

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ DOS SANTOS ANDRADE JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DOS SOLOS DE DELMIRO GOUVEIA PARA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

DELMIRO GOUVEIA
2023

JOSÉ DOS SANTOS ANDRADE JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DOS SOLOS DE DELMIRO GOUVEIA PARA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Odair Barbosa de Moraes

DELMIRO GOUVEIA

2023

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

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

A553a Andrade Júnior, José dos Santos

Avaliação do potencial dos solos de Delmiro Gouveia para fabricação de tijolos de solo-cimento / José dos Santos Andrade Júnior. - 2023. 68 f. : il.

Orientação: Odair Barbosa de Moraes.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Construção civil. 2. Resíduos sólidos. 3. Tijolo de solo-cimento.
4. Solo. 5. Construções sustentáveis. 6. Delmiro Gouveia – Alagoas.
I. Moraes, Odair Barbosa de. II. Título.

CDU: 624.157.8

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSÉ DOS SANTOS ANDRADE JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DOS SOLOS DE DELMIRO GOUVEIA PARA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à banca examinadora do curso
de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas e aprovada em 10 de
outubro de 2023.



Orientador – Dr. Odair Barbosa de Moraes, UFAL

Banca examinadora:



Examinador Externo – Eng. Allyson Maciel Lima



Examinador Interno – Msc. Alexandre Nascimento de Lima, UFAL

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela sabedoria e força ao longo desta caminhada acadêmica.

Ao professor Odair Moraes pelo suporte, conhecimento e orientações essenciais para aprimorar o trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais, José Andrade e Telma do Nascimento, pelo amor e apoio contínuo fundamentais para minha persistência e ao meu irmão, João Paulo Andrade, e à minha avó, Cellice do Nascimento, agradeço pelo carinho e incentivo constantes.

À minha namorada e amiga, Viviane Dias, minha eterna gratidão pelo apoio incondicional.

Ao Laboratório de solos da Universidade Federal de Alagoas - Campus Sertão, em nome do técnico Arnon de Lima pelo auxílio nos ensaios realizados.

Ao meu amigo, Marcos Felipe Carvalho, por tornar a experiência acadêmica mais leve.

RESUMO

A necessidade de soluções sustentáveis na construção civil torna-se crucial, considerando que os recursos para o setor são finitos. Diante do crescimento demográfico e da busca por sanar os problemas sociais de habitação, o presente trabalho tem como enfoque o estudo dos solos presentes no município de Delmiro Gouveia - Alagoas e sua utilização na composição tijolo solo-cimento, popularmente conhecidos como tijolos ecológicos. Os tijolos de solo-cimento são produzidos a partir de uma mistura de solo, cimento e água. O solo apropriado para esta mistura deve estar de acordo a NBR 10833 (ABNT, 2013) - Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento, levando em consideração estudos de campo e laboratoriais como: granulometria, limite de liquidez e plasticidade. Inicialmente os solos foram classificados de acordo ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 2018 até segundo nível categórico, mapeando as áreas de interesse e pontos de coleta com o *software* QGis. Com a definição das áreas de interesse e a posterior coleta das amostras em campo, os solos coletados na região foram classificados de acordo com o Sistema de Classificação Unificada dos Solos como areia bem graduada, apresentando como resultado final uma classificação de areia siltosa (SM) e segundo Sistema de Classificação TRB como material granular, classificação A-2-4, podendo representar solos com composição de pedregulho, ou areias siltosas, ou argilosas. Do ponto de vista de textura, os pontos de coleta indicam que após peneiramento prévio na peneira de abertura 4,8 mm, ou seja, eliminando os pedregulhos da composição, que o solo apresenta uma escolha assertiva na produção de tijolos de solo-cimento. Ao final, é perceptível que sua utilização visando habitações de interesse social propicie o desenvolvimento sustentável e econômico do município, considerando a possibilidade de produção local e o método construtivo como um vantajoso instrumento de transformação social.

Palavras-chave: Tijolo de solo-cimento, classificação dos solos, habitação social.

ABSTRACT

A need for sustainable solutions in the construction industry is crucial, given the finite resources available for the sector. This study focuses on the analysis of soils in Delmiro Gouveia, Alagoas, and their use in the production of soil-cement bricks, commonly known as ecological bricks. Soil-cement bricks are made by mixing soil, cement, and water. The suitable soil for this mixture must comply with NBR 10833 (ABNT, 2013) - Manufacturing of soil-cement bricks and blocks using manual or hydraulic press - Procedure, taking into account field and laboratory studies such as particle size analysis, liquid limit, and plasticity. Initially, the soils were classified according to the Brazilian Soil Classification System 2018 at the second categorical level, mapping areas of interest and collection points using QGIS software. After defining the areas of interest and collecting soil samples in the field, the collected soils were classified according to the Unified Soil Classification System as well-graded sand, resulting in a final classification of sandy silt (SM) and according to the TRB Classification System as granular material, classification A-2-4, which may represent soils with gravel, sandy silt, or clay composition. In terms of texture, the collection points indicate that, after pre-screening with a 4.8 mm sieve to remove gravel, the soil is a suitable choice for soil-cement brick production. In conclusion, the use of these bricks for affordable housing can promote sustainable and economic development in the municipality, considering the possibility of local production and the construction method as an advantageous tool for social transformation.

Keywords: Soil-cement brick, soil classification, social housing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Percentuais de população urbana e rural no Brasil - 1950-2010	16
Figura 2 - Tijolo maciço comum, tijolo maciço com encaixe, tijolo com dois furos e encaixe, ½ tijolo com furo e encaixe, canaletas.	24
Figura 3 - Sistemas construtivos para execução de paredes monolíticas	27
Figura 4 - Principais horizontes do solo	29
Figura 5 – Curva granulométrica	30
Figura 6 – Graduação do solo	31
Figura 7 - Estados de Consistência do Solo.....	32
Figura 8 - Esquema para determinar limite de liquidez	33
Figura 9 – Gráfico para ensaio de limite de liquidez.....	33
Figura 10 – Moldagem do solo para ensaio de limite de plasticidade.	34
Figura 11 – Medição da retração.....	36
Figura 12 - Classificação dos solos de acordo ao diagrama trilinear	42
Figura 13 - Classificação dos solos de Delmiro Gouveia segundo SiBCS	44
Figura 14 - Local de coleta, amostra A, B e C respectivamente.....	47
Figura 15 - Pontos de coleta do solo	47
Figura 16 - Respectivamente destorroamento, quarteamento e pesagem.....	48
Figura 17 - Peneiras para ensaio granulométrico.....	49
Figura 18 - Material lavado para peneiramento grosso e fino, respectivamente: amostra C, amostra A e amostra B.	50
Figura 19 - Equipamento utilizados para o ensaio de limite de liquidez	51
Figura 20 – Placa de vidro e gabarito cilíndrico.....	52
Figura 21 – Material retido do peneiramento grosso e fino amostra A	53
Figura 22 – Material retido do peneiramento grosso e fino amostra B	54
Figura 23 – Material retido do peneiramento grosso e fino amostra C	54
Figura 24 - Curva granulométrica das amostras obtidas por peneiramento.....	55
Figura 25 - Comportamento típico das amostras no ensaio de limite de liquidez.....	57
Figura 26 - Comportamento típico das amostras no ensaio de limite de plasticidade	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos qualitativos de escolha de solo	37
Quadro 2 - Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)	38
Quadro 3 - Classificação dos solos TRB	41
Quadro 4 - Segundo nível de categorização dos solos de Delmiro Gouveia	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População absoluta e urbana no Brasil 1950-2010.....	15
Tabela 2 - Componentes e Subcomponentes do déficit habitacional Brasil 2017- 2019	17
Tabela 3 - Déficit habitacional de Alagoas e Delmiro Gouveia no ano de 2010.....	18
Tabela 4 - Produtividade das prensas de tijolo solo-cimento	25
Tabela 5 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta	47
Tabela 6 - composição textural das amostras conforme SUCS	55
Tabela 7 - Distribuição granulométrica das amostras obtidas por peneiramento	55
Tabela 8 - Distribuição granulométrica após peneiramento prévio.....	56
Tabela 9 - Percentual de areia e argila mais silte após peneiramento prévio	56
Tabela 10 - Resultado da classificação SUCS	59
Tabela 11 - Resultado da classificação TRB.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BTC	Bloco de terra comprimida
CEPED	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FJP	Fundação João Pinheiro
<i>HRB</i>	<i>Highway Research Board</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
<i>PCA</i>	<i>Portland Cement Association</i>
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SUCS	Sistema de Classificação Unificada dos Solos
<i>TRB</i>	<i>Transportation Research Board</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos.....	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
1.2	Estrutura do trabalho	14
2.	HABITAÇÃO SOCIAL NO BRASIL E O SOLO-CIMENTO	15
2.1	O solo como material de construção	19
2.2	Breve histórico sobre a utilização do solo-cimento	22
2.2.1	Tijolo solo-cimento.....	23
2.2.2	Paredes monolíticas de solo-cimento	25
2.3	Classificação dos solos e critérios para seleção na mistura solo-cimento....	28
2.3.1	Granulometria.....	29
2.3.2	Limites de consistência.....	31
2.3.3	Critérios para seleção do solo	34
2.3.4	Classificação dos solos	37
2.4	Solos do município de Delmiro Gouveia-AL	43
3.	METODOLOGIA.....	46
3.1	Coleta das amostras de solo de interesse.....	46
3.2	Ensaio de caracterização das amostras de solo.....	48
3.2.1	Caracterização do solo	48
3.2.2	Análise granulométrica	49
3.2.3	Limites de consistência.....	50
3.2.3.1	Limite de liquidez.....	50
3.2.3.2	Limite de plasticidade e índice de plasticidade.....	51
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	Caracterização das amostras de solo.....	53
4.2	Limites de consistência.....	57
4.2.1	Limite de liquidez	57
4.2.2	Limite de plasticidade e índice de plasticidade	57
4.3	Classificação dos solos	58
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	REFERÊNCIAS.....	63

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização brasileiro, assim como na maioria dos países em desenvolvimento, se deu de forma acelerada sem o devido crescimento da infraestrutura urbana. A relação entre urbanização, desenvolvimento e industrialização não aconteceu de forma a melhorar as condições de vida de toda a população, implicando ainda mais em problemas ambientais que não são exclusividade dos países em desenvolvimento.

A industrialização juntamente com o crescimento populacional trouxe crescimento à indústria da construção, mas também a degradação ambiental, visto que a modernização dos processos e os materiais convencionais usados nas obras resultam em um alto consumo de recursos naturais e na produção significativa de resíduos.

Já do ponto de vista da urbanização, a valorização da terra em áreas com infraestrutura, resultante do crescimento econômico e das atividades da construção, aliada à retenção de terrenos e à conseqüente dificuldade de acesso, alimenta um ciclo vicioso que gera obstáculos à moradia para os mais desfavorecidos. Dessa forma, para essa parcela da população, frequentemente restam, como as invasões e favelas, os loteamentos informais e a autoconstrução, geralmente resultando em soluções precárias.

A busca por soluções mais sustentáveis revelou que o uso de tijolos de solo-cimento pode ser uma solução promissora uma vez que não necessitam de queima no processo de fabricação, além de utilizar o solo como principal item da sua composição.

Esta pesquisa busca apresentar uma possibilidade para a utilização de recursos locais de forma sustentável, além de encorajar a quebra do paradigma do uso de materiais convencionais, visto que o transporte e a disponibilidade dos materiais locais são fatores de extrema importância no planejamento e execução da obra, proporcionando a otimização de tempo, redução dos custos e diminuição do impacto ambiental.

O engenheiro civil desempenha um papel indispensável para combinar abordagens sustentáveis e economicamente eficazes, incentivando, por meio de pesquisas a adoção de materiais com ganho ambiental. É necessário equilibrar a disponibilidade de recursos locais com a necessidade de desenvolver edificações com

um custo reduzido, com boa qualidade, contribuindo para a redução do déficit, atendendo os serviços básicos de infraestrutura.

Os tijolos ecológicos são fabricados por meio da adição de uma pequena quantidade de cimento e água ao solo, havendo a compactação por meio de prensas manuais e hidráulicas. O resultado é um material com baixo custo, de fácil produção e com vantagens ambientais. O número de construções que fazem uso dos tijolos de solo-cimento aumenta cada vez mais, atualmente podem ser encontrados desde comunidades carentes até bairros e condomínios de classe média e alta.

Além do que foi exposto, espera-se que este estudo possa contribuir para a compreensão do potencial dos solos encontrados no município de Delmiro Gouveia-AL. Bem como, inserir um adendo à fabricação de tijolos ecológicos, oferecendo subsídios para a utilização do material de construção no município. Isso favorece a adoção de diretrizes conscientes no setor.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial dos solos de Delmiro Gouveia - Alagoas para fabricação de tijolos de solo-cimento

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar as variedades de solo do município de Delmiro Gouveia, Alagoas, utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS);
- Obter as curvas granulométricas por peneiramento de amostras de solo do município de Delmiro Gouveia;
- Identificar a classificação das amostras de solo conforme o Sistema de Classificação Unificada dos Solos (SUCS) e *Transportation Research Board* (TRB);
- Analisar as propriedades do solo para fins de produção de tijolo de solo-cimento, conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – Norma Brasileira 10833/2013.

1.2 Estrutura do trabalho

No capítulo 1 está disposta a introdução, contextualizando a demanda por habitações, e a busca por um desenvolvimento sustentável na construção civil, bem como os objetivos gerais e específicos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 abordam-se os conceitos inerentes ao déficit habitacional no Brasil, e a perspectiva histórica da utilização do solo como material construtivo. Além disso, são indicados os fatores importantes na escolha dos solos, de forma a identificá-los no município de Delmiro Gouveia-AL, definindo o tijolo de solo-cimento e sua utilização.

Já no Capítulo 3 será apresentada a metodologia adotada, com os pontos de coletas e os ensaios realizados nas amostras de solo, seguindo as diretrizes da NBR 10833 (ABNT,2013).

No Capítulo 4 os resultados obtidos serão apresentados e discutidos, seguidos por recomendações para o solo na fabricação do tijolo solo-cimento e sua categorização de acordo aos sistemas de classificação de solos.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2. HABITAÇÃO SOCIAL NO BRASIL E O SOLO-CIMENTO

No Brasil, o problema da falta de habitação tem persistido ao longo da história. Como afirma D'Amico (2011, p.41), “várias medidas foram adotadas pelos diversos governos para tentar amenizar o problema da habitação, principalmente das classes mais pobres”. Mesmo com tais tentativas de solução, o modelo característico de crescimento das cidades perpetua o ciclo de favelização da população mais pobre, que devido à falta de renda, acaba inserida em residências onde não há sequer uma infraestrutura básica, em locais onde não deveria nem mesmo haver construções (SANTOS, 1993).

