



CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMINAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GLAUCCO AZIZ TURETTA RESGALA
MARCUS VINÍCIUS DE LACERDA SILVA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO TIJOLO ADOBE COM ADIÇÃO
DE CAL HIDRATADA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MURIAÉ

2022

**GLAUCCO AZIZ TURETTA RESGALA
MARCUS VINÍCIUS DE LACERDA SILVA**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO TIJOLO ADOBE COM ADIÇÃO
DE CAL HIDRATADA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, do Centro Universitário
FAMINAS.

Orientador: Prof. Ms. Gabriel Pereira
Monteiro

MURIAÉ

2022

R433a Resgala, Glaucio Aziz Tureta

Estudo das propriedades do tijolo adobe com adição de cal hidratada. / Glaucio Aziz Tureta Resgala, Marcus Vinicius de Lacerda Silva. Muriaé: FAMINAS, 2022.

82p.

Orientador: Prof. Me. Gabriel Pereira Monteiro

1. Adobe. 2. Cal hidratada. 3. Adobe com adição de cal hidratada. 4. Déficit habitacional. 5. Ensaios. I. Resgala, Glaucio Aziz Tureta. II. Silva, Marcus Vinicius de Lacerda. I. Título.

CDD: 624

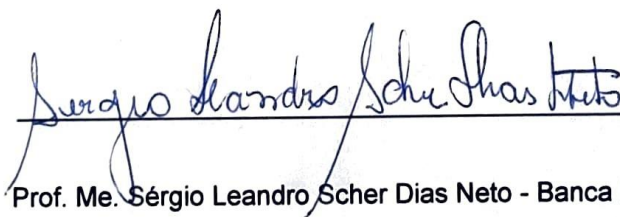
TERMO DE APROVAÇÃO
GLAUCCO AZIZ TURETTA RESGALA
MARCUS VINÍCIUS DE LACERDA SILVA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO TIJOLO ADOBE COM ADIÇÃO DE CAL
HIDRATADA**

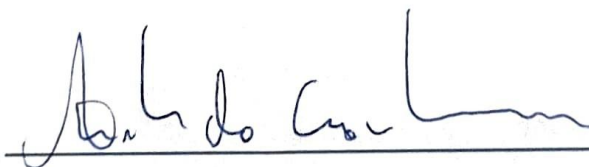
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Me. Gabriel Pereira Monteiro – Orientador



Prof. Me. Sérgio Leandro Scher Dias Neto - Banca Membro 1



Prof. Me. Arlan do Carmo Mendonça - Banca Membro 2

NOTA: 99

Muriae-MG, 13 de dezembro de 2022

RESGALA, Glaucio Aziz Turetta; SILVA, Marcus Vinícius de Lacerda. **Estudo das Propriedades do Tijolo Adobe com Adição de Cal Hidratada**. 2022. 80. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil. Centro Universitário FAMINAS.

RESUMO

Atualmente o Brasil conta com significativo patrimônio arquitetônico em adobe, pois até meados do século passado, muitas construções eram feitas com os tijolos crus, sobretudo na Região Nordeste do País. O adobe, em virtude de seu fácil manuseio e produção, se destaca como uma das formas mais econômicas e ecologicamente viáveis para construção. Esta técnica foi difundida, principalmente, para suprir a necessidade de moradias em regiões onde o déficit habitacional se tornou um problema socioeconômico. Recentemente, a padronização para confecção deste tipo de tijolo recebeu amparo por meio da normatização ABNT NBR 16814:2020. Este trabalho propõe a análise comparativa entre o tijolo adobe tradicional e o adobe com adição de cal hidratada com proporção de 5 e 10% em sua composição. Para isso, foram realizados diversos ensaios de análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão axial dos tijolos, bem como limite de liquidez e plasticidade, granulometria e índice de plasticidade do solo. Os resultados obtidos indicam que a adição de cal hidratada confere homogeneidade à mistura, tornando o aspecto visual do tijolo mais agradável, entretanto, não apresentou melhora significativa em relação a resistência característica à compressão do tijolo.

Palavras-chave: adobe; cal hidratada; adobe com adição de cal hidratada; déficit habitacional; ensaios.

RESGALA, Glaucoco Aziz Turetta. SILVA, Marcus Vinicius de Lacerda. **Study of the Properties of Adobe Brick with Hydrated Lime Addition**. 2022. 80. Completion of Course Work Bachelor's degree in Civil Engineering. University Center FAMINAS.

ABSTRACT

Currently, Brazil has a significant architectural heritage in adobe, as until the mid-last century, many constructions were made with raw bricks, especially in the Northeast Region of the country. Adobe, due to its easy handling and production, stands out as one of the most economical and environmentally viable forms of construction. This technique was mainly disseminated to meet the need for housing in regions where the housing deficit has become a socioeconomic problem. Recently, standardization for making this type of brick has been supported by the ABNT NBR 16814:2020 standard. This work proposes a comparative analysis between the traditional adobe brick and the adobe with the addition of hydrated lime with a proportion of 5 and 10% in its composition. To this end, several dimensional analysis, water absorption and axial compression resistance tests of the bricks were carried out, as well as liquid limit and plasticity, granulometry and plasticity index of the soil. The results obtained indicate that the addition of hydrated lime confers homogeneity to the mixture, making the visual aspect of the brick more pleasant, however, it did not show a significant improvement in relation to the characteristic compressive strength of the brick.

Keywords: adobe; hydrated lime; adobe with addition of hydrated lime; housing deficit; tests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Tijolos adobe sendo moldados e expostos ao sol para secagem natural . | 15 |
| Figura 2 - Igreja Matriz de Nossa Senhora de Nazaré | 16 |
| Figura 3 - Casa no interior de Minas Gerais, com adobe exposto..... | 17 |
| Figura 4 - Dimensões externas do tijolo adobe | 18 |
| Figura 5 - Dimensões dos furos internos no tijolo adobe | 19 |
| Figura 6 - Ciclo produtivo da cal..... | 23 |
| Figura 7 - Local de extração do solo | 29 |
| Figura 8 - Projeto de Locação dos furos de sondagem SPT..... | 30 |
| Figura 9 - Sondagem do ponto de coleta do solo..... | 30 |
| Figura 10 - (a) Peneiras para processo de peneiramento; (b) balança com precisão de 0,01g. | 33 |
| Figura 11 - (a) Estufa; (b) Agitador mecânico de peneiras..... | 33 |
| Figura 12 - Quantidade de amostra para análise granulométrica..... | 34 |
| Figura 13 - Solo utilizado para peneiramento..... | 34 |
| Figura 14 - (a) Peneira de 2,00 mm; (b) Material passante na peneira de 2,00 mm. | 35 |
| Figura 15 - Material retido na peneira de 2,00 mm..... | 35 |
| Figura 16 – (a) Material tomado para ensaio de granulometria e (b) de umidade..... | 36 |
| Figura 17 - (a) Montagem das peneiras no agitador mecânico; (b) Material retidos nas peneiras..... | 36 |
| Figura 18 - Quantidade de material a ser tomado..... | 37 |
| Figura 19 - Materiais tomados para ensaio de umidade | 37 |
| Figura 20 - Material utilizado no ensaio de determinação do limite de liquidez..... | 40 |
| Figura 21 - Material passante na peneira de 0,425mm | 41 |
| Figura 22 - Mistura homogênea do material com água destilada..... | 41 |
| Figura 23 - Conferência da espessura da massa de solo com auxílio do cinzel | 42 |
| Figura 24 - Divisão da massa de solo em duas partes..... | 42 |
| Figura 25 - Aspecto da massa de solo após golpeamento..... | 43 |
| Figura 26 - Adaptação feita para um gabarito de 3mm | 44 |
| Figura 27 - Execução ensaio de Limite de Plasticidade | 45 |
| Figura 28 - Finalização da coleta de amostras do ensaio LP..... | 45 |
| Figura 29 - Classificação do solo de acordo com o índice de plasticidade | 46 |
| Figura 30 - Forma utilizada para confecção dos tijolos | 47 |
| Figura 31 - Tijolo após moldagem e acabamento superficial | 48 |
| Figura 32 - (a) Tijolos após desforma; (b) tijolo exposto ao sol em processo de secagem..... | 49 |
| Figura 33 - Dimensões para definição da dimensão média do tijolo | 51 |
| Figura 34 - Capeamento realizado com pasta de cimento nos corpos de prova..... | 52 |
| Figura 35 - Medição das dimensões da seção de ruptura do corpo de prova | 53 |
| Figura 36 - Corpo de prova T5 antes do rompimento..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 37 - Rompimento feito e registrado a carga máxima..... | 54 |
| Figura 38 - Corpos de prova adaptados..... | 56 |
| Figura 39 - Pesagem dos corpos de prova | 56 |
| Figura 40 - Corpos de prova imersos totalmente em água | 57 |
| Figura 41 - Curva Granulométrica | 58 |
| Figura 42 - (a) Presença de rachadura no tijolo; (b) Tijolo com superfície homogênea. | 63 |
| Figura 43 - Corpo de prova T10 após rompimento..... | 66 |
| Figura 44 - Corpos de prova pós-ensaio de absorção de água | 67 |
| Gráfico 1 – Número de golpes por unidade para determinação de LL | 60 |
| Gráfico 2 - Resistência Característica à Compressão..... | 65 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 1 – Determinação umidade higroscópica..... | 38 |
| Equação 2 – Massa total da amostra seca..... | 38 |
| Equação 3 – Porcentagem de material passante na peneira..... | 39 |
| Equação 4 – Altura média do tijolo..... | 50 |
| Equação 5 – Largura média do tijolo..... | 50 |
| Equação 6 – Comprimento médio do tijolo..... | 50 |
| Equação 7 – Área da seção de ruptura..... | 52 |
| Equação 8 – Resistência à compressão do corpo de prova..... | 54 |
| Equação 9 – Resistência característica à compressão do tijolo adobe..... | 55 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Déficit habitacional segundo regiões do Brasil em 2019 | 11 |
| Tabela 2 - Umidade higroscópica..... | 59 |
| Tabela 3 - Massa da amostra seca | 59 |
| Tabela 4 - Resultados material passante pelas peneiras..... | 60 |
| Tabela 5 - Resultados para determinação da plasticidade do solo | 61 |
| Tabela 6 - Composição dos tijolos fabricados (g)..... | 62 |
| Tabela 7 - Dimensões dos tijolos fabricados | 62 |
| Tabela 8 - Dimensões médias dos adobes | 62 |
| Tabela 9 - Dimensões e determinação da área de ruptura do lote 1..... | 64 |
| Tabela 10 - Dimensões e determinação da área de ruptura do lote 2..... | 64 |
| Tabela 11 - Dimensões e determinação da área de ruptura do lote 3..... | 64 |
| Tabela 12 - Carga de ruptura registrada na prensa hidráulica | 64 |
| Tabela 13 - Carga de ruptura convertida em Newton..... | 64 |
| Tabela 14 - Resistência à Compressão dos CP ensaiados | 65 |
| Tabela 15 - Determinação da Resistência Característica à Compressão do adobe (MPa) | 65 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|----------|---------------------------------------|
| BTC | Bloco de Terra Comprimida |
| BTA | Bloco de Terra Artesanal |
| cm | centímetro |
| f_{ca} | resistência à compressão da argamassa |
| m | metro |
| mm | milímetro |
| MPa | megapascal |
| N | Newton |
| NBR | Norma Brasileira de Regulamentação |
| Tnf | toneladas força |
| SPT | <i>Standard Penetration Test</i> |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABCP | Associação Brasileira dos Produtores de Cal |
| FJP | Fundação João Pinheiro |
| MG | Minas Gerais |

LISTA DE ACRÔNIMOS

| | |
|--------|--|
| IPHAN | Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| OTAN | Organização do Tratado do Atlântico Norte |
| CEPLAC | Centro de Pesquisas do Cacau em Itabuna |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 13 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 4.1 ADOBE | 15 |
| 4.1.1 História do Tijolo Adobe | 15 |
| 4.1.2 Adobe no Contexto Brasileiro | 16 |
| 4.1.3 A Normatização do Adobe | 17 |
| 4.1.3.1 Forma e dimensões do tijolo adobe | 18 |
| 4.1.3.2 Especificações do tijolo adobe | 20 |
| 4.1.4 Vantagens e Desvantagens do Adobe | 20 |
| 4.1.5 O Uso do Adobe com Adição em Projetos Similares | 21 |
| 4.2 A CAL | 22 |
| 4.2.1 Aplicação e Propriedades da Cal | 24 |
| 4.2.2 Teores e Impactos da Cal no Solo | 25 |
| 4.2.3 O uso da cal como adição | 26 |
| 5 METODOLOGIA | 28 |
| 5.1 METODOLOGIA GERAL | 28 |
| 5.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL | 28 |
| 5.2.1 Coleta do Solo | 29 |
| 5.2.2 Ensaio de Caracterização do Solo | 31 |
| 5.2.2.1 Ensaio de determinação da composição granulométrica | 32 |
| 5.2.2.1.1 <i>Granulometria</i> | 37 |
| 5.2.2.1.2 <i>Determinação da umidade higroscópica</i> | 38 |
| 5.2.2.1.3 <i>Determinação da massa total da amostra seca</i> | 38 |
| 5.2.2.1.4 <i>Determinação das porcentagens de materiais que passam nas peneiras</i> | 39 |
| 5.2.2.2 Ensaio de determinação do Limite de Liquidez (LL) | 39 |
| 5.2.2.3 Ensaio de determinação do Limite de Plasticidade (LP) | 44 |
| 5.2.2.4 Índice de Plasticidade | 46 |
| 5.2.3 Produção dos Tijolos Adobe | 46 |
| 5.2.3.1 Confeccção e preparação das formas | 46 |
| 5.2.3.2 Local de fabricação dos tijolos | 47 |
| 5.2.3.3 Preparação do solo e dosagem da adição | 47 |
| 5.2.3.4 Amassamento e confeccção dos tijolos | 48 |
| 5.2.3.5 Desforma e secagem dos tijolos | 49 |
| 5.2.4 Ensaio de Caracterização Física e Dimensional dos Tijolos de Adobe | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.5 Ensaio de Resistência à Compressão do Adobe..... | 51 |
| 5.2.6 Ensaio de Absorção de Água..... | 55 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 58 |
| 6.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA..... | 58 |
| 6.1.1 Granulometria | 58 |
| 6.1.2 Umidade Higroscópica..... | 59 |
| 6.1.3 Massa Total da Amostra Seca..... | 59 |
| 6.1.4 Porcentagem de Material Passante nas Peneiras | 60 |
| 6.2 LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE E ÍNDICE DE PLASTICIDADE..... | 60 |
| 6.3 COMPOSIÇÃO E DIMENSÕES DOS TIJOLOS..... | 62 |
| 6.4 CARACTERIZAÇÃO VISUAL DOS TIJOLOS..... | 63 |
| 6.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS..... | 63 |
| 6.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO D'ÁGUA..... | 66 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 68 |
| 8 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS..... | 69 |
| REFERÊNCIAS..... | 70 |
| ANEXO A - LAUDO SONSAGEM SPT | 73 |

1 INTRODUÇÃO

Dado o foco atual em construções ecologicamente sustentáveis, ecovilas e bioarquiteturas, o adobe parece ser uma opção importante na construção de baixo custo pois economiza custos de transporte quando há terreno suficiente no canteiro de obras. Para produção do adobe não é necessária mão de obra especializada; possui excelente conforto térmico; e não consome energia elétrica para fabricá-lo. Seu consumo de água de produção é sessenta vezes menor que o do cimento. Não produz vapores poluentes e não é perigoso durante o manuseio. No entanto, trata-se de um produto artesanal e, dependendo da composição que entra em contato com a água, está sujeito a desgaste e erosão.

