os dados apresentados na tabela 14, é possível observar através das médias das resistências que a variação em torno desses dados é significativamente pequena, importando valores muito próximos. A maior diferença entre as médias é de apenas 0,3 MPa, o que representa uma variação significativamente pequena, representando, no máximo, cerca de 13,33%.

No entanto, os dados obtidos com o cálculo da média aritmética não são tão objetivos quanto se espera, já que tal medida permite a existência de uma discrepância em relação aos dados reais, uma vez que se trata de uma medida de tendência centralizada. Nesse aspecto, as medidas de dispersão permitem uma análise mais completa e eficiente, elevando conclusões mais precisas.

Na tabela 14, acima, foi apresentado os valores do desvio padrão, que representa o quanto os dados se desviam da média. Neste sentido, como os tijolos com adição de lodo de ETE apresentam o menor desvio, isso indica que os valores de resistência apresentados no conjunto de tijolos desse traço são mais fiéis aquele apresentado na resistência média.

O tijolo matriz apresentou a maior resistência média, no entanto o desvio padrão indica a maior variação, dentre todos, em relação ao valor médio da resistência. Os tijolos com lodo de ETA e com a mistura de ETA + ETE apresentam valores intermediários de resistência aos citados anteriormente, porém com desvio padrão maior que o do lodo de ETE.

O coeficiente de variação é outra medida que ajuda a avaliar o conjunto de dados, além de determinar o grau de homogeneidade dos resultados. Conforme indicado por Fonseca e Martins (2011, p. 148), quando o coeficiente de variação é de até 10%, considera-se que a distribuição possui baixa dispersão e, portanto, os dados são homogêneos; quando está entre 10% e 20%, os dados são de média dispersão; e quando é maior que 20%, os dados são considerados de alta dispersão e, portanto, heterogêneos.

Avaliando os valores apresentados na tabela 14 é possível observar que os tijolos matrizes apresentam coeficiente de variação maior que 20%, tendo sua distribuição considerada de alta dispersão em relação a resistência média, indicando dados inconclusivos, mesmo sendo o que apresenta a maior resistência média. A resistência média dos tijolos com adição de lodo de ETE é a menor, em comparação com a média dos demais, no entanto, se observar o coeficiente de variação dessa distribuição, conclui-se que se trata do conjunto com a menor variação em torno da média, retratando uma maior coerência de seus dados. Os dados de resistência dos tijolos com adição de ETA apresentam coeficiente de variação que indica uma média dispersão em relação a resistência média, embora apresente dados da resistência média intermediário, em relação aos demais, não é a opção que indica a menor variabilidade dispersiva. Os tijolos com mistura de adição de ETA + ETE também apresenta resistência média intermediária de 1,0621 MPa, porém com coeficiente de variação equivalente a 16,85%, determinando uma distribuição de média dispersão.

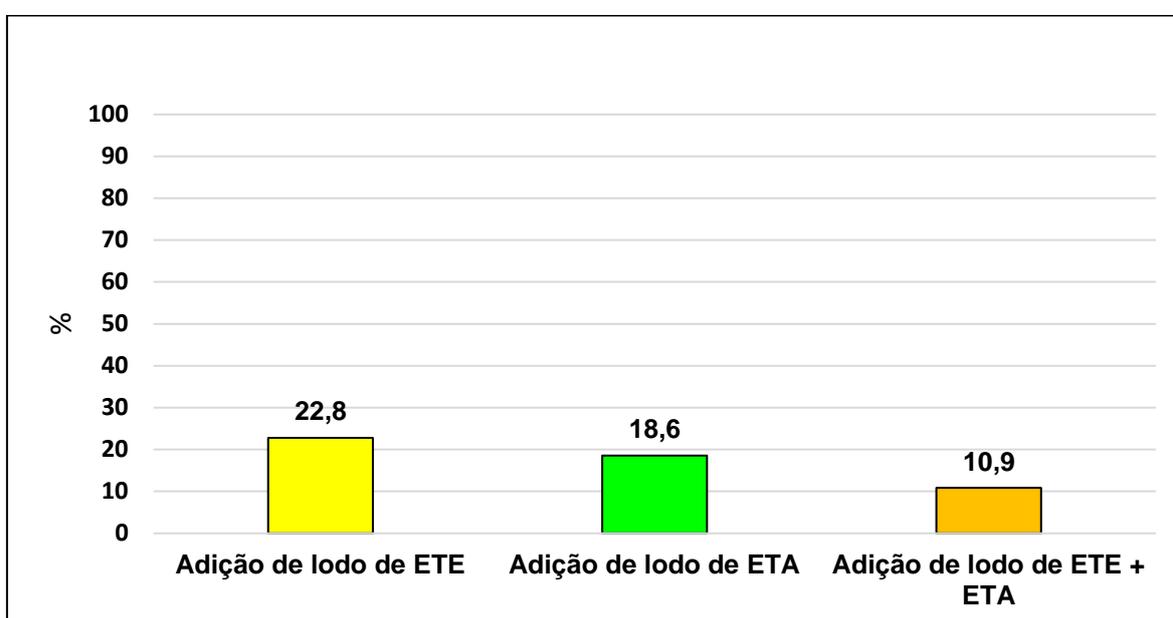
Nesse aspecto, os tijolos com adição de lodo de ETA e os tijolos com adição da mistura ETA + ETE apresentam valores relativamente semelhantes, tanto de resistência média, quanto da variabilidade dispersiva de sua distribuição. Nessas amostras, a resistência média ficou em torno de 0,9704 MPa a 1,0621 MPa e coeficiente de variação entre 13,56% e 16,85%. Tal informação mostra que o comportamento mecânico desses dois tipos de tijolos se assemelha, levando a concluir que a mistura do lodo de ETA com o lodo de ETE importa uma variação da resistência mecânica muito parecida com a apresentada pelos tijolos com adição do lodo de ETA.