Neste ciclo, o processo de autoconstrução tem sido uma constante, apresentando vantagens e desvantagens. Uma das vantagens da ocupação informal de terreno para construção, está na diminuição do custo total da obra, uma vez que os procedimentos legais e normas de qualidade podem ser ignorados com a autoconstrução. Entretanto, é necessário enfatizar que essa abordagem apresenta riscos substanciais à segurança na área vivida, condições de habitação e saneamento, com benefício aparente reduzido a longo prazo (MORAES, 2008).

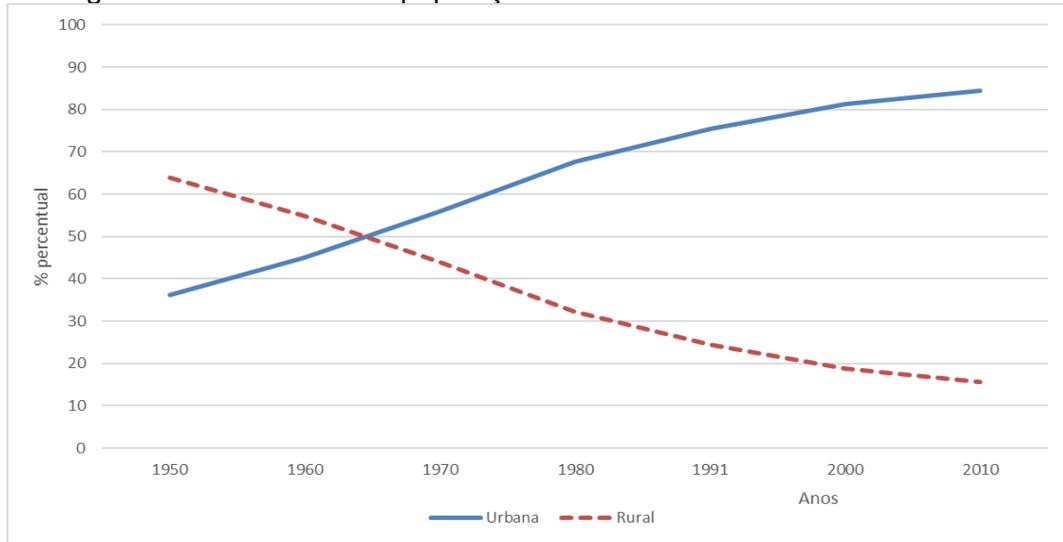
O modelo de urbanização característico dos países em desenvolvimento é marcado por uma excessiva expansão urbana sem o crescimento devido das condições de infraestrutura. O fluxo migratório rural-urbano, com a expectativa de melhores condições de vida apenas acentuou as condições precárias das grandes cidades com taxas de urbanização cada vez maiores a partir dos anos 1960 (Tabela 1, Figura 1). Neste sentido, as cidades que em seu início carregavam a promessa de serem um refúgio representando emprego pleno, assistência social estatal, lazer e novas perspectivas para as próximas gerações, revelaram, ao final do século XX, uma imagem associada a desafios complexos (MARICATO, 2003).

Tabela 1 - População absoluta e urbana no Brasil 1950-2010

Ano	População total	População urbana
1950	51.944.397	18.782.891
1960	70.992.343	32.004.817
1970	94.508.583	52.904.744
1980	121.150.573	82.013.375
1991	146.917.459	110.875.826
2000	169.590.693	137.755.550
2010	190.755.799	160.925.792

Fonte: IBGE (2023).

Figura 1 - Percentuais de população urbana e rural no Brasil - 1950-2010



Fonte: adaptado de IBGE (2023).

Apesar da frequente associação entre urbanização e desenvolvimento, tanto no Brasil como em outros países em desenvolvimento, o início desse processo tem gerado cidades marcadas por desigualdades no acesso à terra e aos serviços urbanos. Esse cenário ressalta a questão do acesso à terra urbana como uma barreira social significativa nas grandes cidades e destaca que, na maioria dessas cidades, o acesso à terra ocorre predominantemente por meio informal (MORAES, 2008).

De acordo com Maricato (2003), é perceptível a postura de tolerância por parte do Estado brasileiro em relação às ocupações ilegais em áreas urbanas, evidenciando uma aceitação do direito à ocupação, mas não necessariamente do direito à cidade. Esse processo resulta em cidades desiguais, a um grau tal que Taschner (2003) ressalta a desigualdade como uma característica marcante em nossa sociedade. Essa desigualdade se reflete tanto nas disparidades entre regiões e cidades, como também internamente no âmbito intraurbano, onde a segregação tem uma presença constante.

Outro problema relacionado à moradia no país é a inversão na lógica de conformação do ambiente construído, visto que, para diminuir os custos da construção, há uma padronização dos modelos, tipologia e materiais a serem inseridos em diferentes contextos, desprezando a peculiaridade local, o que proporciona maior lucro para o setor imobiliário, e dispensa a tipologia mais adequada a ser edificada (FERREIRA, 2012).

Com a publicação da Declaração Universal dos Direitos Humanos, em 1948, o acesso à moradia adequada foi reconhecido como um direito humano básico, sendo considerado, a partir de então, como algo indispensável à vida. Dessa forma, a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 6º, assegura que o Estado deve garantir as condições necessárias para que os cidadãos tenham acesso à moradia de qualidade.

São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição. (Redação dada pela Emenda Constitucional n.º 64, de 2010).

Visando solucionar o déficit habitacional, o governo brasileiro criou alguns programas, dentre eles o Minha Casa, Minha Vida (MCMV), em 2009, para aumentar a oferta e compra de moradias pelas famílias de baixa renda (BRASIL, 2009). Programa que, segundo Maricato (2018), incrementou os valores de terra e aluguel, causando a especulação imobiliária, expulsando os menos favorecidos dos centros urbanos, locais de concentração de empregos e capital.

A moradia é um direito social assegurado pela Constituição, porém, há um déficit habitacional com números elevados. Mesmo com a implementação de programas sociais, estudos socioeconômicos realizados pela Fundação João Pinheiro (2021a), revelam significativo déficit habitacional quantitativo e segundo componentes de inadequação, principalmente afetando as famílias de baixa renda. O déficit quantitativo refere-se à necessidade de reposição ou construção de novas habitações e os componentes de inadequação dizem respeito aos padrões necessários de qualidade de moradia, não necessariamente a construção, mas o beneficiamento do local onde está inserida, meio ambiente e social, o que se contrapõe ao lucro imobiliário propriamente dito. A Tabela 2, mostra o déficit habitacional quantitativo:

Tabela 2 - Componentes e Subcomponentes do déficit habitacional Brasil 2017- 2019

	2017	2018	2019
Habitação precária	1.490.695	1.423.686	1.482.585
Domicílios rústicos	801.668	711.303	696.849
Domicílios improvisados	689.027	712.383	785.736
Coabitação	1.527.259	1.400.701	1.358.374
Unidades domésticas conviventes déficits	1.409.882	1.301.155	1.261.407
Domicílios cômodos	117.378	99.546	96.968
Ônus excessivo com aluguel	2.952.708	3.045.653	3.035.739
Déficit Habitacional	5.970.663	5.870.041	5.876.699

Fonte: FJP (2021b).

Por meio da Tabela 2, é perceptível relativamente aos componentes do déficit habitacional de domicílios particulares, no ano de 2019, que o ônus excessivo com aluguel é o principal contribuinte, e ocorre quando a família compromete 30% da renda com o aluguel, que pode afetar significativamente o orçamento financeiro familiar e diminuir a qualidade habitacional. As habitações precárias apresentam 25,2% e estão divididas entre rústicas e improvisadas, sendo as improvisadas dado a rigor pelo Cadastro Único para Programas Sociais (CadÚnico), e as rústicas pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PnadC), que também identifica o componente de coabitação, que representa 23,1% do déficit quantitativo (FJP, 2021a).

Ainda de acordo com a FJP, em 2019, o Nordeste era a segunda região do Brasil com maior percentual de déficit habitacional total relativo estimado, apresentando 9,2%, e em questão absoluta, apresentava um déficit habitacional de 1.778.964 de unidades, ficando atrás apenas da região Sudeste, com 2.287.121 de domicílios (FJP, 2021a).

Esses números refletem as necessidades habitacionais da população nordestina e a importância de políticas públicas e programas habitacionais para atender a essa demanda. Na tabela 3, é demonstrado o déficit habitacional do estado de Alagoas e do município de Delmiro Gouveia no ano de 2010.

Tabela 3 - Déficit habitacional de Alagoas e Delmiro Gouveia no ano de 2010

Unidade Territorial	Delmiro Gouveia	ALAGOAS
Domicílios Precários Total	234	21238
Coabitação Familiar Total	1073	58804
Ônus excessivo com aluguel Total	474	36040
Adensamento excessivo de domicílios alugados Total	118	7980
Déficit Habitacional Total	1899	124063

Fonte: FJP (2013).

Além dos programas habitacionais já mencionados, instituições de pesquisa, com apoio do governo, têm buscado desenvolver soluções que contribuam para a melhoria das habitações e conseqüentemente da qualidade de vida urbana. São pesquisas em infraestrutura, projeto e materiais de construção que melhor viabilizem a construção do espaço urbano. Dentre as soluções relacionadas aos materiais de construção temos uma grande incidência de pesquisas em construção com solo-

cimento, as quais, desde a década de 1970, vem buscando desenvolver e aplicar o material para habitação social, sendo atualmente alavancadas pela discussão sobre sustentabilidade ambiental.

Aliar o uso de solo-cimento às questões de sustentabilidade é um desafio atual, uma vez que a sustentabilidade supõe também o uso de materiais locais de forma adequada. Identificar e estabelecer as características do solo e sua adequação para o uso como material de construção é uma etapa fundamental para garantir o seu uso adequado. Desta forma, na próxima seção é feita uma revisão sobre o estado da arte dessa técnica com ênfase na construção habitacional.

2.1 O solo como material de construção

Para a sobrevivência humana, um dos fatores necessários é o abrigo, e o homem primitivo recorria aos meios encontrados na natureza, ainda com os materiais nas formas brutas, para desenvolver suas técnicas construtivas. As modelagens eram feitas de acordo com suas necessidades, utilizando mais facilmente o solo, sendo este, uma matéria-prima de abundância (INÁCIO, 2016).

O conhecimento dos homens antigos acerca da utilização do solo, levou em consideração as diversas possibilidades de uso dos recursos naturais. De acordo com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED):

A terra como material de construção é uma manifestação marcante das possibilidades de utilização de recursos naturais abundantes na convivência do homem com a natureza. Os antigos conheceram essa disponibilidade e souberam explorá-la do melhor modo possível. Várias de suas obras alcançaram nossos dias desafiando séculos de ação abrasiva de ventos e chuvas: na China, a Grande Muralha é um dos primeiros exemplos, na Índia, no Paquistão, onde se descobriu recentemente um edifício construído com terra há três mil anos, na Babilônia e em quase toda a Mesopotâmia, na Assíria, no Egito, onde blocos de adobe foram usados pela primeira vez para a construção de arcos e domos (CEPED, 2020, p.19).

Dessa forma, as edificações com materiais naturais perpassam milênios, sua riqueza de detalhes e técnicas construtivas possibilitaram uma grande durabilidade aos materiais, mesmo em meio a ação do tempo, seguem com a estrutura praticamente intacta.

Cunha (1978, *apud* Grande, 2003, p. 36) complementa que “o desenvolvimento da técnica da construção com terra foi o início de uma nova vida, até então fixada em uma caverna qualquer”. Segundo Cytryn (1957, *apud* Grande, 2003) o solo, para o homem primitivo era o principal meio de construção eficiente, visto que pedras e madeira apresentavam dificuldades em seu manuseio.

De acordo com Barbosa e Ghavami (2010), foi a partir do desenvolvimento agrícola que surgiram as técnicas construtivas. A sedentarização humana e a busca por armazenar a colheita trouxeram a necessidade da eficiência nas tecnologias construtivas, extraíndo potencial da madeira, da terra e das pedras.

A utilização de insumos naturais para construções, ocorre há mais de 10.000 anos. Porém, a mudança por materiais industriais ocorreu apenas no último século, gerando um paradigma da dependência e consumo, que somente torna a sociedade desenvolvida, através da degradação dos recursos naturais sem nenhum critério, sendo um modelo somente capitalista (SANTORO; PENTEADO, 2009).

Sobre a utilização do solo nas construções, Inácio discorre:

Estima-se que cerca de 1/3 dos habitantes do planeta vivam em habitações construídas utilizando terra/solo, sendo que é bastante eficaz em regiões com clima adverso, desde zonas frias e pluviosas, até às quentes e secas. São conhecidos vários processos de construção, sendo que os mais utilizados são: a taipa, o adobe e o BTC (INÁCIO, 2016, p.6).

Ou seja, construções com terra são utilizadas nos mais diversos climas, pois o seu isolamento torna a construção agradável termicamente, evitando o desperdício energético e auxiliando no ganho econômico e ambiental. Cada cultura, ao longo dos tempos, desenvolveu o seu modo construtivo de acordo com os materiais disponíveis ao seu redor, evolução tecnológica, condições climáticas, crenças e tradições influenciando na arquitetura local.

Em Portugal, a pedra era o material predominantemente utilizado até o século VII, e com a chegada dos árabes, mestres em construção com terra, o paradigma foi alterado, tornando a construção com terra mais comum (INÁCIO, 2016).

O Brasil, através da mistura étnica na sua formação, adquiriu as técnicas de várias culturas, sendo uma delas a construção com terra, trazida pelos colonizadores europeus e escravizados africanos. Os nativos indígenas também tiveram sua contribuição, utilizavam outros materiais em seus abrigos, como troncos e vegetação, em vez da terra e pedra, usadas pelos europeus (SILVA, 2000).

No Brasil colônia, em locais onde a extração de pedra era difícil, prevaleceram duas técnicas de construção com terra, a taipa de pilão, que por necessitar de maior esforço físico e número de trabalhadores, era utilizada em prédios públicos e residências dos colonizadores e, a taipa de mão, que com menor tempo e esforço de construção, era utilizada pela camada mais pobre socialmente, como uma construção provisória, muitas vezes insuficiente no quesito acabamento (SILVA, 2000).