De acordo com o Relatório de Déficit Habitacional no Brasil de 2016-2019 elaborado pela Fundação João Pinheiro – MG em janeiro de 2020, o déficit habitacional estimado no país em 2019 foi de 5,876 milhões de domicílios, sendo 5,044 milhões em área urbana e 832 mil em área rural (FJP-MG, 2020). A região com maior déficit habitacional apresentada é a Sudeste, somando um déficit de 2,287 milhões de domicílios, e por último, a região Centro-Oeste, com 472 mil, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Déficit habitacional segundo regiões do Brasil em 2019

| Região | Urbano | Rural | Total | Relativo (%) |
|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------------|
| Norte | 522.599 | 197.039 | 719.638 | 12,9 |
| Nordeste | 1.318.326 | 460.639 | 1.778.965 | 9,2 |
| Sudeste | 2.202.023 | 85.098 | 2.287.121 | 7,2 |
| Sul | 571.291 | 47.582 | 618.873 | 5,6 |
| Centro-Oeste | 430.084 | 42.018 | 472.102 | 8,4 |
| Brasil | 5.044.323 | 832.376 | 5.876.699 | 8,0 |

Fonte: Fundação João Pinheiro (2020) – Adaptado.

Ao expor separadamente os componentes do déficit, foi possível observar que entre os anos de 2016 e 2019 houve um crescimento de habitações precárias em 4,6% ao ano, sendo influenciado pelo aumento de domicílios improvisados em 13,6% ao ano, porém minorado pela redução de 2,9% ao ano dos domicílios rústicos.

Várias alternativas podem ser apontadas para reduzir a falta de moradia no país. Alcançar esse objetivo, no entanto, requer muito dinheiro. Além disso, vários

fatores dificultam a implementação de ações voltadas para a habitação em massa, principalmente nas áreas rurais. Entre eles, a logística de materiais e peças que envolvem tais cidades é particularmente destacada. Longas distâncias, falta de transporte e água e falta de materiais de construção são apenas alguns dos fatores que impossibilitam a engenharia nesses locais. Portanto, de acordo com a herança cultural da região, o uso de tecnologia antiga, mas funcional e rápida, ajudará muito a reduzir a pobreza no Brasil. Uma delas é a utilização de terra bruta na construção por meio de um programa global estruturado e estrategicamente capaz de promover o desenvolvimento econômico e sustentável.

Entre suas vantagens, o adobe regula a umidade do ambiente para proporcionar um conforto térmico maior. Sua produção economiza muito o consumo de energia e, assim, contribui para a proteção ambiental. No entanto, deficiências também devem ser consideradas neste sistema construtivo. Entre eles, destacam-se a permeabilidade do material e a dificuldade de encontrar terreno adequado, afinal, a geologia do terreno é muito importante para verificar se ele pode ser construído na sua superfície durante o processo de secagem (PISANI, 2007).

Atualmente, a busca por materiais alternativos está em constante evolução, impulsionada pela necessidade de encontrar novas formas de produzir bens, ao invés de explorar fontes escassas de matérias-primas. No entanto, ao se utilizar um novo material, é necessário compreender suas propriedades para que se possa saber o impacto de sua aplicação nos produtos constituintes da construção civil, como atividade biológica, propriedades mecânicas, eletrônicas, magnéticas, ópticas, químicas, calor, imunogenicidade ou mesmo uma combinação de duas ou mais dessas propriedades.

De acordo com Cristelo (2001), a estabilização de solos com cal produz melhorias significativas na textura e estrutura do solo, originando aumentos na resistência mecânica.

A cal é usada com o propósito de unir e revestir as alvenarias, devido à plasticidade e durabilidade que acrescenta às argamassas. Deve-se ter bastante cautela ao se comprar e até mesmo no preparo, para que sejam evitados problemas como rachaduras e desprendimentos (BEZERRA, 2010). A cal hidratada possui várias propriedades que favorecem a sua utilização como, por exemplo, a trabalhabilidade, boa aderência, rendimento, retenção de água, durabilidade, ação bactericida, entre outros (TEIXEIRA, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o efeito da adição da cal hidratada nas propriedades de um tijolo adobe, composto de terra crua (silte, areia e argila).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a obtenção do objetivo geral, serão realizados estudos e processos mais específicos, necessários para enriquecer o trabalho. Entre eles, pode-se destacar os seguintes itens:

- a) apresentar, baseando-se na literatura utilizada, a situação habitacional no país e a notoriedade de construções que utilizam a terra crua em sua estrutura, focando os estudos para os tijolos de adobe com adição de cal;
- b) realizar ensaios de caracterização do solo;
- c) realizar ensaios de resistência mecânica à compressão nos tijolos de adobe, baseando-se nas normas vigentes;
- d) realizar ensaios de absorção de água;
- e) comparar a viabilidade técnica entre o tijolo de adobe convencional e o adicionado com cal.

3 JUSTIFICATIVA

Visando soluções para minimizar o déficit habitacional, a degradação ambiental e o custo das obras e gerar novos materiais para a construção civil, este estudo propõe uma análise do comportamento dos tijolos de adobe tradicional em relação aos adobes com a cal incorporada, respondendo a critérios técnicos, econômicos e ambientais.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ADOBE

Construção em adobe é um processo utilizado nas antigas civilizações, trata-se de um sistema milenar, datado de cerca de cinco a dez mil anos, de acordo com a literatura. Conforme a Bíblia (Bíblia, 1999 apud Oliveira, 2003), são encontradas várias referências a tijolos de barro cozidos e de terra crua, basicamente formados por argila e areia. Esse sistema construtivo é composto por várias técnicas, como: taipa de pilão, pau-a-pique, pães de barro e adobe, principal material utilizado em construções em terra no Brasil.

4.1.1 História do Tijolo Adobe

De acordo com Barbosa e Ghavami (2010), o solo foi um dos primeiros materiais de construção utilizado pelo homem. Data-se que há cerca de 10 mil anos começaram as primeiras edificações para abrigar o homem das intempéries, com a utilização de solo, pedras, madeiras e palhas. O tijolo em si data de uma época muito distante, portanto suas origens não podem ser definidas com precisão (MESQUITA, 2007, p.05).

Do árabe “thobe”, que significa barro, adobe é datado em mais de 5 mil anos, e é derivado da taipa de pilão e o pau-a-pique, que também são materiais a base de terra crua (STRINGUETO, 2013). A Figura 1 ilustra o adobe em seu processo de fabricação manual.



Figura 1 - Tijolos adobe sendo moldados e expostos ao sol para secagem natural
Fonte: Blog Qualidade Online (2020)

O tijolo adobe é um dos materiais de construção mais antigos e mais utilizados do mundo, sendo ele o antecessor do tijolo cerâmico, abundantemente utilizado pelos povos do Crescente Fértil, especialmente no antigo Egito e na Mesopotâmia. Os nativos desses lugares muitas vezes recorreram ao adobe para seu trabalho, sendo documentados túmulos egípcios de faraós e templos mesopotâmicos com alguma estabilidade até hoje (PET CONSTRUÇÃO CIVIL, 2020).

4.1.2 Adobe no Contexto Brasileiro

De acordo com a NBR 16814 (ABNT, 2020) recém-lançada, o Adobe chegou ao Brasil no século XVI, através de colonizadores portugueses.

No Brasil, o sistema construtivo com terra foi introduzido e amplamente utilizado durante o período colonial entre os séculos XVI e XVIII, devido à influência da arquitetura característica que era popular em Portugal na época, e devido à influência do povo africano que foram trazidos como escravos, pois não há indicação de que indígenas usaram a terra como material de construção (BARBOSA E GHAVAMI, 2007; SALGADO, 2010; SILVA, 2011; apud SANTOS e BESSA, 2020).

A Figura 2 corresponde à Igreja Matriz de Nossa Senhora de Nazaré, localizada no distrito de Santa Rita Durão, pertencente ao município de Mariana - MG. Além do adobe, foram utilizadas madeiras e taipa em sua construção. Data-se a construção da igreja no século XVIII, mais precisamente no ano de 1729 (IPHAN, 1945).



Figura 2 - Igreja Matriz de Nossa Senhora de Nazaré
Fonte: Sanctuaria.art (2021)

O uso do tijolo adobe se concentrou nas regiões mais quentes e secas do país, como o norte de Minas Gerais e interior da Bahia e Goiás, pois tem como vantagem sua capacidade de proporcionar um ambiente interno mais fresco, por conta de sua rápida absorção e dispersão da umidade (INSON, 2021). A Figura 3 representa a construção feita de tijolos adobe, localizada no interior de Minas Gerais.



Figura 3 - Casa no interior de Minas Gerais, com adobe exposto
Fonte: Barroso (2016)

4.1.3 A Normatização do Adobe

A normatização do Adobe contribui com a ampliação de alternativas de materiais e técnicas de construção, principalmente para produção de habitação de interesse social, especialmente em regiões nas quais existe a tradição de uso do adobe como material de construção, como forma de qualificar esta prática.

A NBR 16814 (ABNT, 2020) estabelece os requisitos para a produção de adobe e execução da alvenaria, além dos métodos de ensaio para sua caracterização física e mecânica.

O adobe é composto basicamente por terra crua e água, podendo possuir algum tipo de estabilizante em geral. Para a produção de elementos de alvenaria em adobe, o solo areno-argiloso deve estar em estado plástico firme (barro), moldado em fôrmas vazados nas partes superior e inferior, desmoldado logo em seguida e então deixado para secagem natural sob o sol. Por fim, são armazenados em pilhas, em local protegido de intempéries. Para seu emprego, o adobe deve estar seco, livre

de materiais estranhos, trincas ou outros defeitos que possam comprometer sua resistência ou durabilidade (ABNT, 2020).

4.1.3.1 Forma e dimensões do tijolo adobe

Recomenda-se que o adobe tenha a forma externa de um paralelepípedo retangular, sendo suas dimensões nominais ajustadas às seguintes condições, de acordo com a Figura 4:

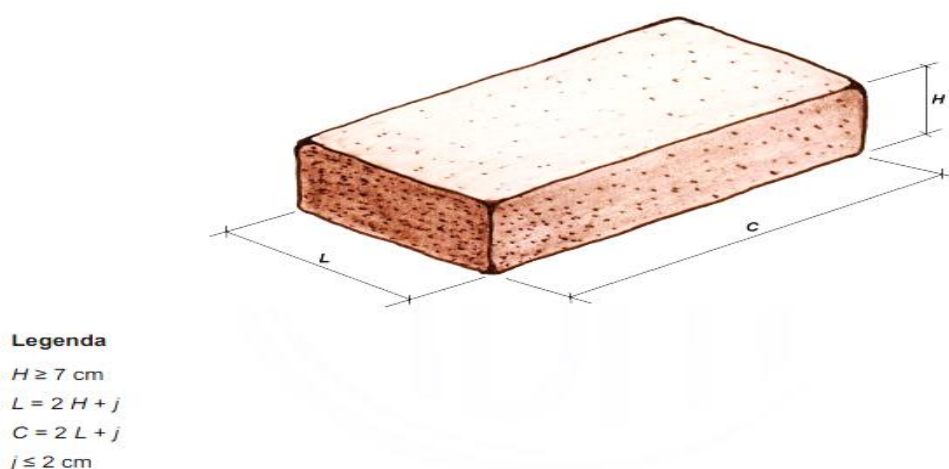


Figura 4 - Dimensões externas do tijolo adobe
Fonte: ABNT (2020)

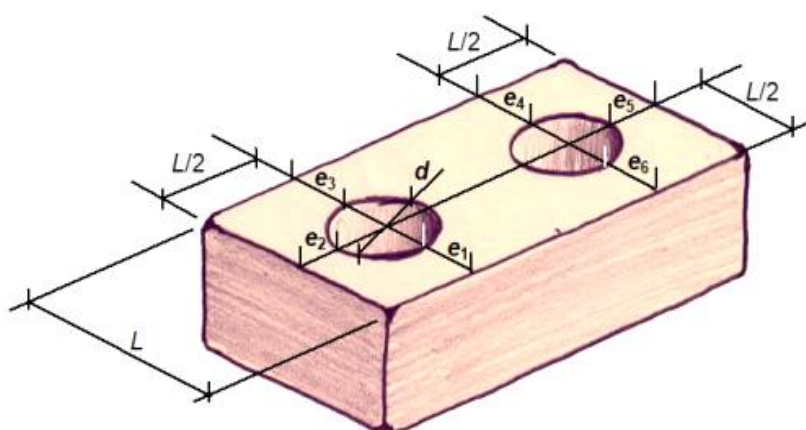
- Comprimento do adobe (C), correspondente à maior dimensão das faces de assentamento, preferencialmente igual ao dobro da largura (L), sendo acrescida de uma vez a espessura da junta vertical de assentamento (j);
- Altura do adobe (H), correspondente à distância entre as faces de assentamento, preferencialmente igual à metade da largura e maior ou igual a 7 cm.

Para as dimensões efetivas do adobe são admitidas as seguintes tolerâncias, com relação às dimensões nominais: a tolerância de dimensões individuais efetivas do adobe, para H, L e C, estabelecidas é de $\pm 5 \text{ mm}$.

A NBR 16814:2020, ainda afirma que para atender às necessidades específicas de projeto, por exemplo, paredes curvas ou formação de ângulos diferentes de 90° entre si, é permitida a produção de adobes com formatos

especiais, desde que sejam asseguradas as mesmas características físicas e mecânicas dos demais adobes de uma mesma edificação.