Desta forma, através da avaliação estatística de tais informações, é possível concluir que os tijolos com adição do lodo de ETE apresentaram um melhor comportamento mecânico quando submetidos ao esforço de compressão. Entretanto,

através de avaliação mecânica, os tijolos com adição de lodo de ETA e ETE apresentam o melhor comportamento quando submetidos ao esforço de compressão.

Outro parâmetro que pode ser utilizado para uma análise mais abrangente é um comparativo de todos os tijolos com as diferentes adições de lodo em relação ao tijolo matriz. Para isso será considerado, probabilisticamente, um comportamento fiel ao apresentado pelas resistências médias indicadas na tabela 14 através da análise gráfica a seguir:

Gráfico 03: Análise comparativa das perdas de resistência à compressão dos tijolos com adição de lodo em relação ao tijolo matriz



Fonte: O autor (2019)

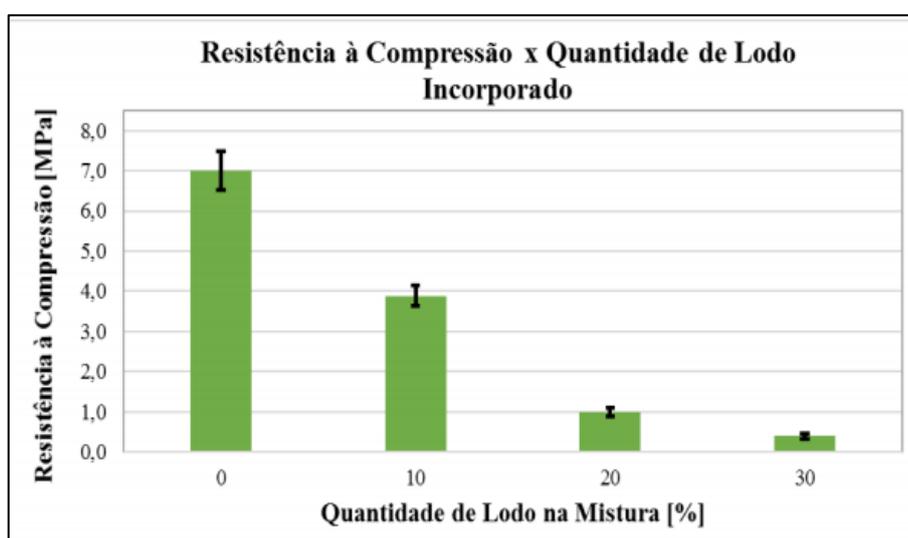
O gráfico 03 mostra a variação percentual das perdas de resistência dos tijolos com adição de lodo em relação a resistência média do tijolo matriz. Os tijolos com adição de lodo de ETA e os com a mistura de lodo de ETE + ETA apresentam reduções semelhantes, já que apresentaram comportamentos parecidos, conforme já apresentado anteriormente. Sendo assim, se for considerado, em valores objetivos, a menor perda da resistência média, possivelmente o tijolo com adição de lodo de ETE + ETA é o que mais se aproxima das características mecânicas, na análise da compressão, ao tijolo matriz, sem nenhuma adição, sendo a opção mais viável.