A riqueza arquitetônica, trazida pelas construções com utilização de terra no Brasil, permanece, contudo, o preconceito com as técnicas construtivas é dado por questões culturais, visto que a má execução, e metodologia incorreta, determinam aspecto deteriorado nas paredes de terra, patologias como fissuras e rachaduras possibilitam a entrada e procriação de insetos, que atuam como vetores de doenças (BARRETO *et al.*, 2010).

Para edificações de terra, é importante a proteção contra a umidade do solo, ocorrendo por meio de elevação, utilizando alicerce de pedras ou tijolo com devida impermeabilização. Para a incidência direta de chuva, indica-se a utilização de beirais e a proteção adequada com reboco. A solidez e estabilidade da estrutura são essenciais, para isso deve haver o nivelamento, esquadro e prumo correto na construção, desfavorecendo desta forma as patologias construtivas (LOPES; INO, 2003).

A tradição oral de construção com terra, passa por perdas nas características de execução e qualidade. Mesmo um modo seguro e saudável, causador de menor desequilíbrio ambiental e de consumo, ainda é associado à construção provisória, esta descriminalização se dá tanto pela industrialização dos materiais de construção, quanto pela falta de conhecimento na execução, diminuindo a qualidade construtiva da obra (LOPES *et al.*, 2013).

Habitar o planeta de forma sustentável, sem degradar o meio ambiente, é uma necessidade, e contrapõe-se com as ideias de consumo até à exaustão. A existência e crescimento, nos últimos anos, de estudos e ações da indústria construtiva, voltada ao meio ambiente, possibilita a substituição de grande parte dos materiais não recicláveis, pelo uso dos materiais naturais e inofensivos presente na região de construção, sendo o tripé ambiente-economia-sociedade, o principal atributo para as permanências das atividades de construção em todo o mundo (AGOPYAN; JOHN, 2011).

O desenvolvimento científico e tecnológico, permite a substituição de materiais de construção não recicláveis e que na sua composição e transporte são degradantes ao meio ambiente, por outros que eram utilizados por nossos antepassados, com tecnologia da época, que não causa danos ao ser humano e preserva os recursos naturais (KRZYZANOWSKI, 2005 apud SANTORO; PENTEADO, 2009).

Há uma maior conscientização mundialmente de como o homem deve interagir com o meio natural, e as alternativas aos materiais majoritariamente utilizados nas construções, sendo a inovação algo permanente, visto que os recursos são finitos e esgotáveis e a sociedade deve estar apta a identificar a insustentabilidade e agir para encontrar o desenvolvimento sustentável (COLAÇO, 2008, p. 19).

Como definido pelas suas características, o solo pode contribuir para o desenvolvimento sustentável e na forma de solo-cimento pode expandir as possibilidades de uso, melhorando principalmente os seus aspectos de resistência e durabilidade.

2.2 Breve histórico sobre a utilização do solo-cimento

Sobre o início da utilização do solo-cimento em construções, Abiko (1980) afirma, que foi empregado pela primeira vez pelo engenheiro norte-americano Bert Reno, em 1915, na pavimentação de ruas; sua mistura continha conchas marinhas, areia de praia e cimento. Porém, o novo produto só foi estudado intensamente pela *Portland Cement Association (PCA)* em 1935. Desde então, foi empregado em pavimentação, tijolos, blocos e painéis monolíticos, já com critérios de dosagem.

Segundo Barbosa Neto (2014), no Brasil a utilização de solo-cimento iniciou-se em 1936, por meio de uma organização similar, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Em território nacional, no ano de 1945, a primeira obra construída com tal técnica construtiva, foi uma casa de bombas no município de Santarém, no Pará, com 42 m². Posteriormente, houve residências com paredes monolíticas de solo-cimento em Petrópolis – RJ, além de um hospital em Manaus – AM que, mesmo após 26 anos desde a sua construção, passou por uma reforma, e não precisou de reparos na alvenaria (CEPED, 2020).

O solo-cimento é uma mistura bem proporcionada, formada por solo, água e aglomerante artificial. Para garantir a qualidade da mistura, é essencial que, após a coleta do solo, sejam realizados ensaios laboratoriais, determinando a classificação

adequada do solo. Outros fatores que interferem na qualidade final do produto, são: a dosagem adequada do cimento Portland, umidade de moldagem e compactação ou prensagem (SILVA, 2008).

O solo principal componente da mistura solo-cimento, por ser um material que pode ser extraído do próprio local da obra principal, diminui o custo com transporte. Seu uso construtivo foi ampliado, devido às suas vantagens construtivas e econômicas oferecidas, podendo atingir até 40% de redução nos gastos da obra em relação à alvenaria, fator relevante para sua utilização em habitações populares (ALEXANDRE; ALVES; LIMA, 2006).

2.2.1 Tijolo solo-cimento

De acordo com a NBR 8491 tijolos de solo-cimento

[...] são definidos como alvenaria constituída de uma mistura uniforme, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e provavelmente, aditivos e/ou pigmentos em proporções que permitam atender as exigências desta diretriz, sendo que sua altura (H) seja menor que sua largura (L). Pode ser maciço bem como vazado (ABNT,2012, p 1).

Na fabricação dos tijolos, são utilizadas prensas manuais ou hidráulicas, que são responsáveis por dar formato à mistura, as prensas permitem a variação dos moldes, para produzir tijolos com diferentes finalidades, cada um com suas características específicas, conforme Figura 2. De acordo com Segantini e Alcântara (2010), por gastar pouca energia, dispensar a queima e economizar no transporte, já que um dos materiais é obtido no local da obra, o que reduz as emissões de gases de efeito estufa, essa produção vai ao encontro do desenvolvimento sustentável.

Figura 2 - Tijolo maciço comum, tijolo maciço com encaixe, tijolo com dois furos e encaixe, ½ tijolo com furo e encaixe, canaletas.



Fonte: VERDE EQUIPAMENTOS (2018).

O método construtivo com tijolo de solo-cimento, pelas vantagens em resistência e durabilidade, é uma alternativa para solucionar o problema de déficit habitacional e questões ambientais. Tal método surgiu como forma de economia, e mesmo assim, a edificação é considerada muito sofisticada, indo contra a ideia de que algo econômico não pode ser belo e refinado (VERONEZZI, 2015).

Na prensa manual, a mistura é posta dentro dos moldes umidificados, com volume e umidade adequados. Caso o operador perceba, após colocar pressão na alavanca, que ela não está indo para uma posição horizontal, é sinal de que o volume é maior do que deveria ou a mistura não está úmida o suficiente. Há também uma possibilidade de que ocorra o contrário, ou seja, facilidade em baixar a alavanca, significando que a quantidade de solo-cimento é insuficiente (SILVA, 2008, p.721).

A otimização para estes tijolos é feita variando a quantidade de material posto na prensa, deixando-o com certa umidade e após fabricado obter seu volume e densidade seca, repetindo o procedimento variando a quantidade de água, e o pico máximo da densidade seca entre todas as curvas plotadas determina o teor de umidade ótima e o peso do material a ser colocado na prensa. Para o mesmo tipo de solo quando há o aumento da resistência, há também uma maior densidade seca, e com isso o traço com menor custo e melhor desempenho é escolhido. A porcentagem de estabilizante (cimento e cal) depende do tipo de solo que for empregado e também a resistência requerida (BARBOSA E GHAVAMI, 2010).

De acordo com o CEPED (2020), o princípio das máquinas de compactação de solo-cimento consiste em submeter a mistura a elevadas pressões, tendo qualidade

superior aos de barro cozido e adobe. As prensas manuais possuem baixo custo, porém, sua produtividade torna a utilização da mesma economicamente inviável em maior escala, por compactar os tijolos individualmente, seu uso pode ser difundido entre a população de menor renda.

As prensas motorizadas funcionam com o mesmo princípio, pela energia de compactação, a mudança ocorre pela substituição da força humana, por outras mais robustas e com maior peso de equipamento, aumentando a produção assim como a taxa de compactação (PECORIELLO, 2004). Na Tabela 4 é demonstrada a produção de tijolos com cada um dos tipos de prensa.

Tabela 4 - Produtividade das prensas de tijolo solo-cimento

TIPO DE PRENSA		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO (MPa)	TAXA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO	PRODUÇÃO (tijolos/dia)
MANUAL	Mecânica	1,5-2,0	1,38	300 a 1.200
	Hidráulica	2,0-10,0	1,65	2.000 a 2.800
MOTORIZADA	Mecânica	4,0-24,0	>1,65	1.600 a 12.000
	Hidráulica	>20,0	>2,00	

Fonte: GRANDE (2003).

Silva (2008) relata estudos comparativos por meio de experiências práticas da utilização do tijolo solo-cimento, em Luziânia, Goiás, comparando-os com blocos de concreto com reboco em um ou em ambos os lados, atingindo uma economia no custo total da alvenaria respectivamente de 32,28% e 85,24%. A proteção nas construções originais era feita apenas com pintura de tinta plástica e após inspeção local, depois de 6 a 7 anos de construção, o sistema construtivo não apresentava nenhuma patologia. Por se tratar de 14.000 obras, o processo construtivo foi abandonado, pois a produção dos tijolos não acompanhava a demanda.

2.2.2 Paredes monolíticas de solo-cimento

De acordo com Silva (2008), o CEPED é a entidade brasileira que mais se preocupou com os estudos da utilização do solo-cimento em construções de Paredes monolíticas. Introduzindo até normas a ABCP, que em suas publicações está mais ligado à pavimentação, mesmo sendo o primeiro órgão a executar casas com solo-cimento no Brasil.

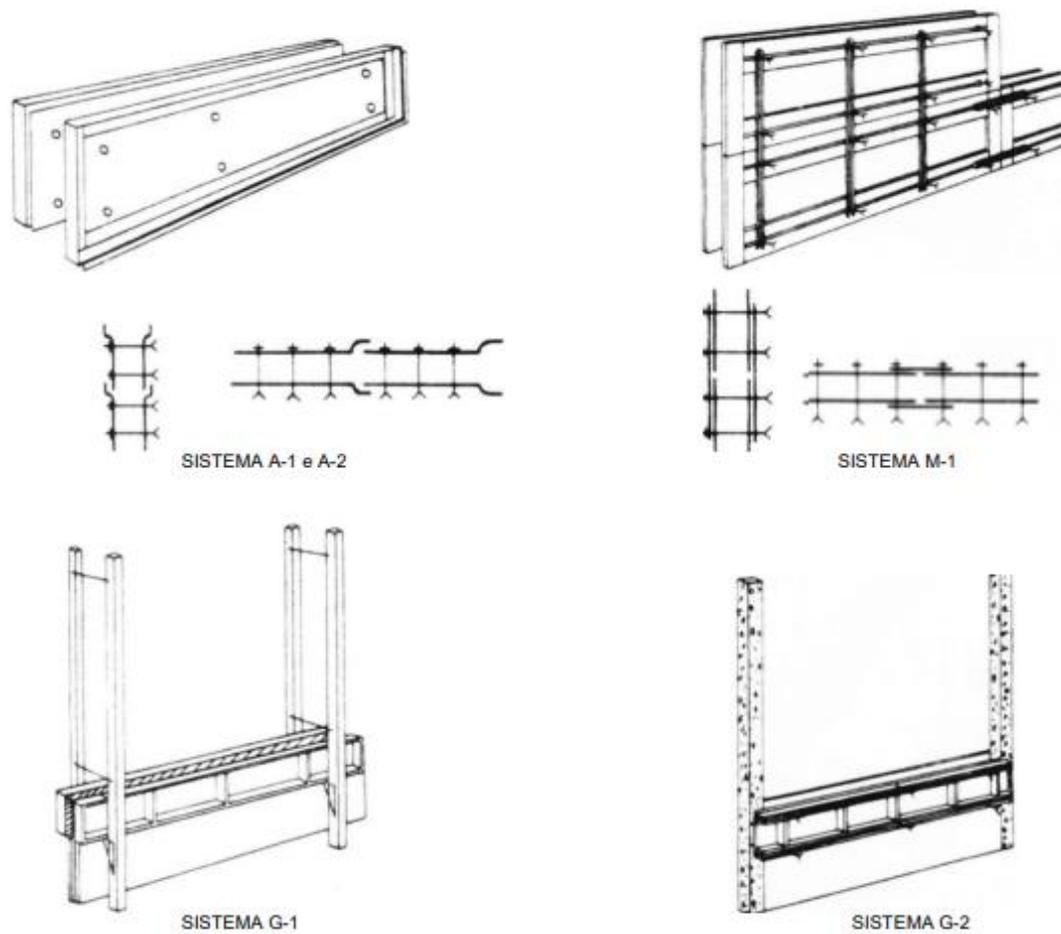
O sistema construtivo constitui-se em compactar por meio de um soquete, porções do solo-cimento entre duas pranchas usualmente de madeira, que estão ligadas por estacas, as paredes são executadas verticalmente, podendo suportar a camada superior. A compactação na umidade ótima permite imediata desmoldagem e compactação da camada seguinte. Vale destacar que o CEPED, visou sua utilização em localidades distantes, sem o acesso a laboratórios de matérias, levando assim a utilização de métodos que podem ser utilizados na obra, para determinar qual solo se comporta melhor com a estabilização (ABIKO, 1980).

Nos espaços de esquadria é posto um caixão para manter o vazio na alvenaria. Para vergas e contra vergas, a armação é feita com arame farpado. As instalações elétricas e hidráulicas são dispostas por ranhuras durante a execução das paredes, e também podendo ser superficial. Qualquer tipo de pintura pode ser utilizado, sendo essencial o umedecer antes da aplicação (SILVA, 2008).

Qualquer desalinho ou desaprumo nas formas na execução da parede monolítica será dificilmente corrigido, fator esse que fez com que o CEPED pesquisasse alternativas de formas, tendo como critério de avaliação o tempo gasto na montagem, enchimento e compactação, e desmontagem.

O CEPED explorou diversos sistemas para solucionar o problema (Figura 3), sendo os A1, A2 e M1 notáveis pela utilização de articulações nas formas, o que diminui o tempo na execução das paredes, porém esse método não deu resultado, pois as articulações necessitavam de muita precisão, causando desaprumo. Os melhores resultados foram os que necessitavam de guias (G-1 e G-2), sendo o sistema mais utilizado pelo CEPED o G-2, pois tem maior facilidade de fabricação e manuseio, o que difere do G-1 que necessita de rigor na sua utilização (CEPED, 2020).