O adobe deve ser maciço, sendo permitidos um ou dois furos perpendiculares à face de assentamento, para passagem de tubulações ou grauteamento para reforço estrutural (ABNT NBR 16814, 2020). O diâmetro do furo (d) deve ser de no máximo metade da largura do adobe, conforme a Figura 5.



Legenda

$$d \leq L/2$$

$$e_1 = e_2 = e_3 = e_4 = e_5 = e_6 = e$$

$$e \geq L/4$$

Figura 5 - Dimensões dos furos internos no tijolo adobe
Fonte: ABNT (2020)

As dimensões empregadas para a produção artesanal são bem variadas. Ortega (1983) refere-se a 29 x 9 x 9 cm e 30 x 15 x 15 cm usados em Benin, África. Milanez (1958) cita adobes de 40 x 20 x 10 cm com 12,6 kg e 25 x 12 x 8 cm com 2,5 kg. No México, as medidas usuais são 38 x 38 x 8 cm e 39 x 18 x 18 cm e 40 x 20 x 15 cm, como cita Williams-Ellis & Eastwick-Field (1950). Rodrigues (1980) define 30 x 15 x 15 cm; o arquiteto egípcio Hassan Fathy indica 25 x 15 x 6 cm; Lavinsky et al. (1998) usaram formas dos tamanhos 23 x 11 x 7 cm e 23 x 11 x 10 cm em pesquisa desenvolvida no CEPLAC (Centro de Pesquisas do Cacau em Itabuna).

4.1.3.2 Especificações do tijolo adobe

A resistência à compressão individual do adobe (f_{ca}) deve ser $\geq 1,5$ MPa e o assentamento do mesmo deve ser executado com amarração direta no plano da parede.

A espessura mínima da alvenaria exclusivamente de vedação deve ser de 15 cm; a espessura da alvenaria estrutural de edificações térreas deve ser de 20 cm. A alvenaria do pavimento térreo de edificações de dois pavimentos deve ter espessura mínima de 30 cm.

A composição granulométrica da terra, determinada conforme as NBR 6457 - Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios (ABNT, 2016) de caracterização e NBR 7181 - Solo – Análise granulométrica (ABNT, 2016), deve atender preferencialmente aos seguintes parâmetros: (i) areia: entre 45 % e 65 %; (ii) silte: até 30 %; e, (iii) argila: entre 25 % e 35 %. Além disso, a NBR 16814 cita que não se deve utilizar solos orgânicos (ou contendo matéria orgânica em decomposição) ou com comportamento expansivo (ABNT, 2020).

Martinez (1979) define 20% de argila e 40 a 55% de areia. Alves (1985) considera argila menor que 20% e areia superior a 45%. Já Hernandez et al. (1983) definem a porcentagem ideal de areia para os adobes próxima de 50%, silte, 30% e argila, 20%. Portanto é fundamental que o solo seja analisado por meio de testes de campo e laboratório para verificar a necessidade ou não da correção granulométrica com areia.

4.1.4 Vantagens e Desvantagens do Adobe

Inson (2021) e Redação Pensamento Verde (2013) apontam diversas vantagens e desvantagens do tijolo adobe em seu uso na construção de imóveis. Algumas vantagens que são mais relevantes:

- a) é feito de material 100% ecológico e sustentável, e reutilizável, já que o tijolo não é cozido, podendo ser fragmentado e molhado, voltando ao seu estado natural, o barro;

- b) o uso deste tipo de material é mais econômico quando comparado com outros tipos de tijolos, já que não demanda de recursos industriais, como por exemplo fornos, mão de obra especializada, energia etc.;
- c) casas feitas de tijolo adobe podem absorver e dispersar mais umidade se comparado ao tijolo cozido e que proporciona um melhor conforto térmico interno;
- d) demanda de pouca manutenção. Quando bem executada a construção, pode durar por mais de 10 anos;
- e) a construção em tijolo adobe é ininflamável, já que o barro não é combustível.

Entretanto, há também várias desvantagens que podem ser de importância para conhecimento, como:

- a) existe possibilidade da falta de padronização nos tijolos, de acordo com a terra que for utilizada, já que há variação na quantidade e tipo de areia, argila e outros agregados presentes dependendo do local que é extraída;
- b) o processo de construção é mais demorado quando comparado com outros materiais, já que o processo de secagem é sob a luz do sol, pois deve-se manter o tijolo úmido para que não seque rápido demais, devido a aparição de fissuras;
- c) possui baixa resistência à tração e à flexão, em comparação aos blocos cerâmicos e de concreto;
- d) não é indicado o uso em locais que possuem altos índices de umidade, já que o tijolo adobe absorve muita água devido a sua porosidade.

4.1.5 O Uso do Adobe com Adição em Projetos Similares

Millogo et al. (2008) estudaram a influência da adição de cal a solos argilosos para fabricação de blocos de adobe, concluindo que a utilização de 10%

de cal maximiza a resistência à compressão e minimiza a absorção de água dos blocos de adobe. De acordo com os autores, a adição de percentagens crescentes de cal induz a formação de compostos visíveis ao nível da microestrutura de calcite e fases de CSH, formadas a partir da reação entre a cal e o quartzo (sílica) do solo. Já quando a percentagem de cal sobe para 12% há formação de portlandite.

Pinheiro (2009) fez testes do adobe adicionando fibras naturais de coco verde em cerca de 10% do volume total. Analisando os resultados dos testes feitos pelo autor, conclui-se que o corpo de prova com adição teve uma resistência à compressão maior que 37% comparando com o adobe convencional, confirmando a maior eficiência e melhor qualidade dos tijolos com adições quando comparados aos tijolos de adobe convencionais.

Inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos com a mistura dos mais diversos estabilizantes como cimento, cloreto de cálcio, borra de carbureto, cinzas de bagaço de cana e outros. Rolim & Freire (1998), que estudaram o aproveitamento do material solo-vinhaça concentrada e sua possível utilização na fabricação de tijolos prensados (BTC), encontraram resultados de resistência à compressão de 1,92 MPa para solo arenoso e 1,7 MPa para solos argilosos.

4.2 A CAL

A NBR 7175 (ABNT, 2003) define a cal hidratada como sendo um pó seco proveniente da hidratação da cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ou de uma mistura de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e hidróxido de magnésio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), ou também, de uma mistura de $\text{Mg}(\text{OH})_2$ e óxido de magnésio (MgO), sendo designada de acordo com os teores de óxido não hidratados e de carbonatos.

O homem teria descoberto a cal possivelmente no início da Idade da Pedra – no Período Paleolítico (SILVA, 2006).

Existem indícios da utilização da cal em algumas zonas da atual Turquia que remontam a um período entre 12.000 e 5.000 A.C (MILLER, 1999; ELSEN, 2006).

Ruínas com solo argiloso estabilizado com cal foram encontradas na construção da Pirâmide de Shersi no Tibet que datam de 5000 A.C. Alguns autores referem casos concretos de utilização da cal que datam de 4000 A.C (BOYNTON, 1980; ZACHAROPOULOS, 1998).

Análises feitas nos materiais utilizados no revestimento das câmaras da Pirâmide de Quéops e nas juntas dos blocos de calcário e granito da Pirâmide de Quéfren também revelaram a presença de cal (COWAN, 1977; GUIMARÃES, 2002).

Estruturas de alvenaria de blocos de solo-cal e argamassas à base de cal, são comuns nas construções da América Central. As ruínas da cidade de Chanchán no Peru constituem um dos mais antigos conjuntos arquitetônicos feitos com terra (ALEXANDRA, 2006).

A matéria-prima, a partir da qual se obtêm os produtos à base de cal, é a pedra calcária, composta quase exclusivamente por carbonato de cálcio (CaCO_3) e por um certo número de outros constituintes em quantidade mais ou menos variável. Para se produzir cal aérea de boa qualidade, é necessário que o calcário utilizado seja o mais puro possível, isto é, deve apresentar uma elevada percentagem de carbonato de cálcio. A sílica e os óxidos de ferro e de alumínio são as impurezas que acompanham os carbonatos, em maior ou menor grau, na constituição das rochas calcárias. Nestas rochas, o carbonato de cálcio é, frequentemente, substituído, em determinada proporção, pelo carbonato de magnésio que não constitui uma impureza propriamente dita (COUTINHO, 2006).

De forma geral, a produção da cal virgem passa pelas seguintes etapas: mineração do calcário, britagem, calcinação e moagem, como mostra a Figura 6. Já a produção da cal hidratada agrega as fases de separação ou moagem, hidratação e moagem.

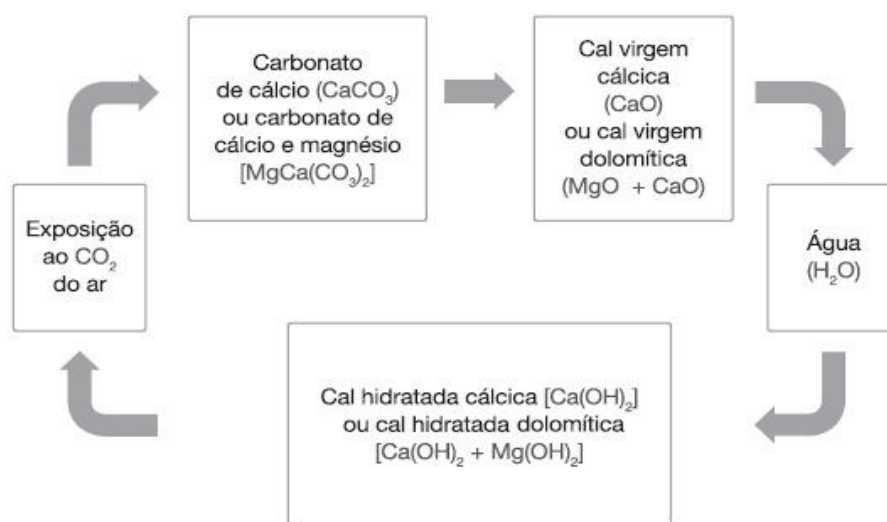


Figura 6 - Ciclo produtivo da cal
 Fonte: L.A. Falcão Bauer (2019) – Adaptado

4.2.1 Aplicação e Propriedades da Cal

De acordo com Cristelo (2001), a estabilização de solos com cal produz melhorias significativas na textura e estrutura do solo, reduzindo a plasticidade e originando aumentos na resistência mecânica.

O conceito de melhoramento ou estabilização dos solos através de reações químicas entre as partículas de solo, a água dos vazios e os materiais adicionados é semelhante tanto para o cimento como para a cal, porém os efeitos da estabilização com cal são mais rápidos do que os da estabilização com cimento (CRISTELO, 2001).

Green et al. (1999) comprovaram a elevada capacidade de retenção de água das argamassas de cal, quando comparadas com argamassas de cimento. Estes autores observaram que a adição de uma pequena quantidade de cimento a argamassas à base de cal reduz de forma significativa a capacidade de retenção de água destas.

De acordo com a ABPC – Associação Brasileira dos Produtores da Cal, das muitas aplicações que a cal tem no Brasil, as principais são nas áreas das indústrias: Siderúrgicas – como fluxo, aglomerante e carga de pelotização; Celulose e papel – para regenerar a soda cáustica e para branquear as polpas de papel; Açúcar – na remoção dos compostos fosfáticos, dos compostos orgânicos e na clarificação; Álcalis – para recuperar a soda e a amônia; Tintas – como pigmento e incorporante de tintas à base de cal e como pigmento para suspensões em água, destinadas às “caiações”; Alumínio – como regeneradora da soda;

A amplitude da utilização da cal passa pela confecção de argamassas para assentamento de alvenarias, execução de betonilhas para regularização de pavimentos e para revestimentos de alvenarias interiores e exteriores. Seja como único ligante, em mistura com outros ligantes aéreos (gesso), hidráulicos (cimento Portland) ou com aditivos pozolânicos, as argamassas com cal constituem um material de elevada versatilidade, plásticas e trabalháveis enquanto frescas e possuidoras de uma certa rigidez após o endurecimento.

A cal é usada com o propósito de unir e revestir as alvenarias, devido à durabilidade que acrescenta às argamassas. Deve-se ter bastante cautela ao se comprar e até mesmo no preparo, para que sejam evitados problemas como

rachaduras e desprendimento (BEZERRA, 2010). A cal hidratada possui várias propriedades que favorecem a sua utilização como, por exemplo, a trabalhabilidade, boa aderência, rendimento, retenção de água, durabilidade, ação bactericida, entre outros (TEIXEIRA, 2013).

Segundo Valenciano (1999) a adição de cal ao solo provoca floculação de suas partículas e, conseqüentemente, alterações nas suas propriedades geotécnicas, como: aumento do limite de plasticidade e diminuição do limite de liquidez e do índice de plasticidade; achatamentos das curvas de compactação com aumento do teor de umidade ótima e diminuição do peso específico aparente seco máximo, além de aumento da resistência, durabilidade e estabilidade volumétrica.

A cal apresenta pouco efeito em solos altamente orgânicos e em solos com pouca ou nenhuma quantidade de argila. É mais eficiente em solos argilosos, podendo ser mais efetivo que o cimento em pedregulhos argilosos (INGLES & METCALFT, 1972 apud LOPES JUNIOR, 2007).

4.2.2 Teores e Impactos da Cal no Solo

Para a realização de uma mistura solo-cal para modificação ou estabilização de solos, é necessário encontrar o teor em cal mais adequado para a situação em estudo e depois determinar as propriedades da mistura e a sua alteração ao longo do tempo.

O teor ótimo em cal depende da futura aplicação do material estabilizado, pois há uma grande variedade de teores, que podem ser adotados em função das propriedades requeridas. Estas podem ter como objetivo a diminuição da plasticidade e o aumento da trabalhabilidade – melhoramentos – ou a realização de alterações definitivas com efeitos na resistência da mistura – estabilizações. Para a dosagem das misturas solo-cal determinam-se os limites de consistência, a granulometria e a classificação e realizam-se ensaios de compactação, resistência e durabilidade para cada solo. Para a escolha final da mistura realizam-se ensaios de resistência e durabilidade, todavia os critérios mínimos adotados são variáveis. Em climas frios, por exemplo, a durabilidade é a maior exigência (CASTRO E SERAFIM, 1974).

O teor em cal a usar na estabilização dos solos, deve ser sempre da ordem de 3 a 10%, contudo, deve ser determinado em cada caso. A utilização de quantidades superiores não é econômica e nem necessária, mas nunca se deve utilizar menos de 3%, pois mesmo que em laboratório se tenha obtido as modificações pretendidas com um teor inferior, as condições de mistura na obra são sempre mais imperfeitas.