Comparando as informações descritas no gráfico 03 com os resultados encontrados por Duarte (2008), é possível observar uma certa diferença de resultados. Em sua pesquisa, o autor descreve uma variação da resistência dos tijolos

de acordo com o aumento do percentual de lodo adicionado. Destacando os tijolos com 15% a 20% de lodo de ETE, é indicado uma perda na faixa de 70% em relação ao tijolo testemunha. Para os resultados apresentados no gráfico 03, verifica-se que a redução da resistência do tijolo com adição de lodo de ETE é de 22,8%.

Com relação aos tijolos com adição de lodo de ETA, os resultados apresentados por Castão e colaboradores (p. 07), são descritos na imagem 37 a seguir:

IMAGEM 37: Resultado das Médias das Tensões Máximas de Ruptura em Função da Incorporação de Lodo



Fonte: Castão, 2017.

Os resultados indicados na pesquisa de Castão e colaboradores se assemelha aos indicados por Duarte, no sentido de que à medida que se aumenta o percentual de adição de lodo, reduz-se a resistência dos tijolos à compressão. Avaliando os dados apresentados na imagem 37, nota-se que, especificamente, para os tijolos que tiveram adição de 20% de lodo de ETA, houve uma redução de cerca de 85% da resistência à compressão em relação ao tijolo testemunha. Comparando esses dados com os apresentados no gráfico 03, observa-se uma diferença nesse percentual de redução da resistência, uma vez que para este caso a redução foi de cerca de 18,6%.

A variação desses dados pode estar atrelada a diversos fatores como o processo de tratamento do lodo, o tipo de argila utilizado, a metodologia de execução dos tijolos, o processo de cura, o procedimento de ensaio de compressão etc, se tornando problemáticas para investigações futuras.

4.5 IMERSÃO EM ÁGUA

Os tijolos de terra crua apresentam dificuldades de liga em relação a sua massa. Isso implica diretamente na sua consistência. Neste sentido, embora fosse conhecido o resultado do ensaio de imersão em água dos tijolos, era preciso efetuar sua realização para comprovação científica.

Os tijolos foram identificados e ficaram na estufa durante 24 horas e decorrido esse tempo foram retirados e pesados antes de serem imergidos em um recipiente com água. Cerca de 1 hora após a imersão, os tijolos começaram a se desintegrar, conforme apresentado na imagem 38 abaixo:

IMAGEM 38: Tijolo após 1 hora de imersão em água



Fonte: O autor (2019)

É possível observar que, mesmo antes da conclusão do ensaio, os tijolos já apresentavam um elevado grau de desintegração, indicando sua vulnerabilidade quando submetidos ao contato direto com o meio líquido. Esse fato pode estar diretamente ligado a não utilização de fibras na incorporação da mistura, conforme descrito no item metodológico desse ensaio. A imagem 39, a seguir, mostra os tijolos após as 24 horas imergidos na água:

IMAGEM 39: Tijolos após 24 horas de imersão em água



Fonte: O autor (2019)

Conforme apresentado na imagem 39, decorridas as 24 horas de imersão na água, todos os tijolos apresentaram desintegração parcial de sua forma inicial, indicando um comportamento de fragilidade quando em contato com o meio líquido.

Os resultados obtidos com esse ensaio se assemelham ao encontrado por Bouth (2005, p.69):

“Como supunha-se, quase todos os materiais foram dissolvidos na água. Somente os corpos de prova de argila com cimento e argila com cimento e fibras de curauá e de tronco do coqueiro, é que mantiveram a forma e não foram dissolvidos.”

Levando em conta os resultados obtidos nesse ensaio e os resultados obtidos por Bouth é possível destacar que é inadequada a utilização de tijolos de terra pura em locais que possuam alta umidade ou contato direto com água.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do lodo desidratado como aditivo na indústria cerâmica revela diversas vantagens, desde ambiental até econômica, sendo uma opção tecnicamente viável a ser considerada para realização do descarte de lodo.

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho, foi possível observar que a adição de lodo, se controlada experimentalmente, pode representar uma solução útil e capaz de impedir impactos ambientais.