Figura 3 - Sistemas construtivos para execução de paredes monolíticas



Fonte: CEPED (2020).

De acordo com o CEPED (2020), os sistemas construtivos em parede monolítica apresentam diversas vantagens em comparação aos sistemas de adobe e tijolos, entre as principais, destacam-se a não necessidade de mão de obra especializada, a possibilidade de fabricação no próprio local de construção, a dispensa do uso de revestimentos para o acabamento das paredes, o bom desempenho estrutural que dispensa cintas e baldrames, além de uma durabilidade equiparada aos materiais convencionais e superior aos materiais como o adobe e a taipa.

Como afirmado, apesar da sua simplicidade de uso e potencial, as características do solo para seu uso são determinantes para sua adequação, o que implica numa análise e classificação criteriosa do solo, como pode-se ver na seção a seguir.

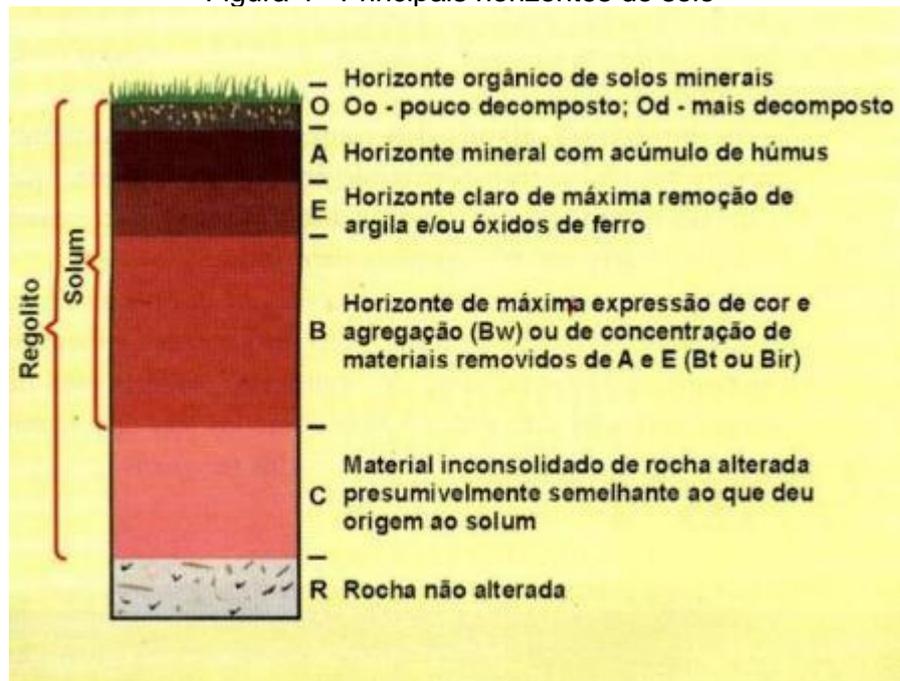
2.3 Classificação dos solos e critérios para seleção na mistura solo-cimento

Segundo Pinto (2006), os solos são formados a partir da decomposição química e física das rochas que compõem a crosta terrestre, os blocos são fragmentados pelo intemperismo, podendo ser ocasionado pela variação de temperatura, ação do vento, ataque químico dos minerais pela água, ou mesmo pela fauna e flora. A composição química do solo vai depender da rocha de origem, constituindo uma mistura de partículas, com água e ar em seus espaços intermediários, e seu comportamento difere-se dos idealizados na mecânica dos sólidos deformáveis, pelo fato da movimentação das partículas sólidas entre si.

A morfologia do solo é o estudo por meio de observação visual e tátil do solo em seu ambiente natural. A descrição do solo é feita em campo, sendo importante observar várias características, dentre elas as principais são: textura, estrutura, consistência, espessura e transição dos horizontes. Os métodos e termos convencionais devem ser seguidos para garantir a comunicação entre especialistas, e quando não for possível segui-los, deve-se informar com anotações adicionais (LEPSCH, 2010).

O autor também apresenta os 5 horizontes principais, que são apresentados na Figura 4. Os horizontes representam as diversas partes que compõem o solo e é dividido por camadas, cada uma com suas especificações. O Horizonte O é o mais superficial, composto por matéria orgânica como folhas, galhos, e restos de animais, sendo mais presente em áreas de mata. Abaixo dele está o Horizonte A, também rico em matéria orgânica, mas em menor quantidade em relação ao Horizonte O. O Horizonte B, situado abaixo do A, é caracterizado pela cor devido aos minerais de ferro e contém menor quantidade de matéria orgânica. Sua espessura, fertilidade e outras características variam. Abaixo do B encontra-se o Horizonte C, a rocha intemperizada, e o R, representando a rocha não intemperizada. A espessura e características de cada horizonte dependem do clima e vegetação da região (LEPSCH, 2010).

Figura 4 - Principais horizontes do solo



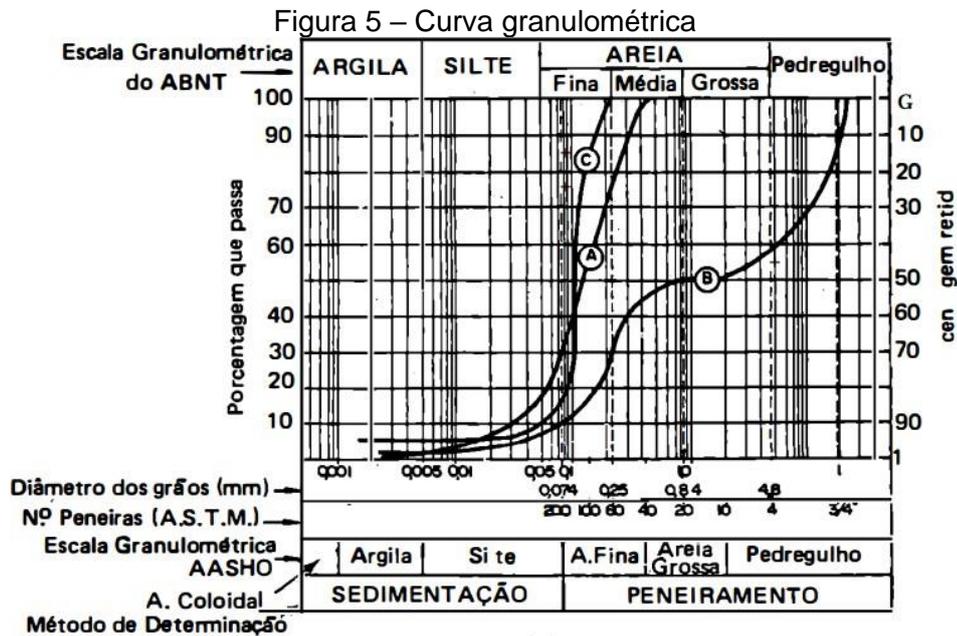
Fonte: LEPSCH (2010).

Conforme afirma Grande (2003), para utilização na mistura de solo-cimento, os solos do horizonte A necessitam de adição de cal antes da adição do cimento, para não afetar a resistência da mistura, e esse procedimento envolve análise do teor utilizado de cal e o custo operacional; já no horizonte B, há um problema de homogeneização na mistura, em geral, apresentando por solos argilosos, que podem ser difíceis de trabalhar e requerem técnicas especiais. Ainda segundo o autor, é no horizonte C que os solos devem preferencialmente serem utilizados na mistura solo-cimento, pois são arenosos e de fácil pulverização, porém há necessidade do estudo de dosagem, devido aos minerais presentes na rocha de origem, e a possibilidade de conter partículas friáveis.

2.3.1 Granulometria

Num solo, conforme as dimensões das partículas constituintes, é determinada a escala granulométrica com os limites definidos pela NBR 6502 (ABNT, 2022): sendo consideradas fração de pedregulho as partículas compreendidas entre 60 e 2 mm; areia, entre 2 e 0,06 mm; silte entre 0,06 e 0,002 e argila inferiores a 0,002 mm apresentando coesão e plasticidade (CAPUTO, 2016).

A curva de distribuição granulométrica (Figura 5) do solo é o diagrama que representa a relação entre a quantidade e as dimensões das partículas presentes no solo. A separação das partículas é feita pelo ensaio de peneiramento para pedregulhos e areia, onde é determinado o percentual passante e retido nas peneiras com abertura normalizada, já para as partículas mais finas (silte e argila) é determinado através da velocidade de sedimentação das partículas em meio líquido (NEVES *et al.*, 2009).



Fonte: CAPUTO (2016).

O diagrama granulométrico oferece uma representação mais precisa da fração de solo de granulação fina, sendo projetado para que a forma da curva permanece consistente para solos com composições granulométricas semelhantes, independentemente das dimensões das partículas. Com base na forma da curva, podemos classificar diferentes tipos de granulometria. Podemos identificar granulometria contínua (curva A) ou descontínua (curva B), uniforme (curva C), bem graduada (curva A) ou mal graduada, dependendo se há ou não uma predominância das frações grossas e uma quantidade suficiente das frações finas. A Figura 6 ilustra de forma esquemática esses diferentes tipos de granulometria (CAPUTO, 2016).

Figura 6 – Graduação do solo



Fonte: CAPUTO (2016).

O processo de análise granulométrica começa com a secagem do solo, seguida pela fragmentação dos torrões em partículas menores. Em seguida, o solo é sujeito a uma agitação ao passar por uma série de peneiras com aberturas de tamanho decrescente, usando um agitador. A peneira de menor tamanho apropriada para esse tipo de teste é a peneira de nº 200. Após a agitação, a massa do solo retida em cada peneira é determinada. Em casos em que o solo é coeso e quebrar os torrões em partículas individuais seja desafiador, pode-se optar por misturar o solo com água para formar uma suspensão, que é então lavada através das peneiras. Porções do solo retidas em cada peneira são coletadas separadamente e submetidas à secagem em forno e pesagem (DAS, 2010).

O ensaio de sedimentação é um procedimento utilizado para determinar as características de partículas em uma solução, com base na taxa de sedimentação das partículas no líquido. O princípio básico é que partículas maiores e mais pesadas se sedimentam mais rapidamente do que partículas menores e mais leves, permitindo a análise e separação das partículas com base em suas características físicas, e identificar o percentual das partículas finas no solo estudado (DAS, 2010).

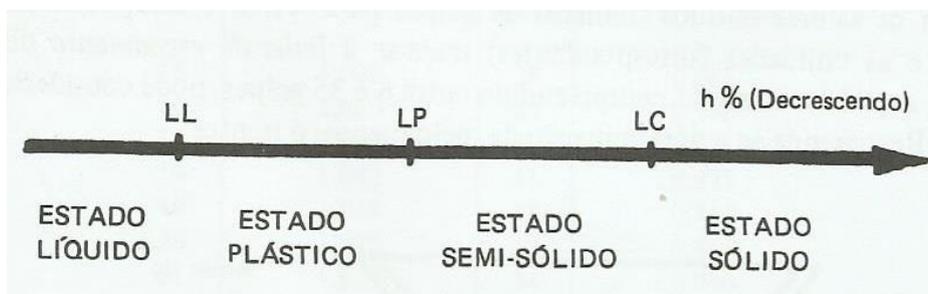
2.3.2 Limites de consistência

Segundo Caputo (2016), para caracterizar os solos em que há porcentagem de textura fina (argilas e siltes), não somente é necessária a granulometria, como também suas propriedades plásticas que são dependentes do teor de umidade, forma das partículas e de sua composição química e mineralógica. Ainda segundo o autor,

a plasticidade dos solos é uma propriedade das argilas, e faz referência a capacidade dele de ser moldado e sua resistência à deformação em certas condições de umidade.

Conforme Barbosa e Ghavami (2010), a terra passa por estados de acordo com a presença de água (FIGURA 7); o estado sólido quando a mistura tem teor de umidade muito baixa e os grãos se separam ao manuseio, ao adicionar água, a matéria aglutina-se, chegando a um ponto em que não desmancha ao ser manuseado, onde pode ser moldado sem perder a forma, encontrando-se no estado plástico. Aumentando a quantidade de água, o solo chega ao ponto de estar no estado líquido, perdendo a capacidade de aglomeração e tendo comportamento fluido.

Figura 7 - Estados de Consistência do Solo.



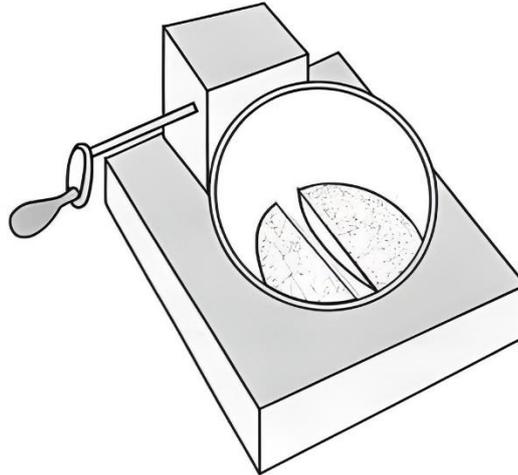
Fonte: CAPUTO (2016).

O estudo dos minerais argilosos é complexo, então a Engenharia adotou uma abordagem prática para avaliar sua influência no comportamento do solo. Isso envolveu a análise indireta com base no comportamento do solo na presença de água, utilizando ensaios e índices de consistência dos solos desenvolvidos por Albert Atterberg, um engenheiro químico, e adaptados por Arthur Casagrande, um professor de Mecânica dos Solos. Esses índices se baseiam na observação de que solos argilosos têm diferentes características dependendo do teor de umidade. Quando muito úmido, o solo se comporta como um líquido; ao perder parte da água, fica plástico; e quando mais seco, torna-se quebradiço (PINTO, 2006).

O Limite de Liquidez (LL) é o teor de umidade do solo no qual uma ranhura, previamente criada (Figura 8), fecha-se após 25 golpes em um aparelho específico, conforme ilustrado. São feitas tentativas em diferentes níveis de umidade do solo, registrando o número de golpes necessários para fechar a ranhura, e assim determinando o LL do solo por meio da relação entre o teor de umidade e o logaritmo do número de golpes. O teor de umidade correspondente ao número de 25 golpes, obtido a partir da curva de fluxo (Figura 9), representa o limite de liquidez do solo.