Quando os teores em cal usados são elevados, a durabilidade das misturas é maior, sendo por isso recomendado por alguns técnicos que se utilize no mínimo 5% de cal, mesmo quando uma quantidade menor alcance a resistência necessária (CRISTELO, 1974).

A modificação de solos tem como objetivo a redução da plasticidade, a melhoria da trabalhabilidade e da resistência à deflocação e à erosão, o aumento da resistência ao corte e a redução do potencial de variação de volume.

A estabilização com cal é sobretudo indicada para os solos com fração fina muito plástica e expansiva, sendo o seu principal campo de aplicação nas obras rodoviárias, particularmente para melhoria de subcamadas argilosas do solo de fundação de pavimentos e na realização de aterros com solos argilosos úmidos.

4.2.3 O uso da cal como adição

A utilização de cal hidráulica como filler das misturas betuminosas provoca uma melhoria das características da camada de desgaste daqueles revestimentos. De fato, conseguem promover uma maior consistência do material betuminoso, devido à maior aderência entre este material e os agregados. Esta adição melhora também a resistência à penetração da água retardando o envelhecimento acelerado e aumenta ainda a resistência à fissuração (CROSS, 1999).

Niazi e Jalili (2008) analisaram a influência da utilização de diversas percentagens de cal hidratada em pó e de cal hidratada em pasta (0,5; 1; 1,5 e 2,) na reciclagem de misturas betuminosas a frio, concluindo que conseguem aumentar a resistência mecânica e a resistência à água, sendo que o desempenho é proporcional à percentagem de cal e que a cal em pasta apresenta um desempenho ligeiramente melhor que a cal em pó. Estes autores referem que o uso de cal aumenta a resistência à deformação em quase 30%.

Outros autores observaram que o uso conjunto de 2% de cal e polímeros do tipo estireno-butadieno influencia muito positivamente o desempenho de misturas betuminosas (Kok & Yilmaz, 2008). Também os resultados de Airey et al. (2008) confirmam a influência positiva do uso de cal na resistência à água de misturas betuminosas.

5 METODOLOGIA

5.1 METODOLOGIA GERAL

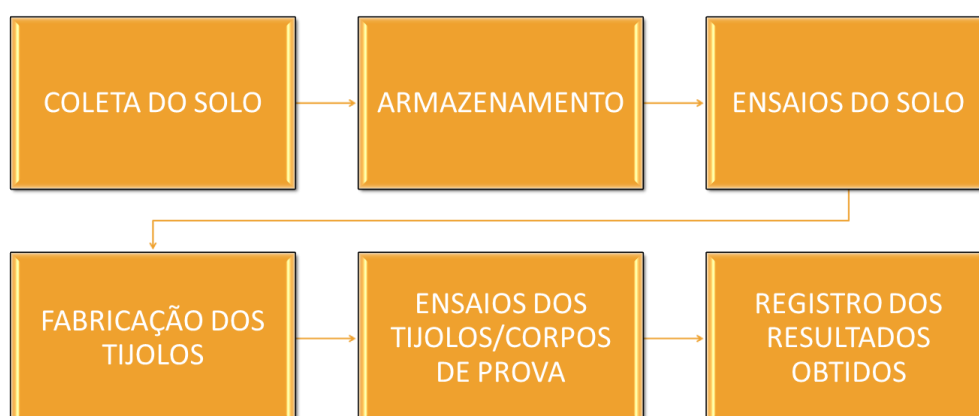
Um pré-requisito para este trabalho é a leitura de diversos documentos, incluindo legislação aplicável, documentos técnicos, compilações de congressos, artigos de revistas profissionais e livros contendo informações diversas, ambos com origens nacionais e internacionais. Esta documentação foi obtida através de pesquisas consultando várias bibliotecas e recursos online.

A metodologia utilizada foi qualitativa e quantitativa, sendo a monografia elaborada em parte com o auxílio de pesquisa bibliográfica, onde foi estudado, com o uso da literatura, os sistemas e técnicas construtivas com terra crua, com ênfase no tijolo adobe com e sem adição, incluindo seu histórico no Brasil e no mundo e o seu papel ambiental como construção sustentável.

A produção de adobes com a adição de cal hidratada é similar à preparação do adobe convencional. Com base nos procedimentos descritos na NBR 16814 e os métodos de ensaio de Soares et al. (2008) e Oliveira (2003), os processos, materiais e cuidados necessários para a obtenção desses tijolos com aditivos são descritos nos tópicos seguintes.

5.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para melhor visualização da metodologia deste trabalho, foi elaborado um fluxograma contendo os passos que foram executados.



5.2.1 Coleta do Solo

Para selecionar o local de extração do solo, foi levado em consideração a facilidade de acesso, transporte do material e a disposição de um laudo de sondagem SPT.

O solo coletado foi de um lote localizado na Rua Doutor Olavo Tostes, no centro da cidade de Muriaé – MG, pertencente à empresa L.G.A. Empreendimentos Imobiliários LTDA. O local da amostragem é ilustrado na Figura 7, a seguir:

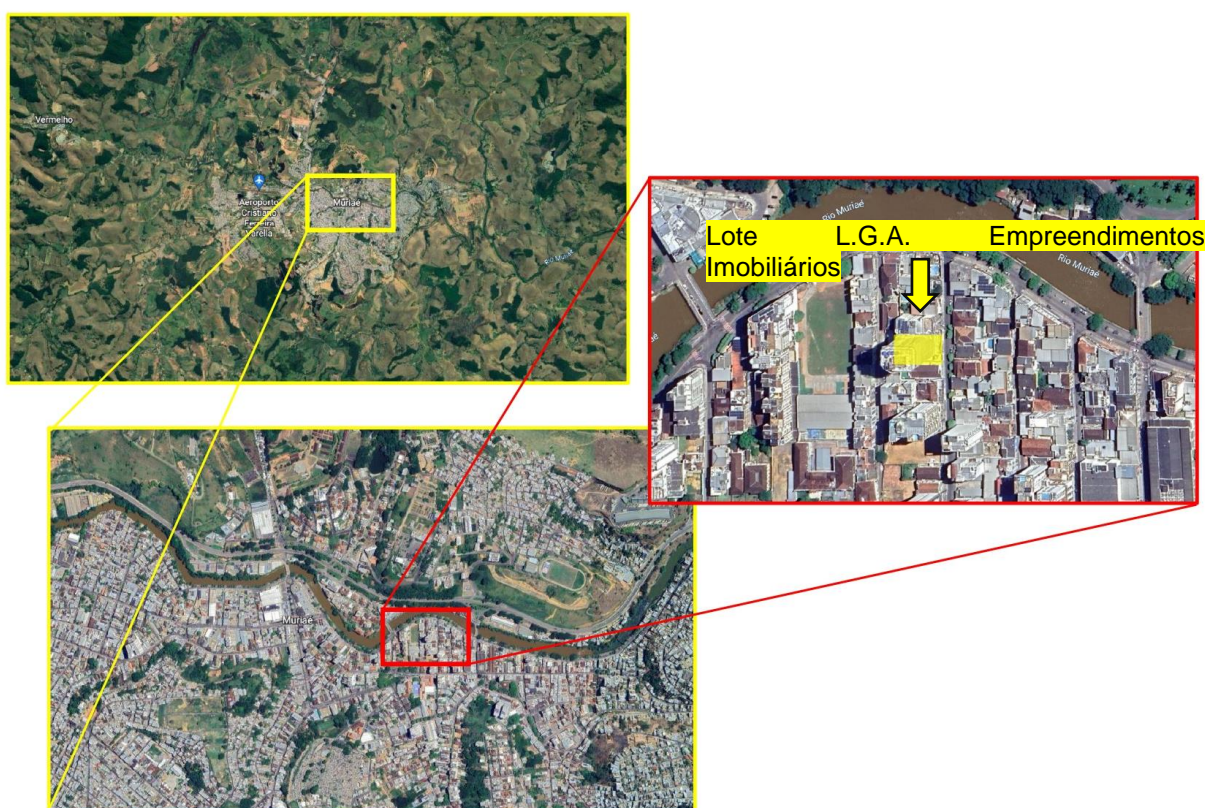


Figura 7 - Local de extração do solo
Fonte: Google Earth - Adaptado

Para a realização dos testes, é fundamental o conhecimento da composição do material, bem como algumas características físicas e químicas. Para a obtenção desses parâmetros, foi utilizado os dados coletados por meio de sondagem SPT¹ (*Standard Penetration Test*) realizado pela empresa terceirizada Skavatec Fundações & Geotecnia no local de coleta do material, apresentado nas Figuras 8 e 9.

¹ Relatório completo da sondagem consta no Anexo A.

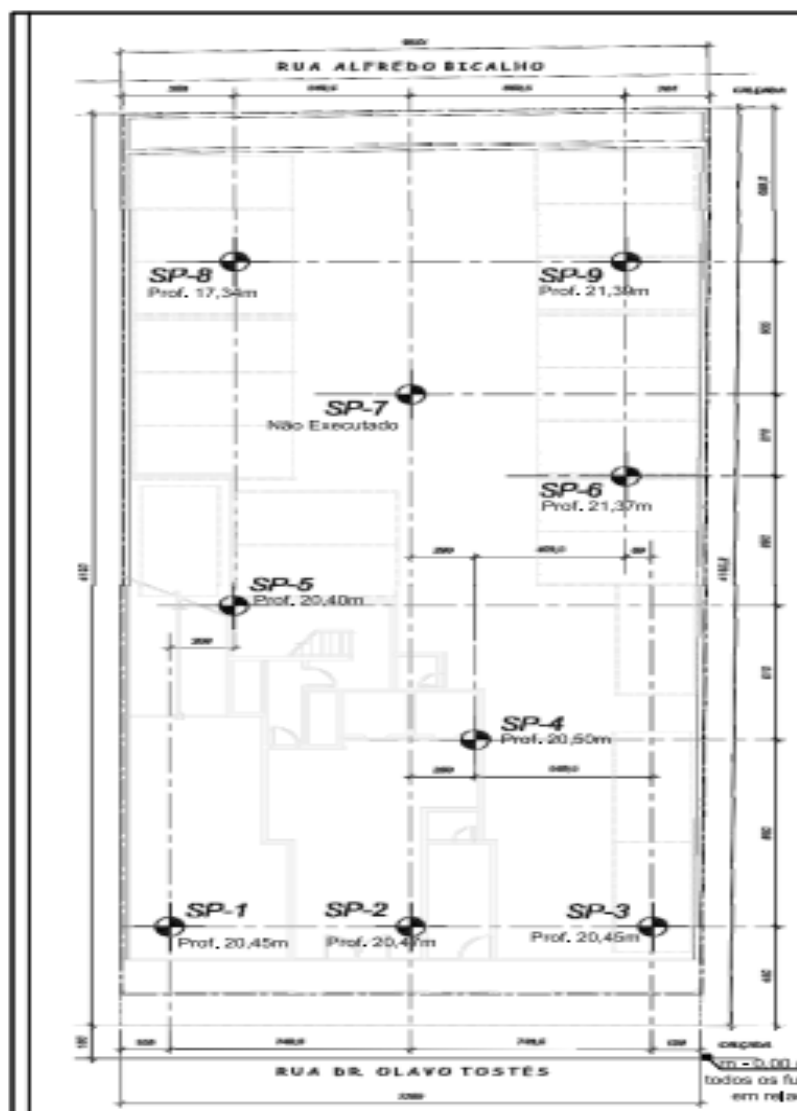


Figura 8 - Projeto de Locação dos furos de sondagem SPT
 Fonte: Arquivo cedido pela L.G.A Empreendimentos Imobiliários LTDA (2020) - Adaptado

| SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------|---|------------------|----------------------------|---|--------------|------------|
| NBR 6484/01 | | | | | | | | | | |
| CLIENTE: LGA Empreendimentos Imobiliários Ltda - EPP | | | | | SONDAGEM À PERCUSSÃO: SP-08 | | | | | |
| OBRA: Rua Dr. Olavo Tostes, n. 131 - Centro | | | | | INÍCIO: 15/02/2020 TÉRMINO: 15/02/2020 COTA: 1,00 | | | | | |
| LOCAL: Muriaé - MG | | | | | PROF: 17,34 COORD. N: E: | | | | | |
| GRÁFICO SPT | COTA EM RELAÇÃO AO RN (m) | ENSAIO DE PENETRAÇÃO (GOLPES/PENET.) | RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO | | INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA | PERFIL GEOLÓGICO | PROFUNDIDADE DA CAMADA (m) | AMOSTRADOR BIPARTIDO: Ø INTERNO = 34,9 mm PESO = 65 Kg Ø EXTERNO = 50,8 mm ALTURA DE QUEDA: 75 cm | NÍVEL D'ÁGUA | AVANÇO |
| | | | INI. | FIN. | | | | | | |
| | 0,00 | 2 2 3 15 15 15 | 4 | 5 | AT | (1) | 1,90 | Argila Siltosa, com Areia Fina, Cor Amarelada, Consistência Média | 3,85 | TC 1,00 |
| | | 3 3 2 15 15 15 | 6 | 5 | | (2) | | Argila Siltosa, com Areia Fina, Cor Amarelada, Consistência Média | | TH 3,00 |
| | | 2 2 4 15 15 15 | 4 | 6 | | (3) | 4,00 | Argila Siltosa, com Areia Fina, Cor Amarelada, Consistência Média | | |
| | | 10 10 11 15 15 15 | 20 | 21 | | (4) | | Areia Grossa, Cor Branca, Compacta | | |
| | 8 11 9 15 15 15 | 19 | 20 | | (5) | | | | | |
| | 7 7 5 15 15 15 | 14 | 12 | | (6) | | | | | |

Figura 9 - Sondagem do ponto de coleta do solo
 Fonte: Arquivo cedido pela L.G.A Empreendimentos Imobiliários LTDA (2020) - Adaptado

O solo foi coletado nas proximidades do furo de sondagem SP-08 em cota de +/- 0,50 m de profundidade em relação ao nível da calçada da Rua Doutor Olavo Tostes, Bairro Centro, cidade de Muriaé-MG.

5.2.2 Ensaios de Caracterização do Solo

Os ensaios para identificação de características físicas foram realizados no laboratório de materiais de construção civil do Centro Universitário FAMINAS, sendo descritas as matérias-primas, os métodos utilizados para preparar as amostras, os equipamentos e as técnicas utilizadas neste trabalho.