Embora os experimentos realizados tenham mostrado que os lotes moldados não serviriam para utilização, diversas conclusões puderem ser levantadas. O que cria hipóteses a partir de uma tendência norteadas por esses resultados. Dentre estas, merece destaque: os tijolos com adição de lodo de ETA apresentaram comportamento mecânico semelhante aos tijolos com a mistura de lodo de ETE + ETA; os tijolos com adição de lodo de ETE apresentaram a maior variação na comparação com o comportamento mecânico dos tijolos matrizes; os tijolos com adição da mistura de ETE + ETA apresentaram a menor variação da resistência média em relação aos tijolos matrizes, representando, assim, a melhor opção para o descarte do rejeito.

A utilização da mistura de lodo de ETE + ETA na adição da massa do tijolo representa uma opção útil e nova. Os resultados apresentados pelos tijolos com essa mistura foram positivos, ficando próximo do estabelecido pela NBR 16814:2019, o que aponta mais uma opção para o descarte do lodo, considerada inovadora e que pode apresentar comportamentos ainda melhores em relação a adição individual do lodo nos tijolos.

Considerando que o uso da mistura na adição é uma ação inovadora, nesse campo, é importante que outros pesquisadores busquem realizar avaliações semelhantes para comparação mais efetiva dos resultados apresentados aqui, de modo a observar questões técnicas e procedimentais que possam variar a partir das que aqui foram adotadas.

A variação do percentual do lodo, o método de confecção e cura do tijolo, o tipo de argila coletado entre outros parâmetros, pode ter contribuído diretamente para que os lotes de tijolos tenham sido reprovados. O que merece destaque é que, embora não tenham apresentado a resistência mínima indicada no projeto de norma NBR 16814:2019, os tijolos apresentaram resistência média muito próxima dessa indicação. No entanto, essa problemática ficará para investigações futuras, podendo

utilizar a abordagem aqui executada como referência afim de analisar possíveis erros e/ou variações técnicas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. C. P. de. **Caracterização física e classificação dos solos**. UFJF, Departamento de transportes: Juiz de Fora – MG, 2005. Disponível em: <http://ufrrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf>. Acesso em 21/01/2020.

ANDREOLI, C. V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 3. ed. Belo Horizonte: Depto. Eng. Sanitária e Ambiental-UFMG; CoMPanhia de Saneamento do Paraná, 2001.

_____, V., PEGORINI, E. S., HOPPEN, C., TAMANINI, C. R., NEVES, P. S. **Produção, composição e constituição de lodo de estação de tratamento de água (ETA)**. ABES: Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7181: Solo – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016

_____. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **Projeto NBR 16814: Adobe – requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2019.

BATISTA, L. F. **Lodos gerados nas Estações de Tratamento de Esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2015.

BOUTH, J. A. C. **Estudo da potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais – uma alternativa de baixo custo para a construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFRN. Natal – RN, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15542/1/JorgeACB.pdf>>. Acesso em 02/12/2019.

BRASIL, SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Ministério do Desenvolvimento Regional publica diagnósticos da situação do saneamento no Brasil**. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/component/content/article?id=175>>. Acesso em 31/10/2019.

_____. IBGE. **População**, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/olivenca/panorama>>. Acesso em 04/02/2020.

CASTÃO, E. S., CASTRO, A. L. de, FILHO, A. M., ROCHA, G.A da, SANTOS, R. dos. **Reuso de lodo de Estação de Tratamento de Água (E.T.A) na fabricação de tijolos cerâmicos**. Congresso Fenasan - ABES. São Paulo – SP, 2017. Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2019/01/II-533.pdf>>. Acesso em 31/10/2019.

CATOLICO, A. C. C.; CARVALHO, L. C.G; JARQUE, N. A. **Aproveitamento dos resíduos do saneamento básico na fabricação de cerâmica vermelha**. XI Fórum ambiental da alta paulista, vol 11, n. 09. 2015. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1173>. Acesso em 10 de setembro de 2019.

CHALHOUB, A. S., LOURENÇO, E. S. de O., FILLA, J. C., JUNIOR, E. F., MADALOZZO, E. L. **Incorporação do lodo de ETA na fabricação de tijolos**. 2º CONRESOL – IBEAS. Foz do Iguaçu – PR, 2019. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/XII-048.pdf>>. Acesso em 31/10/2019.

CHANG, A. C. et al. **Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed water and sewage sludge applications in agriculture**. California: Wealth Human Organization, 2001.

COELHO, Hosmanny M. G.; LANGE, Liséte C.; JESUS, Lucas Filipe L.; SARTORI, Matheus R. **Proposta de um Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais**. Eng. Sanit Ambient | v.16 n.3 | jul/set, 2011.

CORDEIRO, J. S., CAMPOS, J. R. **O iMPacto ambiental provocado pela indústria da água**. Acta Gen. Méd. Gemellol, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS. DNER-ME 082: **Solos – determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1994.