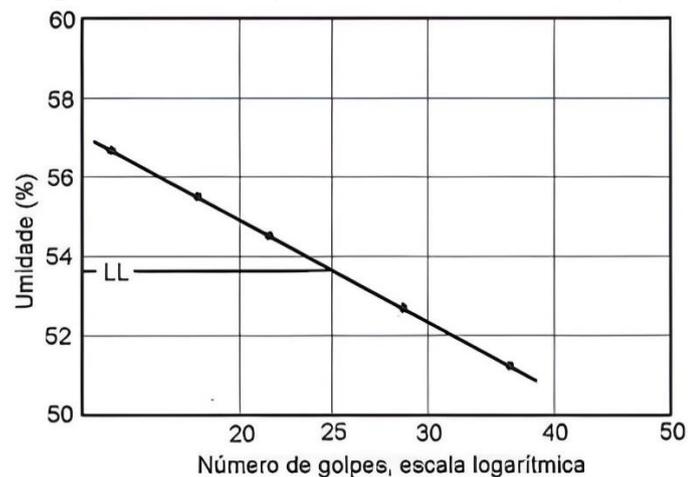
Portanto, são realizados pelo menos três testes com o mesmo tipo de solo, variando o teor de umidade, e o número de golpes, N , necessário para o fechamento variando entre 15 e 35 (DAS, 2010).

Figura 8 - Esquema para determinar limite de liquidez



Fonte: PINTO (2006).

Figura 9 – Gráfico para ensaio de limite de liquidez



Fonte: PINTO (2006).

O limite de plasticidade (LP), ao contrário do que ocorreu com o LL, não foi possível mecanizar satisfatoriamente, e é definido como o teor de umidade em porcentagem no qual o solo começa a se fraturar quando é moldado (Figura 10) em fios de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento (CAPUTO, 2016).

Figura 10 – Moldagem do solo para ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: DAS (2010).

O índice de plasticidade é a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade, representado como IP. Esse índice define a faixa na qual o solo se encontra no estado plástico e, sendo máximo para as argilas e mínimo (ou nulo) para as areias, fornece um critério para avaliar o caráter argiloso de um solo. Quanto maior o valor do IP, maior a plasticidade do solo. Quando um material não possui plasticidade, como no caso da areia, o índice de plasticidade é considerado nulo e é escrito como $IP = NP$ (não plástico). É importante observar que uma pequena quantidade de matéria orgânica pode aumentar o valor do LP sem afetar significativamente o LL, resultando em valores baixos de IP. Além disso, é sabido que quanto maior o valor do IP, mais compressível tendem a ser as argilas (CAPUTO, 2016).

2.3.3 Critérios para seleção do solo

Conforme Neves (2003), para fabricação de tijolos solo-cimento é recomendado fração de areia entre 50% a 90%, pois na dosagem necessitará de uma menor quantidade de cimento, corroborando, Lopes (2002) constata que os solos argilosos e siltosos para atingir estabilidade necessitam de teores elevados de

aglomerante, tendo um elevado custo. Os solos ideais são aqueles com porcentagens de areia que se aproximem de 65% e soma de argila e silte entre 10% a 35%.

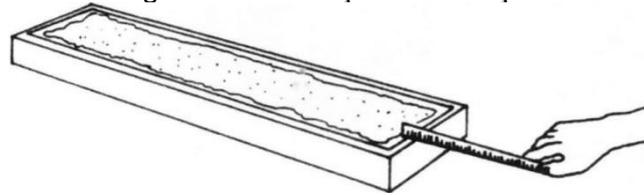
Barbosa e Ghavami (2010) afirmam que o solo ideal para a fabricação de tijolo solo-cimento deve apresentar plasticidade, e um limite de liquidez entre 40% e 45%. Além disso, o teor granulométrico para tal fabricação deve ser composto de 10% a 20% de argila, 10% a 20% de silte e 50% a 70% de areia, podendo haver correções granulométricas, com adição de areia. De acordo com o CEPED (2020), o teor de areia ideal é de 45% a 90% e de argila mais silte 10% a 55%, tendo argila menor que 20% e limite de liquidez menor que 45%.

A divergência entre diversos critérios na seleção do solo para mistura solo-cimento, revela que a mesma não pode ser muito ortodoxa, isso ocorre porque as propriedades do solo, como textura, estrutura, composição mineralógica e teor de umidade, variam significativamente de um local para outro, mesmo em áreas geográficas próximas. Um fator comum que todos os autores confirmam é a possibilidade de utilização do solo arenoso que tenha um mínimo teor de argila mais silte, importante para garantir a coesão da mistura de solo e cimento (CEPED, 2020).

Há também testes qualitativos expeditos, que dispensam qualquer apoio de laboratório, porém não identificam o teor granulométrico que é essencial para dosagem de cimento, permitindo assim identificar somente os solos mais viáveis a serem utilizados (CEPED, 2020).

Sendo um deles o teste de retração, que consiste em misturar uma porção de terra destorroada com água, até que a mistura apresente consistência de argamassa. Essa mistura deve ser colocada em uma caixa de madeira, previamente lubrificada, com dimensões de 60x 8,5 x 3,5 centímetros, esperando secar na sombra por sete dias e após isso medir a retração no sentido do comprimento, se a mesma não ultrapassar dois centímetros e não apresentar trincas, conforme Figura 11, a terra serve para construção com solo-cimento, não necessitando de acréscimo de areia (CEPED, 2020).

Figura 11 – Medição da retração



Fonte: CEPED (2020).

Outros métodos qualitativos de escolha do solo são demonstrados pelo CEPED e identificam a possibilidade da utilização do solo. O teste do cordão consiste em pegar uma quantidade de solo seco e adicionar água até que os cordões enrolados comecem a quebrar, atingindo um diâmetro de 3 mm. Em seguida, moldar uma bola com essa umidade e avaliar a força requerida para esmagá-la utilizando o polegar e o indicador; o teste da fita: Neste teste, uma amostra de solo úmido é moldada em uma fita, que é então avaliada quanto ao seu comprimento e espessura (CEPED, 2020).

Outro teste é o do bolo e envolve a criação de uma bola de terra úmida na mão e a avaliação da reação da amostra à pressão dos dedos. Ele pode indicar a plasticidade do solo e sua capacidade de reter umidade. Outro teste realizado pelo CEPED é o teste da Resistência Seca: Este teste envolve a criação de pastilhas de solo úmido que são deixadas secar ao sol. A resistência dessas pastilhas secas ao esmagamento indica a coesão e a resistência do solo quando está seco (CEPED, 2020).

Os resultados relativos à viabilidade de utilização dos solos são apresentados no Quadro 1.

Os cinco testes – de retração, do cordão, do bolo, da fita e da resistência seca - são métodos expeditos e práticos utilizados para avaliar qualitativamente as características do solo de forma rápida e simplificada. Eles são particularmente úteis em situações em que uma análise mais detalhada não pode ser realizada, mas ainda é preciso obter informações essenciais sobre a consistência, plasticidade e retração.

Quadro 1 – Métodos qualitativos de escolha de solo

Teste do cordão	Teste da fita	Teste do bolo	Teste da resistência seca	Tipo de solo	Possibilidade de utilização
Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Reação rápida a lenta, mas jamais muito lenta	Fraca a nula, geralmente nula	Areia fina, areia fina siltosa, areia fina argilosa, silte argiloso	Solo prensado para tijolos, adobes com cimento, terra compactada com ou sem cimento; quando muito arenoso, juntar solos finos, siltosos ou argilosos
Cordão frágil a semiduro	Fita curta	Reação lenta, a muito lenta	Fraca a média	Siltoso	Utilização mais difícil que os solos anteriores, mas possível com o uso de cimento
Cordão semiduro	Fita curta a longa	Reação muito lenta ou não tem reação	Média a grande	Argiloso com pedregulho, com areia e argila siltosa	Possível usar apenas para a terra compactada ou tijolo prensado, com cimento
Cordão duro	Fita longa	Não tem reação	Grande	Argiloso	Não deve ser usado

Fonte: CEPED (2020).

2.3.4 Classificação dos solos

Na engenharia, dois dos sistemas de classificação mais amplamente utilizados são o sistema *Highway Research Board* (HRB), desenvolvido pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), e o sistema unificado. Ambos têm como base as características granulométricas do solo e os limites de Atterberg. Enquanto o sistema HRB é principalmente empregado para fins relacionados a rodovias e infraestrutura viária, o sistema unificado é predominantemente utilizado no campo geotécnico. Essas abordagens abrangentes permitem uma avaliação mais precisa das propriedades do solo e desempenham um papel crucial em diversas aplicações de engenharia (DAS, 2010).

Segundo Pinto (2006), do ponto de vista do interesse da engenharia a respeito do solo, foram atribuídas tendências de propriedades, pela experiência acumulada, estimando um provável comportamento ou no mínimo as investigações necessárias, assim surgem os sistemas de classificação de solos. Sendo um destes, o SUCS, que

foi elaborado pelo professor Casagrande, em 1942, sendo mais utilizado na área de geotécnica, em que todos os solos são representados por duas letras, a primeira indica a característica principal e a segunda às características complementares, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
			GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped. areia e silte.
		Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	GC
	SW			Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
	Areias com finos		SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
	SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50	SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
ML			Siltes inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.	
CL			Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade – Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.	
SILTES e ARGILAS com LL > 50		OL	Siltes orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.	
		MH	Siltes - Areias finas ou siltes micáceos - Siltes elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
Solos Altamente Orgânicos		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.		

Fonte: DNIT (2006).

O SUCS divide-os em duas categorias principais: os solos de granulometria grossa, que são predominantemente arenosos ou cascalhentos, com menos de 50% do material passando pela peneira nº 200, e são identificados pelos prefixos G ou S; G para solo cascalhento ou com cascalho, e S para solo arenoso ou com areia. Por outro lado, os solos de granulometria fina têm 50% ou mais do material passando pela peneira nº 200, e seus grupos são designados pelos prefixos M (indicando silte inorgânico), C (para argila inorgânica) ou O (para siltes e argilas orgânicos). Além

disso, o símbolo Pt é reservado para solos altamente orgânicos, como turfa, lodo e outros (DAS, 2010).

Um dos sistemas de classificação de solo mais amplamente utilizado para a avaliação de solos visando a construção de pavimentos rodoviários é o desenvolvido pelo *Highway Research Board* (HRB). Este sistema de classificação foi introduzido em 1945 e evoluiu a partir de modificações feitas na classificação anterior do antigo sistema da *Public Roads Administration*, que havia sido apresentado em 1929. O método de classificação do HRB incorpora parâmetros como granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e o índice de grupo. O índice de grupo, em particular, desempenha um papel crucial na determinação das características do solo para fins de projetar pavimentos eficazes e duráveis, pois determina a capacidade de suporte do solo (DNIT, 2006).

Neste sistema de classificação, os solos são categorizados com base na proporção de material que passa pela peneira de número 200. Aqueles com uma quantidade máxima de 35% retida na peneira são classificados como solos de granulometria grossa, pertencentes aos grupos A-1, A-2 e A-3. Já os solos de granulometria fina contêm mais de 35% de material retido na peneira e são identificados como pertencentes aos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 (PINTO, 2006).

Segundo o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), as propriedades dos solos pertencentes a cada grupo e subgrupo mencionados no Quadro 3, com base neste sistema de classificação, estão enumeradas a seguir:

Grupo A-1 - O material típico deste grupo é constituído de mistura bem graduada de fragmentos de pedra ou pedregulhos, areia grossa, areia fina e um aglutinante de solo não plástico ou fracamente plástico. No entretanto, este grupo inclui também fragmentos de pedra, pedregulho, areia grossa, cinzas vulcânicas, etc., que não contêm aglutinantes de solo.

Subgrupo A-1-a - Inclui os materiais contendo, principalmente, fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando como aglutinante.

Subgrupo A-1-b - Inclui os materiais constituídos, principalmente, de areia grossa, com ou sem aglutinante de solo bem graduado.

Grupo A-2 - Este grupo inclui grande variedade de materiais que se situam entre os grupos A-1 e A-3 e também entre os materiais constituídos de mistura silte-

argila dos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Inclui todos os solos com 35% ou menos passando na peneira nº 200, mas que não podem ser classificados como A-1 ou A-3, devido ao teor de finos que contêm, ou a plasticidade, ou ambos excedendo os limites estabelecidos para os citados grupos.

Subgrupos A-2-4 e A-2-5 - Incluem solo contendo 35% ou menos, passando na peneira nº 200, com uma porção menor retida na peneira nº 40, possuindo as características dos grupos A-4 ou A-5. Estes grupos abrangem os materiais tais como pedregulho e areia grossa, em que o teor de silte e o índice de plasticidade ultrapassam os limites estabelecidos para o Grupo A-1, e ainda areia fina com silte não plástico excedendo os limites do Grupo A-3.

Subgrupos A-2-6 e A-2-7 - Incluem solos semelhantes aos descritos nos subgrupos A-2-4 e A-2-5-, exceção feita da porção de finos que contem argila plástica com características dos grupos A-6 ou A-7. Os efeitos combinados dos índices de plasticidade maiores que 10 e percentagem passando na peneira nº 200, maiores que 15, estão refletidos nos valores dos índices do grupo de 0 a 4.

Grupo A-3 - O material típico deste grupo é areia fina de praia ou de deserto, sem silte ou argila, ou possuindo pequena quantidade de silte não plástico. O grupo inclui também misturas de areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositados pelas correntes.

Grupo A-4 - O solo típico deste grupo é siltoso não plástico, ou moderadamente plástico, possuindo, geralmente, 5% ou mais passando na peneira nº 200. Inclui também misturas de solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº 200. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 8, as percentagens crescentes de material grosso, dando origem a valores decrescentes para os índices de grupo.

Grupo A-5 - O solo típico deste grupo é semelhante ao que foi descrito no A-4, exceto que ele é, geralmente, de caráter diatomáceo ou micáceo, altamente elástico, conforme indica seu elevado limite de liquidez. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 12; esses valores crescentes revelam o efeito combinado do aumento dos limites de liquidez e das percentagens decrescentes de material grosso.

Grupo A-6 - O solo típico deste grupo é argiloso, plástico, tendo, geralmente, 75% ou mais de material passando na peneira nº 200. O grupo inclui também misturas de solos finos argilosos, podendo conter até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº 200. Os solos deste grupo comumente sofrem elevada mudança de volume

entre os estados seco e úmido. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 16, esses valores crescentes mostram o efeito combinado do aumento dos índices de plasticidade e diminuição dos materiais grossos.