Os ensaios são fundamentados nas seguintes normas da ABNT:

- NBR 16814:2020 - Adobe — Requisitos e métodos de ensaio;
- NBR 7180:2016 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade;
- NBR 7181:2016 - Solo – Análise granulométrica;
- NBR NM ISO 2395:1997 - Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento - Vocabulário;
- NBR 6457:2016 - Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização;
- NBR 6459:2017 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez.
- NBR 8492:2012 - Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.

Os ensaios realizados para caracterização do solo extraído foram: ensaio de determinação da composição granulométrica; ensaios de determinação do limite de liquidez (LL); ensaios de determinação do limite de plasticidade (LP); ensaio de resistência à compressão axial; ensaio de absorção de água.

5.2.2.1 Ensaio de determinação da composição granulométrica

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, tão importante para a classificação dos solos bem como a estimativa de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade etc. A determinação da granulometria de um solo pode ser feita apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário.

Para análise do solo utilizado, foi realizado o ensaio de determinação da composição granulométrica pelo método do peneiramento conforme NBR 7181:2016.

Para realização do ensaio de granulometria por peneiramento, inicialmente foi realizada a separação da lista de materiais necessários, com o objetivo de evitar possíveis transtornos durante a execução, garantir uma melhor qualidade no desenvolvimento do processo e levantamento de possíveis adaptações necessárias por falta ou indisponibilidade de materiais e/ou equipamentos. Abaixo segue a lista de materiais utilizados:

- a) estufa capaz de manter a temperatura entre 60 °C e 65 °C, e entre 105 °C e 110 °C;
- b) balanças que permitam pesar nominalmente 200 g, 1,5 kg e 5 kg, com resoluções de 0,01 g, 0,1 g, 0,5 g e 1 g;
- c) termômetro graduado em 0,1 °C (de 0 °C a 150 °C);
- d) peneiras² de 1,18 mm; 0,6 mm; 0,425 mm; 0,30 mm; 0,15 mm e 0,075 mm, de acordo com as ABNT NBR NM ISO 3310-1 e ABNT NBR NM ISO 3310-2;
- e) escova com cerdas metálicas;
- f) agitador mecânico de peneiras, com dispositivos para fixação de até seis peneiras, inclusive tampa e fundo;

² As peneiras de 1,18 mm e 0,30 mm foram utilizadas em substituição as peneiras de 2,00 mm e 0,25 mm indicadas na lista de materiais disposta na NBR 7181:2016 em razão da indisponibilidade do material

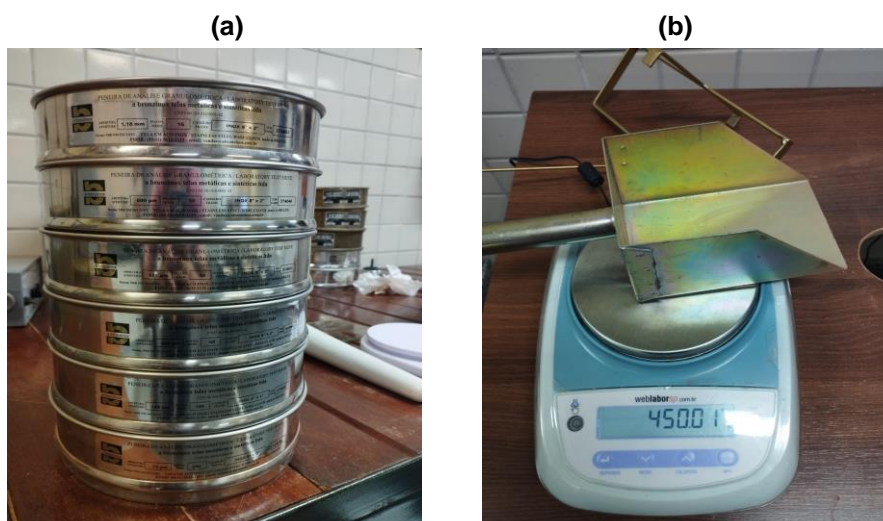


Figura 10 - (a) Peneiras para processo de peneiramento; (b) balança com precisão de 0,01g.
Fonte: Arquivo pessoal

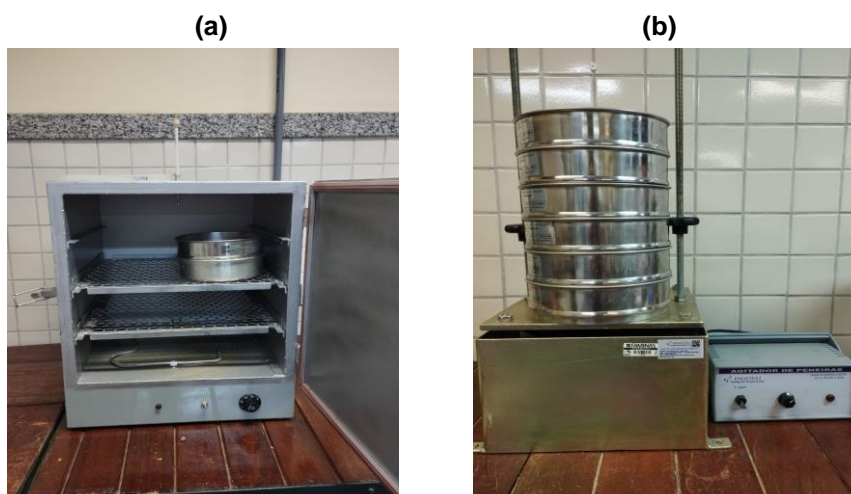


Figura 11 - (a) Estufa; (b) Agitador mecânico de peneiras.
Fonte: Arquivo pessoal

Após a separação dos materiais a serem utilizados, iniciou-se a preparação da amostra para realização do ensaio conforme os seguintes passos apresentados no tópico 5.1.2 da NBR 6457:2016:

- i. Secou-se a amostra ao ar, até próximo da umidade hidrocópica;
- ii. Desmanchou-se os torrões, evitando quebra de grãos e foi realizada a homogeneização da amostra;
- iii. Com auxílio do repartidor de amostra, reduziu-se a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos;

iv. Tomou-se uma fração da amostra obtida conforme e passou-se na peneira de 0,075 mm, desprezando o material retido.

v. Do material passado na peneira de 0,075 mm, tomou-se uma quantidade em função da dimensão estimada dos grãos maiores.

vi. Após observação dos dados apresentados na tabela abaixo e do solo, foi tomado 1 kg de material como amostra a ser ensaiada.

| Dimensões dos órgãos maiores contido na amostra, determinadas por observação visual (mm) | Quantidade mínima a tomar (kg) |
|--|--------------------------------|
| < 5 | 1 |
| 5 a 25 | 4 |
| > 25 | 8 |

Figura 12 - Quantidade de amostra para análise granulométrica
Fonte: NBR 6457:2016 (ABNT) – Adaptado

Após a preparação do material a ser ensaiado, iniciou-se a execução do ensaio de granulometria seguindo o seguinte roteiro, coletado na NBR 7181:2016.

i. Passou-se o material separado na peneira de 2,0 mm, tomando a precaução de desmanchar no almofariz todos os torrões existentes, de modo a assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que a abertura da malha;



Figura 13 - Solo utilizado para peneiramento
Fonte: Arquivo pessoal



Figura 14 - (a) Peneira de 2,00 mm; (b) Material passante na peneira de 2,00 mm.
Fonte: Arquivo pessoal

ii. Lavou-se a parte retida na peneira de 2,0 mm, a fim de eliminar o material fino aderente, e secou-se em estufa entre 105°C e 110°C, até constância de massa. O material assim obtido foi usado no peneiramento grosso;



Figura 15 - Material retido na peneira de 2,00 mm
Fonte: Arquivo pessoal

iii. Tomou-se cerca de 120g do material passado na peneira de 2,0 mm. Pesou-se esse material com resolução de 0,01g e anotou-se como M_w (material com umidade higroscópica). Tomou-se ainda cerca de 100g para três determinações da umidade higroscópica (w), de acordo com a NBR 6457;

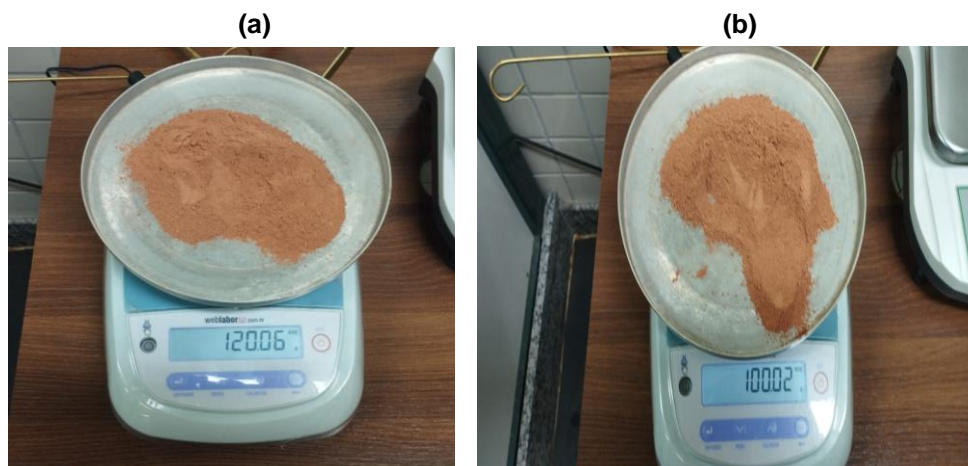


Figura 16 – (a) Material tomado para ensaio de granulometria e (b) de umidade
Fonte: Arquivo pessoal

iv. Lavou-se na peneira de 0,075 mm o material assim obtido, vertendo-se água potável à baixa pressão;

v. Secou-se o material retido na peneira de 0,075 mm em estufa, à temperatura entre 105°C e 110°C até constância de massa. Utilizando o agitador mecânico, passou-se o material nas peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0,075 mm. Anotou-se com resolução de 0,01g as massas retidas acumuladas;



Figura 17 - (a) Montagem das peneiras no agitador mecânico; (b) Material retidos nas peneiras
Fonte: Arquivo pessoal

vi. Tomou-se uma quantidade de material em função dos grãos maiores contidos na amostra, como indicado na Figura 18. Em seguida, destorroou-se, colocou-se no estado fofo, em cápsulas metálicas adequadas e fechou-se com a tampa.

vii. Pesou-se o conjunto, com a resolução correspondente, e anotou-se como M_1 (massa do solo úmido);

| Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, determinada visualmente mm | Quantidade de material(em massa seca) a tomar g | Balança a ser utilizada | |
|---|--|-------------------------|----------------|
| | | Capacidade nominal g | Resolução g |
| < 2 | 30 | 200 | 0,01 |
| 2 a 20 | 30 a 300 | 1 500 | 0,1 |
| 20 a 76 | 300 a 3 000 | 5 000 | 0,5 |

Figura 18 - Quantidade de material a ser tomado
Fonte: ABNT NBR 6457 (2016).

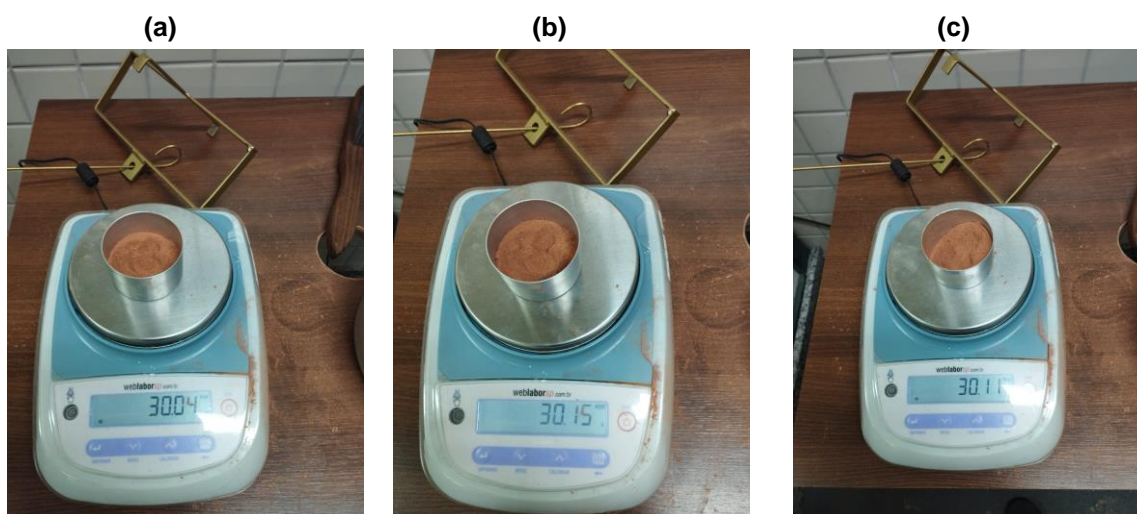


Figura 19 - Materiais tomados para ensaio de umidade
Fonte: Arquivo pessoal

viii. Removeu-se a tampa e colocou-se a cápsula em estufa à temperatura entre 105°C e 110°C, onde permaneceu até apresentar constância de massa;

ix. Retirou-se a cápsula da estufa e transferiu-se para o dessecador, onde permaneceu até atingir a temperatura ambiente. Recolocou-se a tampa e pesou-se o conjunto, com a resolução correspondente da Figura 18 e anotou-se como M_2 (massa do solo seco).

5.2.2.1.1 Granulometria

Segundo a ABNT NBR 6502:1995 – Rochas e Solos, a especificação e granulometria correta para os solos são:

- argila: Solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade;

- silte: Solo que apresenta baixa ou nenhuma plasticidade, e que exibe baixa resistência quando seco o ar. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm;
- areia: Solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm;
 - areia fina: Grãos de diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 0,20 mm;
 - areia média: Grãos de diâmetros compreendidos entre 0,20 mm e 0,60 mm;
 - areia grossa: Grãos de diâmetros compreendidos entre 0,60 mm e 2,00 mm;
- pedregulho: Solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,00 mm e 60,00 mm. Quando arredondados ou semi-arredondados, são denominados cascalho ou seixo.

5.2.2.1.2 Determinação da umidade higroscópica

Utilizando os dados obtidos no ensaio anterior, calculou-se a umidade higroscópica utilizando a Equação 1, conforme item A.4.1 do anexo A da NBR 6457:2016.