DIAS, L. M., BATALIONE, G., MORAIS, F. U. de, FERNANDES SOBRINHO, F., CARNEIRO RIBERIO, M., SARDINHA DE LISBOA, M. **Alternativa de destinação final do lodo de estação de tratamento de água: fabricação de blocos cerâmicos.** San Juan, AIDIS, Ago. 2004, Ilus.

DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição final do resíduo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2008.

FARIA, O. B. **A utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de causa no reservatório de salto grande (Americana-SP).** 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Paulo, 2002. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-10022003-103821/pt-br.php>>. Acesso em: 17 de Fevereiro de 2020.

Fernandes, F. **Estabilização e Higienização de Biossólidos.** In: Betiol, W.; Camargo, O.A (eds.). IMPacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Jaguariúna: Embrapa, 2000.

FONSECA, J. S DA; MARTINS, G. DE A. **Curso de Estatística.** Atlas: São Paulo - SP, 2011.

GEWEHR, André Granzotto. **Ecoeficiência de estações de tratamento de esgoto: índice de lodo.** TCC (graduação. Escola de Engenharia da Universidade Federal de do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 2009.

GEYER, A. L. B. **Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza se lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: RS, 2001.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17., 1993, Natal. Anais... Natal: ABES, 1993. v.2.

HOPPEN, C; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M.; ANDREOLI, C. V. **Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento *portland* para reduzir o iMPacto ambiental.** Quím. Nova, v. 29, n. 1, 2006.

IWAKI, G. **Destinação final de lodos de ETAs e ETEs**. Portal tratamento de Água, 2018. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-et-es/>>. Acesso em 31/10/2019.

JUNIOR, J. L. G. **O adobe e as arquiteturas**. Iphan, 2015. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/Adobe_e_as_Arquiteturas.PDF>. Acesso em 03/02/2020.

JÚNIOR, A. R. S., OLIVEIRA, I. C., LOPES, N. P., **Estudo da incorporação do lodo de esgoto extraído em estações de tratamento de esgotos na formulação de tijolos ecológicos de solo-cimento**. CASAL, 2018. Disponível em: <<https://www.casal.al.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/INOVAOTIJOLOSECOLOGICOSUNIDADEBCIALEITEIRAUNBL.pdf>>. Acesso em 31/10/2019.

Metcalf, B.; Eddy, I.N.C. (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3ª ed., 765-926, New York : McGraw-Hill. E.U.A.

MINKE, G. **Manual de Construcción en Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual**. 3. ed. Montevideo: Fin de Siglo, 2008.

PIRES, G; T., GERALDO, R. H., XECHINATTI, V. H. **Adição de lodo de esgoto da E.T.E. do município de Jaguariúna em tijolos cerâmicos: estudo de caso**. Revista Intellectus, São Paulo, Ano VIII, n. 22., 2012.

ROMERO, M. C. **Recomendações para a construção com tijolo de adobe a partir da análise da norma nte e.080:2000 do peru e da técnica utilizada atualmente em construções no estado da Bahia**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal da Bahia. Salvador: BA, 2013. Disponível em: <<http://www.ppec.ufba.br/site/publicacoes/recomendacoes-para-construcao-com-tijolo-de-adobe-partir-da-analise-da-norma-nte-e0802-0>>. Acesso em 03/02/2020.

SALUM, Fernando Chiodelli. **Estudo de alternativas para o tratamento de efluentes gerados em estações de tratamento de água do tipo convencional em Santa Catarina**. TCC (graduação) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2016.

SANTIAGO, C. C. **O solo como material de construção**. 2. ed. Bahia: EDUFBA, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/1153/1/uso%20do%20solo%20como%20material%20de%20construcao.pdf>>. Acesso em 03/02/2020.

SILVA, C. R. L. da; CHINELATTO, A. L.; CHINELATTO, A. S. A.. **Viabilidade da incorporação do lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) em massa cerâmica para produção de blocos**. Cerâmica, São Paulo , v. 61, n. 357, p. 31-40, mar. 2015.

Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000100006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 16/08/2019.

SILVA, D. N. A. C. **A viabilidade técnica e econômica do uso do bambu: a utilização do “Bambusa vulgaris” como entramado nas construções em taipa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana - MEAU) – Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2011.

SILVA, C. G. T. da. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua**. 2000. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.

SISTEMA Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2018**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf>. consultado em 17 de Fevereiro de 2020.