Grupo A-7 - O solo típico deste grupo é semelhante ao descrito no grupo A-6, com a diferença que possui as características de alto limite de liquidez do grupo A-5, podendo ainda ser elástico e estar sujeito a elevada mudança de volume. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 20; este aumento indica o efeito combinado de crescimento dos limites de liquidez e dos índices de plasticidade, bem como a diminuição dos materiais grossos.

Subgrupo A-7-5 - Encerra materiais com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez, podendo ser altamente elástico e sujeito a elevadas mudanças de volume.

Subgrupo A-7-6 - Inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez, estando sujeitos a elevadas mudanças de volume.

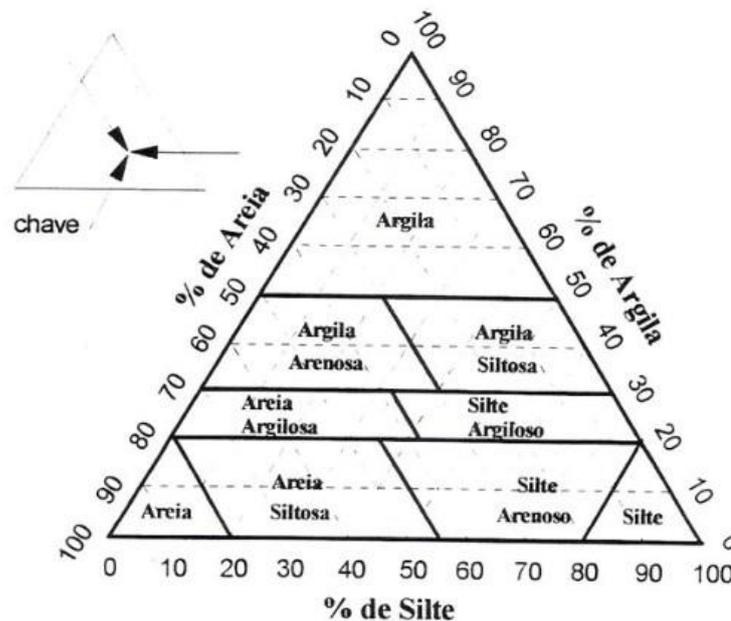
Quadro 3 - Classificação dos solos TRB

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira Nº 10 Nº 40 Nº 200	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50máx. 25máx.	51min. 10máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40: Limite de Liquidez Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	40 máx. 10 máx.	41 min. 10 máx.	40 máx. 11 min.	41 min. 11 min.	40 máx. 10 máx.	41 min. 10 máx.	40 máx. 11 min.	41 min. 11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

Fonte: DNIT (2006).

Uma amostra de solo também pode ser classificada utilizando o diagrama trilinear dos solos, adotado pela *Federal Highway Administration*, sendo necessário determinar as porcentagens de cada constituinte na amostra de solo e plotar no diagrama fundamentado no triângulo equilátero (Figura 12), com eixos coordenados representando as porcentagens de areia, silte e argila, apresentando assim os grupamentos texturais do solo (CAPUTO, 2016).

Figura 12 - Classificação dos solos de acordo ao diagrama trilinear



Fonte: GUIA DA ENGENHARIA (2020).

Em termos gerais, a textura do solo se refere à sua aparência superficial. Essa textura é determinada pelo tamanho das partículas individuais que compõem o solo. Classificando os solos em categorias como areia, silte e argila, com base no tamanho dessas partículas. Em muitos casos, os solos naturais são combinações de partículas de diferentes grupos de tamanho. Dentro do sistema de classificação textural, os solos recebem nomes de acordo com seus componentes predominantes, como argila arenosa, argila siltosa, e assim por diante como visto na Figura 12 (DAS, 2010).

Os solos destinados a aplicações na engenharia devem ser criteriosamente classificados para determinar o seu uso adequado. Na próxima seção deste estudo, serão apresentados os tipos de solo encontrados no município de Delmiro Gouveia, de acordo com o SiBCS.

O SiBCS é o sistema taxonômico oficial, hierárquico e integrado de classificação de solos do Brasil, com base em levantamentos exploratórios realizados em todos os estados do país. Sua primeira versão foi apresentada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em 1999, e é constantemente revisada e aperfeiçoada, visando refletir os avanços científicos e tecnológicos a respeito da pedologia no Brasil (LEPSCH, 2010).

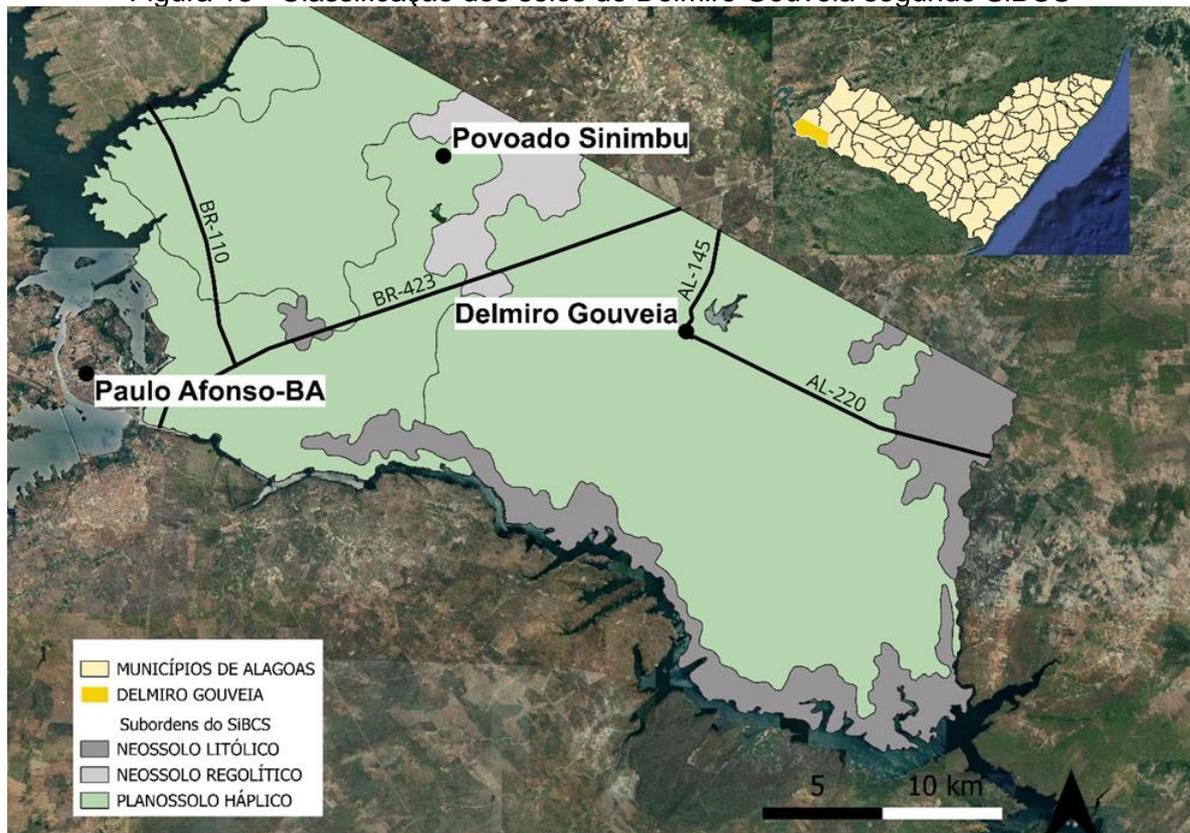
2.4 Solos do município de Delmiro Gouveia-AL

Delmiro Gouveia é um município localizado no extremo oeste do Estado de Alagoas, na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, tendo um relevo predominante suave-ondulado, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, uma paisagem típica do semiárido nordestino, com solos de modo geral pouco profundos, com exceção dos Neossolos Litólicos, que são rasos e com alta suscetibilidade à erosão (CPRM, 2005).

O clima da cidade é semiárido, muito quente, com chuvas ocorrendo em maior quantidade de novembro a abril e precipitação média anual de 431,8 mm. Pelo seu clima semiárido ao longo do período quaternário, favoreceu a superfície de aplanamento e com ciclos sucessivos de erosão (DA SILVA *et al*, 2002).

De acordo ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023), os solos presentes na região de Delmiro Gouveia, são o Planossolo Háplico, Neossolo Regolítico e Neossolo Litólico, identificando-os até o 2º nível categórico da SiBCS 2018, conforme Figura 13.

Figura 13 - Classificação dos solos de Delmiro Gouveia segundo SiBCS



Fonte: autor elaborado a partir do IBGE (2023).

Os Neossolos são solos compostos por material mineral ou orgânico pouco espesso, com profundidade inferior a 20 cm, solo em vias de formação, sem o horizonte B diagnosticado. Isso significa que esses solos ainda não sofreram modificações significativas em relação ao material original, seja em relação às características do próprio material, como resistência ao intemperismo ou composição química; ou em relação ao relevo, que pode impedir ou limitar a evolução desses solos (EMBRAPA, 2018).

Os Planossolos têm um horizonte superficial de textura arenosa pouco espessa, sobre um horizonte B plânico pouco permeável e com considerável aumento de argila (LEPSCH, 2010).

O quadro 4, expressa os termos empregados ao 2º nível de categorização dos solos de Delmiro Gouveia- AL, de acordo ao SiBCS:

Quadro 4 - Segundo nível de categorização dos solos de Delmiro Gouveia

Nomenclatura	Características associadas
HÁPLICO	Quando empregado, se refere a todos os demais solos não distinguidos nas classes precedentes
LITÓLICO	Contato lítico dentro de 50cm da superfície
REGOLÍTICO	A. C+ contato lítico além de 50cm da superfície +4% de minerais alteráveis ou 5% de fragmentos de rocha

Fonte: EMBRAPA (2018).

Além da identificação pedológica dos solos, que fornece informações valiosas sobre os tipos de solo presentes no município, é importante ressaltar que a identificação dos percentuais granulométricos e índices de consistência é um complemento essencial, visto que a classificação pedológica por si só não determina esses fatores. As análises aprofundadas permitem compreender o potencial dos solos do município para produção de tijolos solo-cimento, e sua adequação enquanto composição da mistura em projetos de habitações de interesse social, contribuindo para atender às necessidades habitacionais do município de forma sustentável.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, descreve-se o método de pesquisa utilizado, incluindo as etapas realizadas para garantir a validade dos resultados. São apresentados os materiais utilizados, como o solo juntamente com suas características e métodos de obtenção. Além disso, serão detalhados os processos normativos para determinar as propriedades físicas das diferentes amostras.

Os ensaios com as amostras de solo foram realizados no Laboratório de Solos/ Geologia da Universidade Federal de Alagoas- Campus Sertão.

3.1 Coleta das amostras de solo de interesse

A definição dos locais de coleta do solo no município foi baseada na análise de mapas pedológicos disponíveis no IBGE, identificando as categorizações e horizontes de interesse. Esses mapas fornecem informações úteis na fase preliminar do estudo, pois permitem identificar a tipologia do solo, bem como os contrastes entre as regiões, o que pode resultar em economias no que diz respeito a custo e tempo de investigação. Em seguida, foram realizados ensaios de caracterização do solo para determinar o seu potencial uso na fabricação de tijolos de solo-cimento, e se as definições iniciais de coleta apresentam conformidade com as normas brasileiras para fabricação de tijolo solo-cimento.

Foram coletadas duas amostras de solo na proximidade da BR- 423, a amostra A e a amostra C; já a amostra B nas proximidades do povoado Sinimbu. Todas com distanciamento mínimo de vinte metros da rodovia ou estrada para não haver contaminação das amostras, além de ter como profundidade de coleta entre vinte e cinquenta centímetros, evitando assim a camada superficial rica em matéria orgânica. Essa abordagem é importante para garantir a confiabilidade dos dados obtidos nos estudos e análises subsequentes realizadas nas amostras de solo. As coordenadas geográficas da coleta são dadas conforme Tabela 5 e local de coleta na Figura 14:

Tabela 5 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta

Amostras	Pedologia	Latitude	longitude	Provável horizonte de coleta
Amostra A	Neossolo Regolítico	-9.364160	-38.079208	C
Amostra B	Planossolo Háptico	-9.331631	-38.086089	A
Amostra C	Neossolo Litólico	-9.385678	-38.140731	C

Fonte: autor (2023).

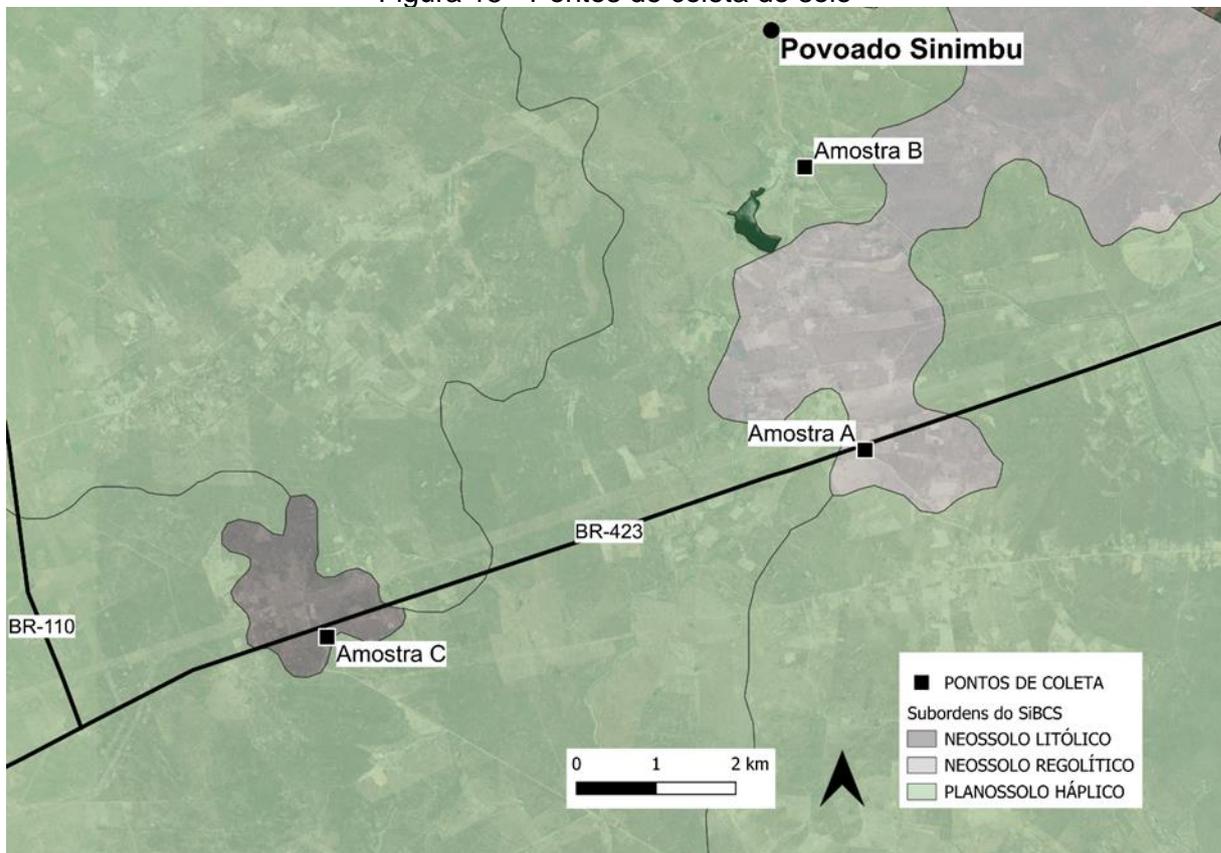
Figura 14 - Local de coleta, amostra A, B e C respectivamente



Fonte: autor (2023).