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (1)$$

onde,

M_1 = massa do solo úmido mais a massa do recipiente;

M_2 = massa do solo seco mais a massa do recipiente;

M_3 = massa do recipiente;

5.2.2.1.3 Determinação da massa total da amostra seca

A massa total da amostra seca foi calculada utilizando a Equação 2 detalhada no item 5.1 da NBR 7181:2016.

$$M_s = \frac{(M_T - M_g)}{(100 + w)} \times 100 + M_g \quad (2)$$

onde,

M_T = Massa da amostra seca em temperatura ambiente;

M_g = Massa do material seco retido na peneira 2,0 mm;

w = Umidade higroscópica do material passado na peneira 2,0 mm;

5.2.2.1.4 Determinação das porcentagens de materiais que passam nas peneiras

Para esta determinar as parcelas de materiais passantes nas peneiras de 1,18 mm, 0,6 mm, 0,425 mm, 0,30 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, utilizou-se a Equação 3 abaixo, conforme item 5.5 da NBR 7181:2016.

$$Q_f = \frac{M_w \times 100 - M_r (100 + W)}{M_w \times 100} \times N \quad (3)$$

onde,

Q_f = Porcentagem de material passante;

M_w = Massa do material úmido submetido ao peneiramento fino;

M_r = Massa do material retido acumulado em cada peneira;

N = Porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm;

5.2.2.2 Ensaio de determinação do Limite de Liquidez (LL)

O ensaio de determinação do limite de liquidez foi realizado de acordo com a NBR 6459 (ABNT, 2017). O objetivo deste ensaio é determinar o limite de liquidez do solo, valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico e um dos parâmetros necessários para calcular seu índice de plasticidade.

Os equipamentos (mostrados na Figura 20) utilizados para execução deste ensaio foram:

- a) Estufa capaz de manter a temperatura de 60°C a 65°C e 100°C a 105°C;
- b) Cápsula de porcelana com aproximadamente 120 mm de diâmetro;
- c) Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;
- d) Aparelho de Casagrande;

- e) Cinzel;
- f) Balança que permita pesar nominalmente 200 g, com resolução de 0,01 g e sensibilidade compatível;
- g) Água destilada;
- h) Cápsulas de aço inox.



Figura 20 - Material utilizado no ensaio de determinação do limite de liquidez
Fonte: Arquivo pessoal

Em seguida, foi realizada a preparação da amostra para realização do ensaio conforme os seguintes passos apresentados no tópico 5.1.3 da NBR 6457:2016. Optou-se pela realização do ensaio sem secagem prévia da amostra, conforme item 4.3 da NBR 6459:2017.

- i. Secou-se a amostra ao ar, até próximo da umidade hidrocópica;
- ii. Desmanchou-se os torrões, evitando-se quebra de grãos e realizou-se a homogeneização da amostra;
- iii. Com auxílio do repartidor de amostra, reduziu-se a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos;
- iv. Tomou-se uma fração da amostra e passar na peneira de 0.42 mm, de modo a se ter cerca de 200 g de material passado. O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.



Figura 21 - Material passante na peneira de 0,425mm
Fonte: Arquivo pessoal

Finalizada a separação das peças e equipamentos a serem utilizadas e a preparação do material a ser ensaiado, iniciou-se a execução do ensaio³ seguindo o roteiro da NBR 6459.

i. Colocou-se a amostra na cápsula de porcelana e adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, com consistência tal que seja necessário cerca de 35 golpes para fechar a ranhura;



Figura 22 - Mistura homogênea do material com água destilada
Fonte: Arquivo pessoal

³ Para este ensaio, foram utilizados somente 4 amostras, ao invés de 5, como manda a NBR, pois não havia cápsulas suficientes para coleta;

ii. Transferiu-se parte da mistura para a concha, moldando-a de forma que na parte central a espessura seja da ordem de 10 mm, conferindo com o auxílio do cinzel, conforme Figura 23;



Figura 23 - Conferência da espessura da massa de solo com auxílio do cinzel
Fonte: Arquivo pessoal

iii. Retornou-se o excesso de solo para a cápsula;
iv. Com o uso do cinzel, dividiu-se a massa de solo em duas partes de maneira a abrir uma ranhura em sua parte central, normalmente a articulação da concha, conforme indicado na Figura 24;



Figura 24 - Divisão da massa de solo em duas partes
Fonte: Arquivo pessoal

v. Golpeou-se a concha do aparelho contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela a razão de duas voltas por segundo. Anotou-se o número

de golpes que foram necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente;



Figura 25 - Aspecto da massa de solo após golpeamento
Fonte: Arquivo pessoal

vi. Transferiu-se de maneira imediata uma pequena quantidade do material de junto das bordas que se uniram para um recipiente adequado para realização da pesagem da amostra;

vii. Transferiu-se o restante da massa contida na concha para a cápsula de porcelana. Em seguida foi feita a limpeza da concha e cinzel para novos procedimentos.

viii. Adicionou-se água destilada à amostra e foi feita a homogeneização durante pelo menos 3 minutos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula.

ix. Repetiu-se as operações descritas de ii a vii.

x. Repetiu-se as operações vii e ix de modo a obter pelo menos mais 3 pontos de ensaio, cobrindo o intervalo de 35 a 15 golpes.

Após obtenção de 4 amostras, colocou-se as cápsulas na estufa entre 100°C e 105°C. Após um período de aproximadamente 24 horas, foi realizada novamente a pesagem para obtenção do teor de umidade das amostras.

5.2.2.3 Ensaio de determinação do Limite de Plasticidade (LP)

O ensaio de determinação do limite de plasticidade foi realizado de acordo com a NBR 7180 (ABNT, 2016). O objetivo deste ensaio é determinar o limite de plasticidade do solo, valor de umidade na qual o solo passa do estado plástico para o estado semissólido. É o limite no qual o solo começa a se quebrar em pequenas peças, quando enrolado em bastões de 3 mm de diâmetro. Ou seja, é o menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente. Outro parâmetro para calcular o índice de plasticidade dos solos.

Os materiais necessários para execução do ensaio de limite plasticidade são os mesmos utilizados no ensaio do limite de liquidez. Foi utilizado um tubo de caneta esferográfica como gabarito cilíndrico para comparação com 3mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento, como mostra a Figura 26.

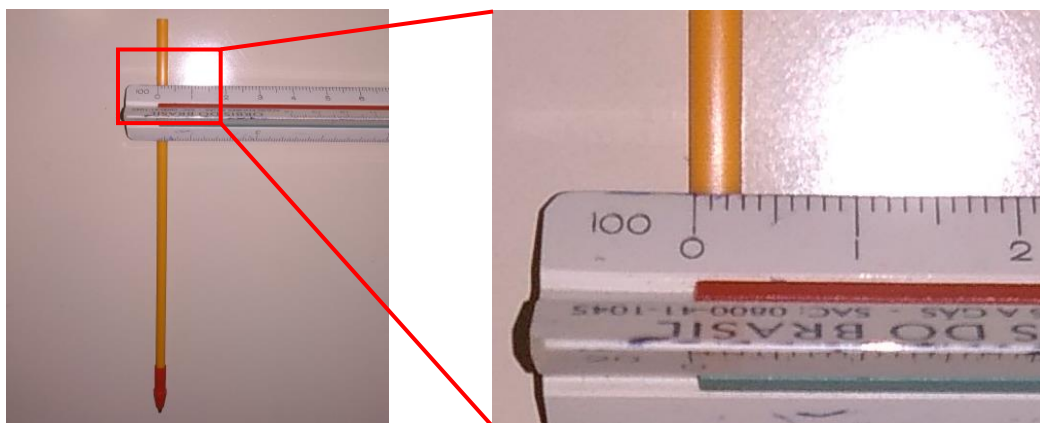


Figura 26 - Adaptação feita para um gabarito de 3mm
Fonte: Arquivo pessoal

A preparação da amostra para ensaio se deu de forma idêntica ao Ensaio de determinação do Limite de Liquidez (LL).

A execução do ensaio foi realizada seguindo o seguinte roteiro, coletado na NBR 7180:

- i. Colocou-se a amostra na cápsula de porcelana, adicionando água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, de consistência plástica. O tempo ideal de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 minutos;

ii. Tomou-se cerca de 10 g da amostra e formou-se uma pequena bola, rolando-a sobre a bancada⁴ com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma de cilindro;



Figura 27 - Execução ensaio de Limite de Plasticidade
Fonte: Arquivo pessoal

iii. Moldou-se a amostra até formar um cilindro de 3 mm de diâmetro e simultaneamente apresentar fissuras;

iv. Transferiu-se imediatamente as partes deste para um recipiente adequado (cápsulas metálicas) para determinação da umidade;



Figura 28 - Finalização da coleta de amostras do ensaio LP
Fonte: Arquivo pessoal

Após realização dos ensaios e obtenção de 3 amostras, colocou-se as cápsulas na estufa entre 100°C e 105°C. Após um período de aproximadamente 24

⁴ A NBR manda utilizar uma placa de vidro esmerilhada, mas por falta do material, foi executado na superfície da banca do laboratório

horas, foi realizada novamente a pesagem para obtenção do teor de umidade das amostras.

5.2.2.4 Índice de Plasticidade

O índice de plasticidade (IP) do solo nada mais é do que a diferença entre os limites de liquidez (LL) e limites de plasticidade (LP). Ele indica a faixa de valores em que o solo se apresenta plástico.

| Classificação do solo | Índice de plasticidade |
|------------------------------|-------------------------------|
| Fracamente plástico | $1 < IP < 7$ |
| Medianamente plástico | $7 < IP < 15$ |
| Altamente plástico | $IP > 15$ |

Figura 29 - Classificação do solo de acordo com o índice de plasticidade
Fonte: Apostila ensaios de mecânica dos solos – UFC (2003)

5.2.3 Produção dos Tijolos Adobe

5.2.3.1 Confeção e preparação das formas

As formas para a fabricação dos adobes podem variar no tipo de material (madeira, ferro, isopor), tamanho, forma e quantidade de tijolos a serem produzidos. Contudo, dentre os materiais, o mais aconselhável é a madeira devido sua grande facilidade na mudança de formas e tamanhos dos tijolos. A madeira utilizada para confecção das formas foi a de Eucalipto (*Eucalyptus grandis*), madeira essa com aplainamento, furação, torneamento e lixamento fáceis, de baixo custo e boa para serração.

A escolha das dimensões das formas utilizadas na fabricação dos tijolos foi realizada com base nas orientações do no item 4.3.1 da NBR 16814:2020, ilustrado pela Figura 4.

Dessa forma, optou-se por formas para a fabricação de tijolos com as dimensões internas de:

$$H = 8 \text{ cm}; L = 17 \text{ cm}; C = 35 \text{ cm};$$

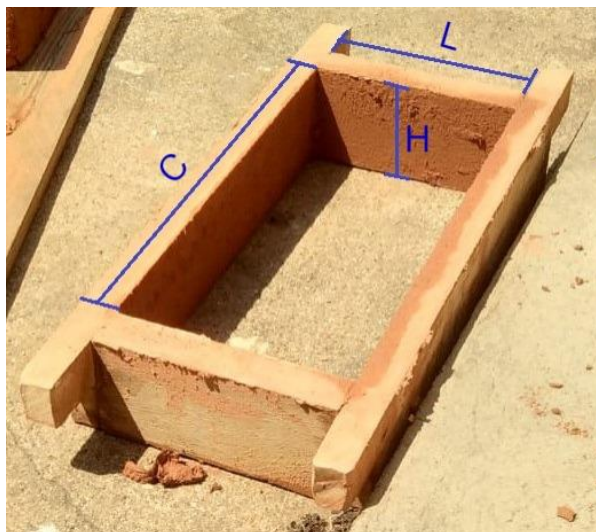


Figura 30 - Forma utilizada para confecção dos tijolos
Fonte: Arquivo pessoal

5.2.3.2 Local de fabricação dos tijolos

Os tijolos foram fabricados na residência de um dos autores deste trabalho, na cidade de Muriaé - MG, em um local próximo de onde foi coletado o solo, com disposição, espaço e material para fabricação, recebimento, identificação, limpeza, retirada de rebarbas e armazenamento, mantendo as características originais e necessárias do material.

5.2.3.3 Preparação do solo e dosagem da adição

Antes de iniciar a produção dos tijolos, foi realizada manualmente a remoção de conchas, raízes, gravetos e outras impurezas. Após a limpeza, foi realizada a secagem natural do material e o destorroamento por meio de soquetes.

A dosagem do material foi realizada de forma que sejam fabricados tijolos com 0%, 5% e 10% da massa total do tijolo composta por cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Além disso, em razão do solo, após ensaios de composição não apresentar a granulometria conforme os parâmetros apresentados no item 4.1.1 da NBR 16814:2020, foi realizada a correção granulométrica conforme item 4.1.2 da mesma NBR, por meio da adição de areia na razão de 20% da massa seca total do tijolo. Sendo assim, tem-se os seguintes dados:

- T0 = Tijolo adobe puro;
- T5 = Tijolo adobe com adição de cal hidratada (Ca(OH)_2) na razão de 5% da massa total seca;
- T10 = Tijolo adobe com adição de cal hidratada (Ca(OH)_2) na razão de 10% da massa total seca;

5.2.3.4 Amassamento e confecção dos tijolos

Neste trabalho, o amassamento do material foi realizado com as mãos devido a pequena quantidade de material, apesar da tradição recomendar que o amassamento seja com os pés descalços (os vãos dos dedos ajudam no processo).

Após o amassamento e completa homogeneização do material, colocou-se em repouso por cerca de 24h, coberto com lona plástica, e sofreu amassamento novamente, antes de ser lançado energeticamente dentro da forma, conforme NBR 16814:2020.

Cabe observar que nesta operação não há a necessidade de se compactar o barro, porque o seu teor de umidade está, seguramente, acima da umidade ótima de compactação. Em seguida, o excesso de barro foi retirado, com uma régua metálica, e a superfície superior do tijolo foi alisada (com as mãos molhadas e com o auxílio de uma colher de pedreiro), para melhor acabamento superficial.