Utilizando as coordenadas geográficas obtidas, foi plotado no mapa da Figura 15 com o *software* QGIS, com as limitações de área de cada subordem do SiBCS.

Figura 15 - Pontos de coleta do solo



Fonte: autor (2023).

3.2 Ensaios de caracterização das amostras de solo

3.2.1 Caracterização do solo

A NBR 10833 (ABNT, 2013), que trata sobre a fabricação de tijolo ecológico, estabelece requisitos para o solo utilizado na mistura solo-cimento, devendo atender as seguintes características: material 100% passante na peneira de abertura 4,8 mm, 10 a 50% passante na peneira de malha de 0,075 mm, limite de liquidez menor ou igual a 45% e índice de plasticidade menor ou igual a 18%. A norma também recomenda utilização de solos que estejam em conformidade com a NBR 17053 (ABNT, 2022), porém devido a profundidade de coleta e as características visuais das amostras, a execução do ensaio de determinação de impurezas orgânicas não foi realizado.

Conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016), que diz respeito a preparação dos solos para os ensaios de caracterização, as operações preliminares incluem a secagem prévia das amostras expostas ao ar até próximo da umidade hidrocópica, seguida do destorroamento sem quebra dos grãos e homogeneização das amostras. Posteriormente, a fração da amostra obtida por quarteamento é peneirada em uma malha de 76 mm, para obter a massa para a análise granulométrica (Figura 16).

Figura 16 - Respectivamente destorroamento, quarteamento e pesagem



Fonte: autor (2023).

3.2.2 Análise granulométrica

Para realizar a análise granulométrica dos solos, as amostras foram submetidas ao peneiramento em uma série padrão de peneiras, de acordo com a NBR 7181/2017 (Figura 17).

Figura 17 - Peneiras para ensaio granulométrico



Fonte: autor (2023).

As peneiras para o peneiramento grosso utilizadas tinham abertura de malha de 50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8 e 2,00 mm. Para cada amostra de solo a massa de um quilograma foi inserida para análise, tomando assim a quantidade de massa passante e retida na peneira de 2 mm. O retido foi submetido ao peneiramento grosso após o processo de lavagem e secagem em estufa, e o passante posteriormente identificará a umidade hidrocópica e terá 100 gramas utilizados como massa parcial úmida para o peneiramento fino, passando na peneira de abertura de 0,075 mm e o material retido foi lavado na peneira e seco em estufa (Figura 18). No processo de peneiramento fino as aberturas foram as seguintes: 1,2; 0,60; 0,42; 0,25 0,15 e 0,075 mm, anotando assim a massa retida.

Figura 18 - Material lavado para peneiramento grosso e fino, respectivamente: amostra C, amostra A e amostra B.



Fonte: autor (2023).

3.2.3 Limites de consistência

3.2.3.1 Limite de liquidez

O solo com secagem prévia utilizado no ensaio é o passante na malha de 0,42 mm. Em seguida, é adicionada água destilada aos poucos em 100 gramas do material, homogeneizando por um período de tempo entre 15 e 30 minutos, assim formando uma pasta homogênea, tendo consistência que permita que sejam necessários aproximadamente 35 golpes para fechar a ranhura feita na mistura que é posto no aparelho de Casagrande, sendo utilizados os equipamentos da Figura 19 (ABNT NBR 6459, 2016).

Figura 19 - Equipamento utilizados para o ensaio de limite de liquidez



Fonte: autor (2023).

A mistura é colocada na concha, de modo a dividir em duas partes pelo cinzel, em seguida, são aplicados golpes no aparelho de forma constante, a uma taxa de 2 golpes por segundo, até que as bordas inferiores apresentem 13 mm de união entre as partes. O ensaio é interrompido nesse momento, e o número de golpes necessários é registrado, e também há a retirada de parcela da mistura para determinar a umidade.

Ao restante do material adiciona-se água e mistura por 3 minutos, o processo anterior é repetido até possuir 5 resultados abrangendo um intervalo de 35 a 15 golpes para cada tipo de solo estudado. Os pontos são plotados em um gráfico, onde os teores de umidade são representados em escala aritmética e o número de golpes em escala logarítmica. Através de uma regressão linear uma reta é traçada, obtendo o limite de liquidez do solo estudado no teor de umidade correspondente a 25 golpes, sem possibilidade de abranger o intervalo o solo não possui limite de liquidez.

3.2.3.2 Limite de plasticidade e índice de plasticidade

O procedimento de ensaio conforme NBR 7180 (ABNT, 2016), assim como o de limite de liquidez, a amostra coletada deve ser 100 gramas do material passante na peneira de 0,42 mm, esse material deve ser homogeneizado com água destilada em uma vasilha de Cerâmica por até 30 minutos, atingindo uma consistência plástica.

Em seguida, cerca de 10 gramas da mistura deve ser moldada, por meio de rolagem em uma placa de vidro esmerilhada, até atingir o formato de um gabarito cilíndrico com 10 centímetros de comprimento e 3 milímetros de espessura (Figura 20). Se o cilindro se fragmentar antes de atingir essas dimensões, a amostra deve ser retornada à cápsula cerâmica e acrescentar água. Esse procedimento deve ser repetido mais duas vezes para cada amostra.

Figura 20 – Placa de vidro e gabarito cilíndrico



Fonte: autor (2023).

Uma vez que se obtenha um cilindro com as dimensões desejadas, e com fragmentos, é necessário averiguar sua umidade de acordo com a ABNT NBR 6457. O limite de plasticidade é calculado como a média das três umidades obtidas.

O índice de plasticidade dos solos é obtido através da subtração do limite de liquidez pelo limite de plasticidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estão apresentados neste capítulo, os resultados das análises dos solos do município de Delmiro Gouveia-AL, já que o mesmo tem influência na durabilidade de habitações com utilização de tijolos de solo-cimento. Foram realizadas coletas de amostras de solo em diferentes locais da região, seguidas de análises laboratoriais para avaliar suas características físicas relevantes para a produção dos tijolos.

4.1 Caracterização das amostras de solo

As três amostras do solo estudadas passaram pelo peneiramento, observando que o material passante na peneira ABNT N° 4 (4,8 mm) não era de 100%, um dos requisitos para produção do tijolo solo-cimento NBR 10833 (ABNT, 2013). Esse resultado demonstra que todas as amostras possuem pedregulhos em sua composição, conforme figuras 21, 22 e 23. Portanto, é essencial, de acordo com a norma de fabricação de tijolo de solo-cimento um peneiramento prévio.

Figura 21 – Material retido do peneiramento grosso e fino amostra A



Fonte: autor (2023).

Figura 22 – Material retido do peneiramento grosso e fino amostra B



Fonte: autor (2023).

Figura 23 – Material retido do peneiramento grosso e fino amostra C



Fonte: autor (2023).

Os resultados das amostras granulométricas estão apresentados na tabela 6, indicando o percentual de cada tipo de material de acordo ao SUCS. As curvas granulométricas dos solos estão representadas na Figura 24, elaboradas a partir dos dados presentes na Tabela 7.

Tabela 6 - composição textural das amostras conforme SUCS

Amostras	Composição (%)				
	Pedregulho	Areia			silte+argila
		Grossa	Média	Fina	
Intervalo (mm)	75- 4,75	4,75 - 2	2- 0,425	0,425- 0,075	<0,075
Amostra A	27,00	9,73	20,59	28,06	14,62
Amostra B	12,35	7,78	20,03	26,08	33,76
Amostra C	10,02	7,37	27,38	26,62	28,60

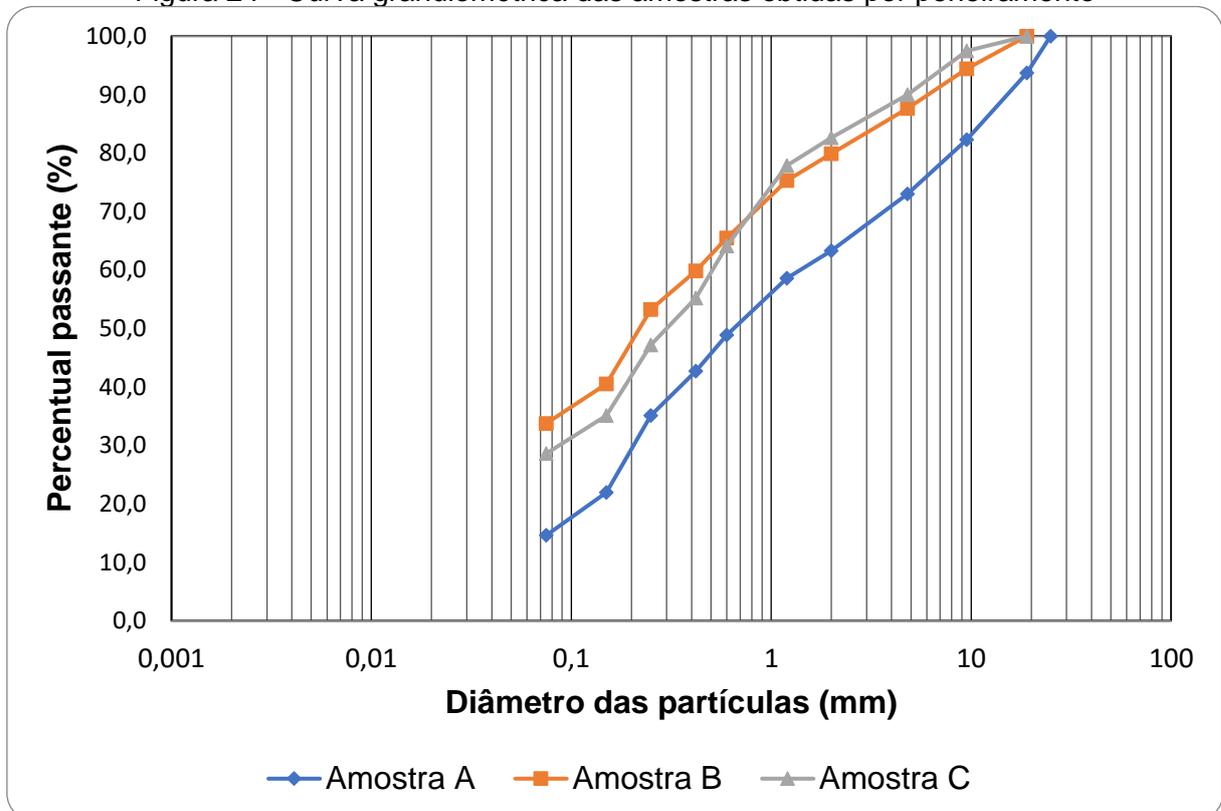
Fonte: autor (2023).

Tabela 7 - Distribuição granulométrica das amostras obtidas por peneiramento

Peneira (#)	Peneira (mm)		Amostra A (Neossolo Regolítico)	Amostra B (Planossolo Háplico)	Amostra C (Neossolo Litólico)
3/4"	19		93,71	100	100
3/8"	9,5		82,3	94,39	97,44
4	4,8		73	87,65	89,98
10	2	Granulometria- percentual de solo passante (%)	63,28	79,86	82,61
16	1,2		58,6	75,27	77,88
30	0,6		48,87	65,46	64,1
40	0,42		42,69	59,83	55,22
50	0,25		35,12	53,21	47,19
100	0,15		21,94	40,5	35,09
200	0,075		14,63	33,76	28,6

Fonte: autor (2023).

Figura 24 - Curva granulométrica das amostras obtidas por peneiramento



Fonte: autor (2023).

Com a curva granulométrica do solo por peneiramento, os solos foram classificados como de graduação grossa por ter mais de 50% retido na peneira nº 200. Excluindo os pedregulhos das amostras, parte que não deve compor a mistura solo-cimento para tijolos, a porcentagem retida nas peneiras é dada conforme tabela 8, considerando o passante na peneira de 4,8 mm como porcentagem total.

Tabela 8 - Distribuição granulométrica após peneiramento prévio

Peneira (#)	4	10	16	30	40	50	100	200
Peneira (mm)	4,8	2	1,2	0,60	0,42	0,25	0,15	0,075
Granulometria- percentual de solo retido (%)								
Amostra A (Neossolo Regolítico)	-	13,32	19,74	33,06	41,53	51,89	69,94	79,97
Amostra B (Planossolo Háplico)	-	8,88	14,12	25,32	31,74	39,29	53,80	61,48
Amostra C (Neossolo Litólico)	-	8,19	13,44	28,76	38,62	47,55	60,99	68,20

Fonte: autor (2023).

Ao analisar outro requisito da norma, à quantidade passante na peneira nº 200 (0,075 mm), conforme mencionada anteriormente na tabela 8, com base no percentual retido. É observado que as amostras estudadas têm percentual passante superior a 10% e inferior a 50% de matéria, atendendo, dessa forma, a esse critério. A porcentagem de cada tipo de material está apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Percentual de areia e argila mais silte após peneiramento prévio

Amostras	Percentual de areia (%)	Percentual de argila mais silte (%)
Amostra A	79,97	20,03
Amostra B	61,48	38,52
Amostra C	68,20	32,80

Fonte: autor (2023).

De acordo com Neves (2003), a recomendação de areia para utilização em tijolos de solo-cimento é de 50% a 90%. Todas as amostras se encontram dentro desse limite. Segundo Lopes (2002), os solos ideais são aqueles nos quais a porcentagem de areia se aproxima de 65%. As amostras atendem a esses critérios, sendo que as amostras B e C apresentam uma aproximação ainda melhor no quesito teor de areia. Já de acordo com Barbosa e Ghavami (2010), a porcentagem de areia ideal situa-se entre 50% e 70%, no entanto, a amostra A não atende a esse requisito.

4.2 Limites de consistência

4.2.1 Limite de liquidez

Com a realização do ensaio, conforme a ABNT NBR, os solos descritos nesta pesquisa não apresentaram quantidade de golpes suficiente, apresentando valores menores que 15 golpes para fechamento da ranhura, assim conforme norma não apresentam limite de liquidez (NL).

A análise das amostras de solos do município, conforme ilustrado na figura 25, revelou que esses solos, na profundidade de coleta, e após peneiramento na peneira de abertura 0,42 mm, possuem uma textura predominantemente arenosa siltosa. Uma característica notável desses solos é a ausência de coesão entre as partículas, o que torna difícil a sua moldagem na concha do aparelho de limite de liquidez. Além disso, a ranhura criada durante o teste de limite de liquidez tende a se fechar com um número insuficiente de golpes.

Figura 25 - Comportamento típico das amostras no ensaio de limite de liquidez



Fonte: autor (2023).

4.2.2 Limite de plasticidade e índice de plasticidade

Devido ao baixo teor de argila existente nas amostras, não foi possível moldar o cilindro (Figura 26) e, portanto, os solos são considerados como não plásticos (NP). A plasticidade de um solo está de fato relacionada à sua textura e quantidade de

argila. Quanto maior o índice de plasticidade, maior é a propensão do material a variações dimensionais, como inchamento quando úmido e retração quando seco. O que torna as amostras propensas à utilização como material para o tijolo de solo-cimento.

Figura 26 - Comportamento típico das amostras no ensaio de limite de plasticidade



Fonte: autor (2023).

Os resultados das análises das amostras de solo coletadas em Delmiro Gouveia indicaram a ausência de plasticidade, tornando-as adequadas para a produção de tijolos. Isso se deve ao fato de que as amostras não apresentam limite de liquidez e índice de plasticidade, atendendo aos critérios estabelecidos pela NBR 10833 (ABNT, 2013) que definem limites de liquidez e índice de plasticidade inferiores a 45% e 18%, respectivamente. Portanto, essas amostras selecionadas estão em conformidade com as normas técnicas, o que abre oportunidades para sua aplicação na produção do material de construção.

4.3 Classificação dos solos

A classificação das amostras de acordo ao SUCS, para solos de graduação grossa é realizada com base na análise da composição granulométrica, ou seja, a porcentagem do solo que passa por diferentes peneiras. Para as amostras em questão, observou-se que mais de 50% do solo foi retido na peneira nº 200, o que as classificam como solo de faixa grossa. Além disso, mais de 50% do material passante na peneira de nº 4 e percentual maior que 12% do solo passou na peneira nº 200,

tornando-as areias bem graduadas e pertencentes ao grupo SM (areia siltosa) na classificação do SUCS (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultado da classificação SUCS

Amostras	A	B	C
Classificação	SM	SM	SM

Fonte: autor (2023).

Na classificação rodoviária do solo seguindo especificações, para determinar o grupo correto de cada amostra, foi seguida a análise do quadro elaborado pelo DNIT, da esquerda para a direita, sendo o primeiro grupo que atendeu às exigências impostas considerado o grupo correto. As amostras analisadas foram classificadas como materiais grossos, pois apresentaram menos de 35% de material passando na peneira de nº 200. Ao calcular o índice de grupo para essas amostras, obteve-se um valor igual a zero, não apresentando limite de liquidez e plasticidade. Diante dessa situação, optou-se por classificar as amostras como pertencentes ao grupo A-2-4 do sistema TRB (Tabela 11).

Tabela 11 - Resultado da classificação TRB

AMOSTRA	A	B	C
Classificação	A-2-4	A-2-4	A-2-4

Fonte: autor (2023).

Após a realização dos ensaios, as amostras foram classificadas de maneira idêntica de acordo com os sistemas SUCS e TRB. No entanto, a classificação pelo sistema trilinear não foi possível devido à falta do ensaio de sedimentação, que teria identificado os percentuais separadamente de argila e silte.

O uso de ensaios laboratoriais, que dispensam a necessidade de ensaios de campo como os do CEPED, oferece uma abordagem eficiente para compreender o potencial dos solos do município de Delmiro Gouveia. Esses ensaios laboratoriais proporcionam uma análise detalhada das características granulométricas e limites de consistência. Essa abordagem economiza tempo e recursos, permitindo uma avaliação precisa das propriedades do solo, que se mostraram satisfatórias, e com

potencial para produção de tijolos solo-cimento, a fim de sanar o déficit habitacional no município.

Os resultados demonstram que os solos presentes no município de Delmiro Gouveia apresentam grande potencial para o uso na fabricação de solo-cimento, visto que os solos estudados possuem uma composição adequada de areia e argila mais silte, e a presença significativa de partículas de areia é fundamental para melhorar a resistência à compressão do solo-cimento. Os solos se enquadram como apropriados para a produção de solo-cimento, sugerindo uma dosagem promissora para a fabricação, atendendo os requisitos para o solo impostos pela NBR 10833 (ABNT, 2013).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tijolo de solo-cimento é um material promissor, pois utiliza matéria prima local, o solo, e diminui significativamente a necessidade de transporte, sendo uma excelente escolha para minimizar as emissões de gases de efeito estufa, além de reduzir a geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente. Essa abordagem proporciona residências mais acessíveis, utilizando materiais de baixo custo, mas de alta resistência. Portanto, a opção pelos tijolos de solo-cimento representa uma escolha assertiva para apoiar a sustentabilidade na indústria da construção.

Em suma, como foi objetivado no trabalho, as três amostras de solos retiradas do município de Delmiro Gouveia, com diferentes nomenclaturas pelo SiBCS, possuem resultados favoráveis para a fabricação de tijolos de solo-cimento, de acordo à NBR 10833 (ABNT, 2013) e sua utilização com o devido cuidado construtivo contribui para o desenvolvimento sustentável e socioeconômico da região.

Como o critério de granulometria máxima da norma não foi atendido pelas amostras, é necessário um peneiramento prévio na abertura de 4,8 mm, como tratamento inicial do solo, para assim ser misturado com a quantidade adequada de cimento e água. No quesito do teor de finos, as amostras após serem peneiradas atenderam ao critério exigido por norma. As amostras apresentaram limite de liquidez e índice de plasticidade nulos, estando também em conformidade.

Atendendo aos critérios expostos, o solo da região apresenta um potencial significativo para combater o déficit habitacional no município, através da produção dos tijolos solo-cimento. No entanto, a fabricação na região apresenta limitações, seja pela presença de Neossolos e Planossolos, tendo pouca profundidade, assim a disponibilidade da matéria-prima solo, pode não ser suficiente para a demanda industrial, sendo também agravador da erosão; ou pelos processos posteriores à escolha do solo, que requerem um controle de qualidade rigoroso para assegurar a consistência e a conformidade com as normas técnicas. Também é importante ressaltar que os resultados obtidos a partir de uma pequena quantidade de amostras podem não representar completamente a variabilidade do solo em todo o município.

Sugere-se que pesquisas futuras sejam realizadas para aprimorar os métodos de fabricação de tijolos ecológicos a partir dos solos de Delmiro Gouveia, explorando diferentes aditivos, técnicas de estabilização e dosagem para melhorar ainda mais

suas propriedades. Além disso, estudos sobre a durabilidade e o desempenho dos tijolos em condições de uso real também são recomendados para garantir a eficácia do material de construção.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A.K. **Tecnologias apropriadas: Tijolos, blocos e paredes monolíticas de solo-cimento**. 1980. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. 2011.
- ALEXANDRE, J.; ALVES, M. da G.; LIMA, T. V. **Estudo da estabilização de um solo argiloso com adição de cimento**. Estudo da estabilização de um solo argiloso com adição de cimento, p. 7, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**. Amostras de Solo–Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-6459**: Solo - determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR-7181**: Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 8491**: Tijolo de Solo-Cimento-Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR. 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica- Procedimento. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR. 17053**- Agregado Miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP BT-117**: o solo-cimento e suas aplicações rurais. São Paulo: ABCP, 1996.
- BARBOSA NETO, J. A. **Estudo de misturas de solo-cimento para utilização em estaca**. 2014.
- BARBOSA, N.P.S.; GHAVAMI, K. **Terra Crua para Edificações**. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, p. 1565-1598, 2010.
- BARRETO, D. I. S.; HOLZER, W.; MEDEIROS, H.; WEIMER, G. (2010). **Arquitetura popular do Brasil**. Rio de Janeiro, Bom Texto.

BRASIL. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2009). Cartilha Minha Casa Minha Vida. Governo Federal, 2009.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2023.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, volume 1: fundamentos – 7.ed. – [Reimp.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. THABA, Camaçari. **Manual de construção com solo- cimento**. Convênio CEPED/BNH/URBIS/CONDER/PMC/OEA/CEBRACE. 3. ed. atual. São Paulo, ABCP, 1984. 147p. il. Bibliografia. (Versão digital, 98p. il., 2020)

COLAÇO, L. M. de M. **A evolução da sustentabilidade no ambiente construído: projecto e materiais dos edifícios**. 2008.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do Município de Delmiro Gouveia, Estado de Alagoas. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 13 p.

D`AMICO, F. **O Programa Minha Casa, Minha Vida e a Caixa Econômica Federal**. Trabalhos premiados, p.33 – 54. Curitiba, 2011. Disponível em: <http://www.centrocelsofurtado.org.br/arquivos/image/201109261251530.LivroCAIXA_T_0_033.pdf>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2023.

DA SILVA, F. H. B. B. *et al.* **Diagnóstico ambiental do Município de Delmiro Gouveia**-Estado de Alagoas. 2002.

DAS, B. M. **Principles of geotechnical engineering**. Stamford, Conn.: Cengage Learning, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – IPR 719. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, J. S. W (org). 2012. **Produzir casas ou construir cidades: desafios para o novo Brasil urbano**. FUPAM, LABHAB FAUUSP. Disponível em: <http://www.labhab.fau.usp.br/wpcontent/uploads/2012/02/ferreira_2012_produzirhab_cidades.pdf>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil – 2016-2019 / Fundação João Pinheiro**. – Belo Horizonte: FJP, 2021a.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional Setup**. 2013. Disponível em: <<https://fjp.mg.gov.br/deficit-habitacional-no-brasil/>>. Acesso em: 12 de setembro de 2023.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações. **Metodologia do déficit habitacional e da inadequação de domicílios no Brasil: 2016 - 2019**. Belo Horizonte: FJP, 2021b.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

IEP - INSTITUTO EDUCACIONAL PIRACICABANO DA IGREJA METODISTA. **Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-Cimento**. 73p. Editora UNIMEP. Piracicaba, 2016.

INACIO, C. A. E. S. **Estudo do solo enquanto material de construção sustentável**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais**. Pedologia. Brasília, DF: Banco de Dados de Informações Ambientais. Disponível em: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em: 10 março de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA: População nos Censos Demográficos por Situação de Domicílio**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1288> >. Acesso em: 02 agosto de 2023

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. – 2 ed. – São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LOPES, W. G. R. *et al.* **A taipa de mão em Teresina, Piauí, Brasil: a improvisação e o uso de procedimentos construtivos**. digitAR-Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes, n. 1, 2013.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico mecânicas**. 2002. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas-SP.

LOPES, W. G. R.; INO, A. **Aspectos construtivos da taipa de mão**. Técnicas mixtas de construcción con tierra, p. 15-36, 2003.

MARICATO, E. Estudos avançados. **Metrópole, legislação e desigualdade**, IEA/USP, v. 17, n. 48, p. 151–167, 2003.

MARICATO, E. **Minha Casa Minha Vida piorou cidades e alimentou especulação imobiliária, diz ex-secretária do governo Lula**. BBC. G1 em 04/06/2018. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/noticia/minha-casa-minha-vida-piorou-cidades-e-alimentou-especulacao-imobiliaria-diz-ex-secretaria-do-governo-lula.ghtml>> Acesso em: 09 de julho de 2023.

MARINHO, F. **Classificação dos solos**. Guia da engenharia, 2020. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/classificacao-solos/>>. Acesso em: 02 de agosto de 2023.

MORAES, O. B. D. **Método de análises de dados para avaliação de áreas urbanas recuperadas - Uma abordagem utilizando a lógica Fuzzy**. Tese de doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

NEVES, C. **O uso do solo-cimento em edificações**. A experiência do CEPED. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2003. 13p.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. (2009). **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração Universal dos Direitos Humanos, 1948**. Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/declaracao-universal-dos-direitos-humanos>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/ 3ª Edição**. – São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTORO, R. B.; PENTEADO, C, L, de C. **Bioconstrução**: utilizando o conhecimento ecológico para a criação de construções saudáveis. XIII encontro da associação nacional de pós-graduação e pesquisa em planejamento urbano e regional. Florianópolis, SC. 2009. Disponível em: <https://www.academia.edu/17934122/BIOCONSTRUCAO_UTILIZANDO_O_CONHECIMENTO_ECOLOGICO>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2023.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993.

SEGANTINI, A. A. S.; ALCANTARA, M. A. de M. Solo-cimento e solo-cal. *In*: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO -IBRACON (Org.). **Materiais de construção civil e princípios básicos de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, p. 863-891.

SILVA, C. G. T. da. **Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua**. 2000. 255 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, M. R. O uso do solo-cimento na construção. *In*: BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. v. 2.

SOLOS, E. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, v. 5, 2018.

TASCHNER, S. P. O Brasil e suas favelas. *In*: ABRAMO, P (org.). **Cidade da Informalidade**. Rio de Janeiro: Sete Letras, 2003, p. 13-42.

VERDE EQUIPAMENTOS. **Os Tijolos Ecológicos**, 2018. Disponível em: <<https://verdeequipamentos.com.br/produtos/prensa-de-tijolo-ecologico-automatica/>>. Acesso em: 12 de julho de 2023.

VERONEZZI, F; FAJARDO, S. **A paisagem na análise geográfica**: considerações sobre uma paisagem rural em Guarapuava-PR. GEOgraphia, v. 17, n. 34, p. 207-224, 2015.