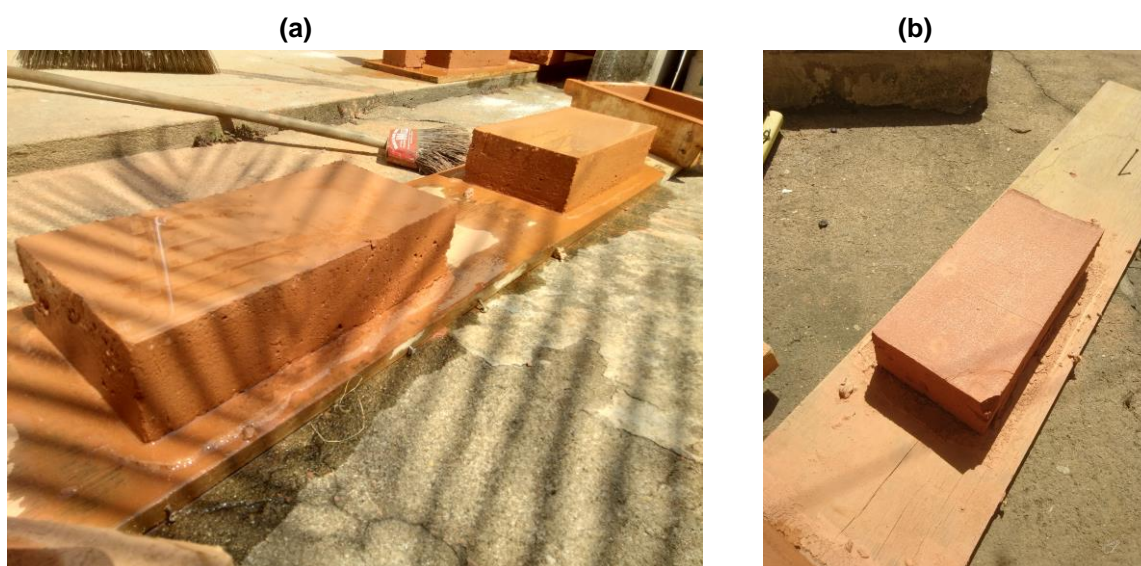


Figura 31 - Tijolo após moldagem e acabamento superficial
Fonte: Arquivo pessoal

5.2.3.5 Desforma e secagem dos tijolos

Logo após a moldagem dos tijolos, foi realizada imediatamente a desforma deslizando a forma para cima, na vertical, e em seguida foi feita a identificação do material.

Em seguida, os tijolos foram colocados expostos ao sol para iniciar processo de secagem, sendo virados em determinada frequência para que a secagem fosse feita de forma homogênea, evitando retrações diferenciais e, conseqüentemente, deformação dos tijolos.



**Figura 32 - (a) Tijolos após desforma; (b) tijolo exposto ao sol em processo de secagem.
Fonte: Arquivo pessoal**

O processo de cura foi realizado ao longo do dia, para que o tijolo não seque rápido demais (perdendo água por evaporação). Após secagem total, foi então acomodado em local coberto e arejado para término da secagem e perda do excesso de umidade, com ganho de resistência, e que tivessem ocorrido as retrações iniciais (mais expressivas) e preparação para os ensaios.

5.2.4 Ensaio de Caracterização Física e Dimensional dos Tijolos de Adobe

Os ensaios de caracterização física e dimensional dos tijolos de adobe foram realizados de acordo com o anexo A da NBR 16814:2020 e tem como objetivo a determinação das dimensões efetivas dos adobes.

Para realização destes ensaios, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Paquímetro com sensibilidade mínima de 0,5 mm;
- b) Régua metálica com sensibilidade de 0,5 mm.

Para realização do ensaio, nem todas as unidades produzidas de alguns traços foram utilizadas, devido as perdas durante o processo de deslocamento dos tijolos na etapa de secagem e armazenamento.

Inicialmente, realizou-se a separação, identificação, limpeza, retirada de eventuais rebarbas, conforme os procedimentos apresentados nos anexos B.3 e A.4 da NBR 16814:2020.

Finalizada a preparação dos tijolos para caracterização, iniciou-se a execução do ensaio que se dá como segue:

- i. Colocar os adobes sobre uma superfície plana e indeformável;
- ii. Coletar com paquímetro e/ou régua com capacidade de expressão em décimo de centímetros os valores da altura (H), largura (L) e comprimento (C) de cada adobe que compõe a amostra. Sendo necessário, duas medições em cada direção.

Com os valores colhidos, foram calculadas as respectivas médias pelas seguintes equações:

$$H_i = \frac{H1+H2}{2} \quad (4) \quad L_i = \frac{L1+L2}{2} \quad (5) \quad C_i = \frac{C1+C2}{2} \quad (6)$$

onde:

H1, H2, L1, L2, C1 e C2: são as duas medidas realizadas em cada uma das direções (H, L e C), expressas em milímetros (mm);

H_i, L_i e C_i : são as dimensões médias para altura, largura e comprimento do adobe "i", expressas em milímetros (mm);

A Figura 33 ilustra a coleta das medidas.

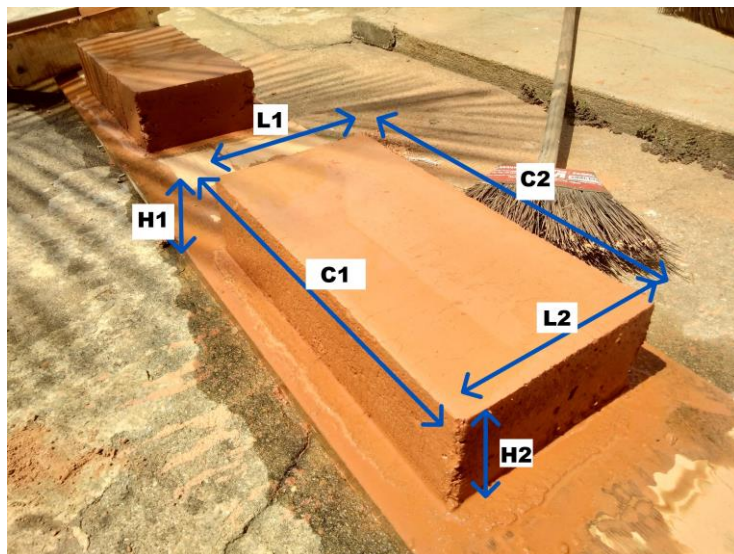


Figura 33 - Dimensões para definição da dimensão média do tijolo
Fonte: Arquivo pessoal

5.2.5 Ensaio de Resistência à Compressão do Adobe

Este ensaio consiste na determinação da resistência à compressão de corpos de prova de adobe. Para realização deste ensaio, foram necessários os seguintes equipamentos:

- a) Paquímetro e régua com sensibilidade mínima de 0,5 mm;
- b) Prensa hidráulica manual capaz de atender a ABNT NBR ISO 7500-1;
- c) Calço para apoio dos corpos de prova;

Os tijolos adobes produzidos e apresentados na Figura 32, agora já identificados, limpos, conferidos e caracterizados servirão de material para execução dos ensaios. Os procedimentos seguem, conforme NBR 16814:2020.

De cada adobe que compõe a amostra, recortou-se um corpo de prova cúbico, cujos lados sejam iguais à menor dimensão do adobe (altura H). Foram extraídos três corpos de prova de cada tijolo, para realização de prova e contraprova;

Para a regularização das faces de trabalho dos corpos de prova (operação denominada capeamento), foi utilizada pasta de cimento com resistência superior à resistência dos adobes. Além do capeamento, para que fosse possível romper o

corpo de prova, foi necessário a utilização de um calço na máquina como base para o material, visto que ela rompe corpos de prova com dimensões a partir de 16 cm, o que tornaria impossível a realização dos ensaios.

O capeamento foi feito conforme item B.4.2 do anexo B da NBR 16814:2020 de forma que, no maior ponto, a espessura não excedesse 2 mm, até apresentar-se plano e uniforme no momento do ensaio, sem remendos.



Figura 34 - Capeamento realizado com pasta de cimento nos corpos de prova
Fonte: Arquivo pessoal

Para execução dos ensaios, devem ser adotados os seguintes procedimentos, conforme NBR 16814:2020:

i. Medição das dimensões da seção de ruptura para o cálculo da área da seção de ruptura, pela Equação 7:

$$A_{rup} = \frac{(a1 + a2)}{2} \times \frac{(b1 + b2)}{2} \quad (7)$$

Onde:

a1, a2, b1 e b2 = Dimensões da seção de ruptura (a meia altura), expressas em milímetros (mm);

A_{rup} = Área da seção de ruptura, expressa em milímetros quadrados (mm²).

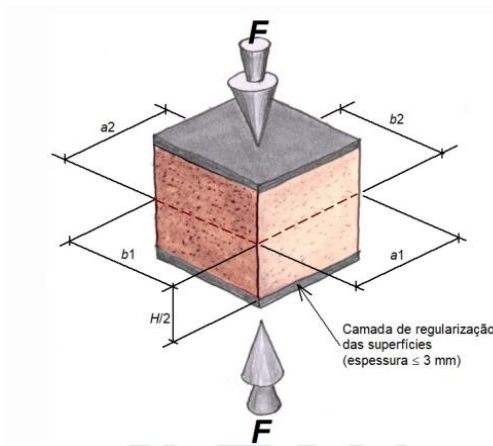


Figura 35 - Medição das dimensões da seção de ruptura do corpo de prova
Fonte: ABNT (2020)

ii. Colocação do corpo de prova na prensa hidráulica, de modo que o seu centro de gravidade seja coincidente com o eixo de carga dos pratos da prensa;

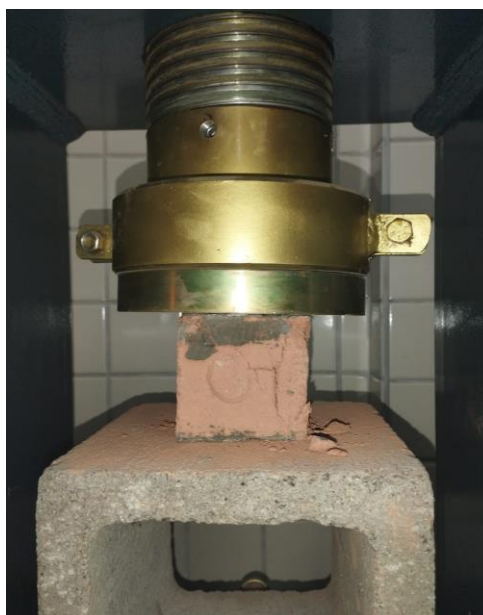


Figura 36 - Corpo de prova T5 antes do rompimento
Fonte: Arquivo pessoal

iii. Execução de compressão axial, regulando os comandos da prensa, de forma que a tensão aplicada, calculada em relação à área da seção de ruptura, se eleve progressivamente à razão de $(0,30 \pm 0,06)$ MPa/min;



Figura 37 - Rompimento feito e registrado a carga máxima
Fonte: Arquivo pessoal

Foram utilizados 3 corpos de prova para cada elemento.

A resistência à compressão de cada corpo de prova foi calculada pela Equação 8 a seguir, conforme item B.6.1 do anexo B da NBR 16814:2020:

$$f_{ca} = \frac{F_{rup}}{A_{rup}} \quad (8)$$

onde,

F_{rup} = Força de ruptura (N);

A_{rup} = Área da seção de ruptura (mm²);

f_{ca} = Resistência à compressão do corpo de prova (MPa).

Para determinação de f_{ca} , levando em consideração que a prensa apresenta resultado em toneladas-força (tnf), foi realizada conversão multiplicando o valor mostrado na prensa por 9806,65, obtendo assim o valor da carga máxima em Newtons (N).

Após a realização dos cálculos de resistência a compressão do tijolo adobe, é necessário calcular a resistência característica a compressão do adobe, que se trata da resistência a qual existe a probabilidade de se encontrarem em 95 % dos

resultados individuais da população. Calcula-se pela Equação 9, conforme item B.6.2 do anexo B da NBR 16814:2020.

$$f_{cak} = f_{cam} - 1,645 \times Sd \quad (9)$$

onde,

f_{cak} = Resistência característica à compressão do adobe (MPa);

f_{cam} = Resistência à compressão média da amostra (2 corpos de prova) (MPa);

Sd = Desvio-padrão da amostra (MPa).

5.2.6 Ensaio de Absorção de Água

Este ensaio foi coletado na NBR 8492:2012 – Tijolo Maciço de solo cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção d'Água, e adaptado para determinação da absorção d'água de Tijolos Adobe sem adição e com adição de 5 e 10% de cal hidratada.

Para realização deste ensaio, foram necessários os seguintes itens:

- a) Balança de 10 kg de capacidade e sensibilidade de 1 g
- b) Estufa capaz de manter uma temperatura entre 105 °C e 110°C;
- c) Bacia de imersão para submergir os corpos de prova em água na temperatura ambiente.

Depois de separados os materiais necessários, deu-se início ao ensaio, seguindo os passos abaixo.

- i. De cada adobe que compõe a amostra, recortou-se um corpo de prova cúbico, cujos lados sejam iguais à menor dimensão do adobe (altura H). Foram extraídos três corpos de prova de cada adobe, para realização de prova e contraprova (adaptado da NBR 16814:2020).



Figura 38 - Corpos de prova adaptados
Fonte: Arquivo pessoal

- ii. Anotou-se as dimensões de cada corpo de prova;
- iii. O valor médio de cada dimensão do tijolo é resultado da média de pelo menos três determinações executadas em pontos diferentes, com precisão de 1 mm.
- iv. Secou-se os corpos de prova em estufa, entre 105°C e 110°C, até constância de massa;
- v. Realizou-se as pesagens dos tijolos assim que atingiram a temperatura ambiente;
- vi. Anotou-se como MI, massa do tijolo seco, em gramas.

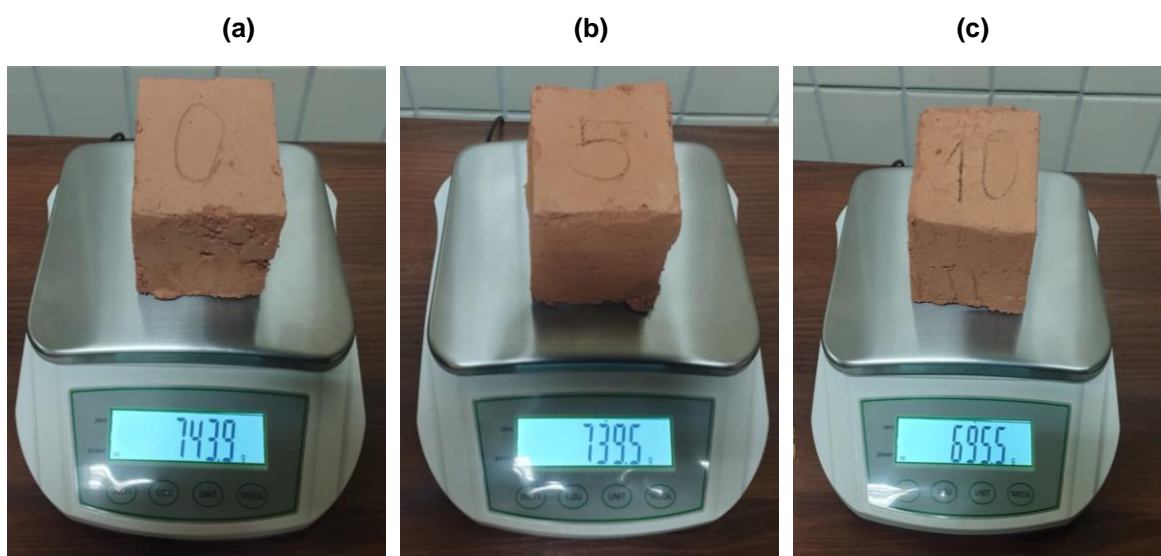


Figura 39 - Pesagem dos corpos de prova
Fonte: Arquivo pessoal

vii. Logo após pesagem, imergiu-se os corpos de prova em uma bacia durante 24 horas.



Figura 40 - Corpos de prova imersos totalmente em água
Fonte: Arquivo pessoal

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

6.1.1 Granulometria

Após a realização do ensaio, chegou-se nos seguintes resultados de granulometria:

- Pedregulho: 0,00%
- Areia: 39,01%
 - Areia grossa: 2,35%
 - Areia média: 28,69%
 - Areia fina: 7,97%
- Silte e argila: 60,73%

Com isso, traçou-se a curva granulométrica, representada na Figura 41.

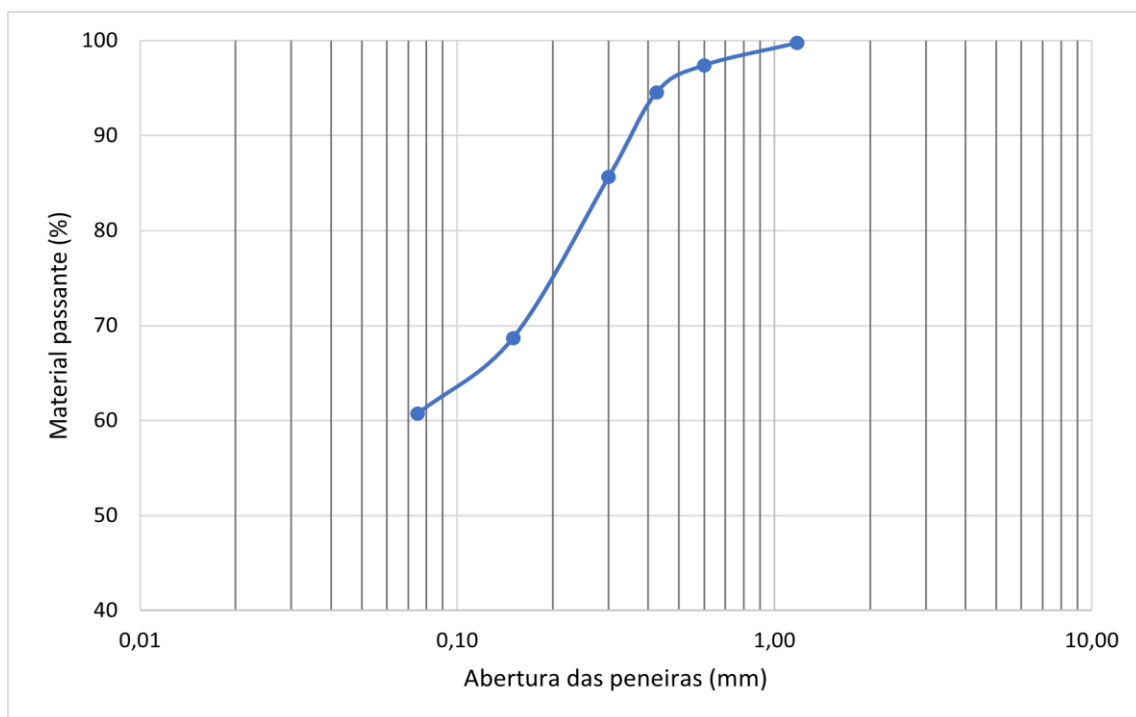


Figura 41 - Curva Granulométrica
Fonte: Arquivo pessoal

A NBR 16814:2020 apresenta que a composição granulométrica do solo deve atender preferencialmente as seguintes faixas de composição para a produção do tijolo adobe:

- Areia: entre 45% e 65%
- Silte: até 30%
- Argila: entre 25% e 35%

Sendo assim, a granulometria do solo não atendeu totalmente as composições ideais para a produção do Adobe, fazendo-se necessária a correção com adição de areia, conforme item 4.1.2 da NBR 16814:2020, para produção dos tijolos.

6.1.2 Umidade Higroscópica

Seguindo os cálculos feitos de acordo com o item 5.2.2.1.2 deste artigo com os valores obtidos nos ensaios, obtiveram-se os seguintes parâmetros:

Tabela 2 - Umidade higroscópica

| M_1 (g) | M_2 (g) | M_3 (g) | w (%) |
|-----------|-----------|-----------|-------|
| 43,05 | 42,36 | 12,95 | 2,35 |

Fonte: Arquivo pessoal

Sendo as massas M_1 e M_2 são as médias de três valores de massas de material ensaiado.

6.1.3 Massa Total da Amostra Seca

De acordo com dados obtidos, obtiveram-se os seguintes parâmetros para cálculo da massa total seca:

Tabela 3 - Massa da amostra seca

| M_T (g) | M_g (g) | w (%) | M_s (g) |
|-----------|-----------|-------|-----------|
| 12,06 | 1,90 | 2,35 | 117,35 |

Fonte: Arquivo pessoal

6.1.4 Porcentagem de Material Passante nas Peneiras

Para cada peneira utilizada neste ensaio, foram obtidos os seguintes valores:

| Peneira (mm) | Mw (g) | Mr (%) | w (%) | N (%) | Qf (%) |
|--------------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 1,180 | 65,63 | 0,02 | 2,35 | 99,77 | 99,74 |
| 0,600 | 65,63 | 1,53 | 2,35 | 99,77 | 97,39 |
| 0,425 | 65,63 | 3,37 | 2,35 | 99,77 | 94,53 |
| 0,300 | 65,63 | 9,1 | 2,35 | 99,77 | 85,61 |
| 0,150 | 65,63 | 19,97 | 2,35 | 99,77 | 68,70 |
| 0,075 | 65,63 | 25,09 | 2,35 | 99,77 | 60,73 |

Fonte: Arquivo pessoal

6.2 LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE E ÍNDICE DE PLASTICIDADE

Com os resultados obtidos através dos ensaios, foi elaborado o Gráfico 1 para determinação do Limite de Liquidez, onde obteve-se a equação da reta com auxílio do programa Excel, e posteriormente calculado o LL, resultando em 41,27% de umidade com referência à 25 golpes.

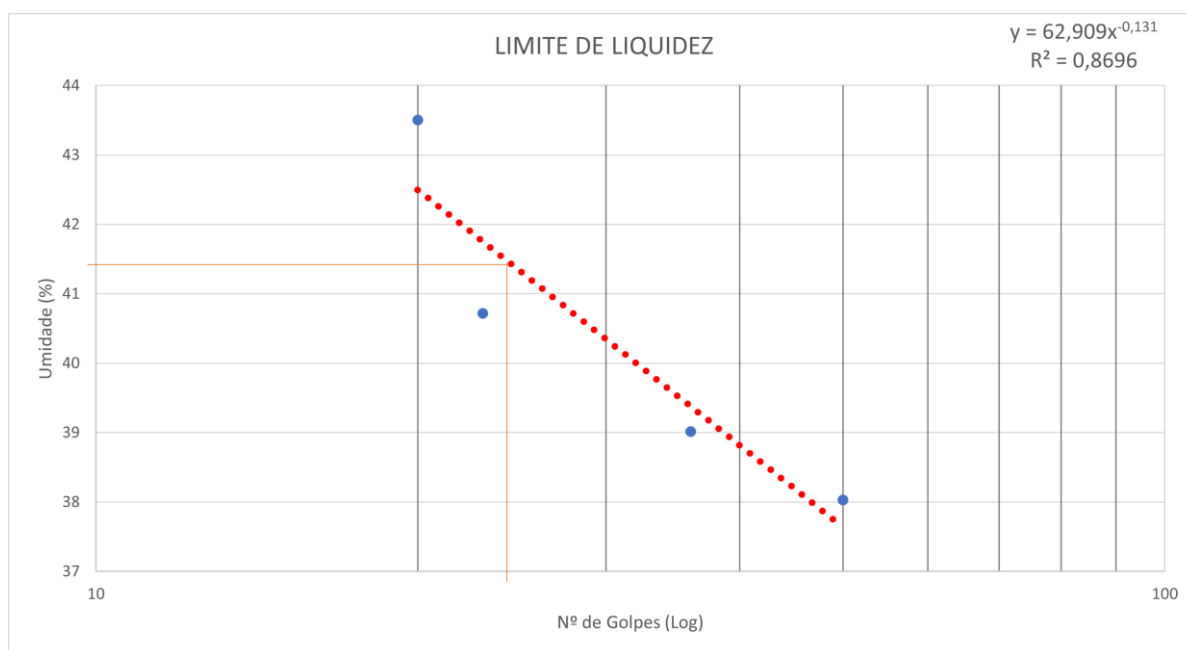


Gráfico 1 – Número de golpes por umidade para determinação de LL
Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 5 - Resultados para determinação da plasticidade do solo

| Nº da Cápsula | Limite de Liquidez | | | | Limite de Plasticidade | | |
|--------------------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| Amostra Úmida + Tara (g) | 19,50 | 18,16 | 27,44 | 22,44 | 6,86 | 8,54 | 15,30 |
| Amostra Seca + Tara (g) | 15,72 | 14,91 | 23,25 | 19,56 | 6,80 | 8,06 | 14,67 |
| Água (g) | 3,78 | 3,25 | 4,19 | 2,88 | 0,06 | 0,48 | 0,63 |
| Solo (g) | 9,94 | 8,33 | 10,29 | 6,62 | 0,24 | 1,50 | 1,74 |
| Tara (g) | 5,78 | 6,58 | 12,96 | 12,94 | 6,56 | 6,56 | 12,93 |
| Umidade (%) | 38,03 | 39,02 | 40,72 | 43,50 | 25,00 | 32,00 | 36,21 |
| Nº de Golpes | 50 | 36 | 23 | 20 | | | |

Limite de Liquidez (LL) = 41,27 %

Limite de Plasticidade (LP) = 31,07 %

Índice de Plasticidade (IP) = 10,2%

Fonte: Arquivo pessoal

De acordo com a Tabela 5, o LP resultou em 31,07%, sendo a média das três amostras. Tirando a diferença entre os dois parâmetros, obteve-se um índice de plasticidade de 10,2%, o que apresenta um solo medianamente plástico.

De acordo com o IP, o solo pode ser trabalhado com facilidade média por meio de pressão externa sem ocorrer desagregação de suas partículas

Os resultados apresentados comprovaram os dados contidos na sondagem SPT, utilizados para caracterização preliminar, sendo um solo predominante fino com 60,73% de argila + silte e por isso, houve a necessidade de correção granulométrica por meio da adição de 20% de areia em relação ao valor total da massa seca do material para atender as faixas de composição preferenciais para Tijolo Adobe apresentadas na ABNT NBR 16814:2020.

Em razão da predominância de solos finos na constituição do material, o solo possui plasticidade média, sendo fácil a sua moldagem sem causar desagregação das partículas. Com a adição de cal hidratada foi possível ainda conseguir uma maior retenção de água, aperfeiçoando o processo de cura e a estética do material final, com menos fissuras, menos desprendimento de material e menos retração seguindo as melhorias conforme o aumento da adição.

A recente normatização, sendo a NBR 16814 criada em 2020, trouxe um norteamento para realização de ensaios e a produção e uso do Tijolo Adobe. Todavia, somente os ensaios indicados pela mesma para caracterização do material, sendo eles granulometria e limites de liquidez e plasticidade, não são suficientes para um completo entendimento do material. Por essa razão foi

necessária a adaptação de outros testes, utilizados nos ensaios e na produção de materiais com características semelhantes.

6.3 COMPOSIÇÃO E DIMENSÕES DOS TIJOLOS

Para nomenclatura das tabelas a seguir, considera-se o número do elemento relacionado à porcentagem de cal adicionada, ou seja, T0 é tijolo com terra crua e T10 tijolo com 10% de adição de cal.

Levando em consideração a correção granulométrica com 20% da massa total do tijolo em areia, obtiveram-se os seguintes dados:

Tabela 6 - Composição dos tijolos fabricados (g)

| Elemento | Solo | Areia | Cal Hidratada | Massa total seca |
|----------|------|-------|---------------|------------------|
| T0 | 5120 | 1280 | 0 | 6400 |
| T5 | 4800 | 1280 | 320 | 6400 |
| T10 | 4480 | 1280 | 640 | 6400 |

Fonte: Arquivo pessoal

Para determinação das dimensões das amostras, foram executados os cálculos conforme item 5.2.4 deste artigo e anotados os dados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dimensões dos tijolos fabricados

| Elementos | Dimensões (mm) | | | | | |
|-----------|----------------|----|-----|-----|-----|-----|
| | H1 | H2 | C1 | C2 | L1 | L2 |
| T0 | 76 | 76 | 345 | 346 | 170 | 165 |
| T5 | 80 | 76 | 347 | 349 | 166 | 170 |
| T10 | 78 | 77 | 351 | 348 | 165 | 169 |

Fonte: Arquivo pessoal

Seguindo a ordem dos cálculos, determinaram-se as dimensões médias dos adobes, expressos na Tabela 8.

Tabela 8 - Dimensões médias dos adobes

| Elementos | Dimensões (mm) | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|
| | H _i | C _i | L _i |
| T0 | 76,0 | 345,5 | 167,5 |
| T5 | 78,0 | 348,0 | 168,0 |
| T10 | 77,5 | 349,5 | 167,0 |

Fonte: Arquivo pessoal

Segundo a NBR 16814:2020, para as dimensões efetivas do adobe são admitidas as seguintes tolerâncias, com relação às dimensões nominais:

a) A tolerância de dimensões individuais efetivas do adobe, para H, L e C é de ± 5 mm;

b) A tolerância de dimensões médias da amostra para H, L e C é de ± 5 mm.

Sendo assim, as dimensões dos tijolos analisados atendem totalmente as condições ideais para a produção.

6.4 CARACTERIZAÇÃO VISUAL DOS TIJOLOS

Na etapa de mistura do traço com a adição de cal hidratada, notou-se que a mistura necessitava de uma maior quantidade de água para atingir a consistência ideal de trabalho.

Observou-se que os tijolos com adição de cal apresentaram uma aparência final mais homogênea. Notou-se a aparição de fissuras/trincas durante o processo de secagem do material em todas as amostras, porém essas patologias alcançaram menores dimensões conforme aumento da porcentagem de cal hidratada da mistura.

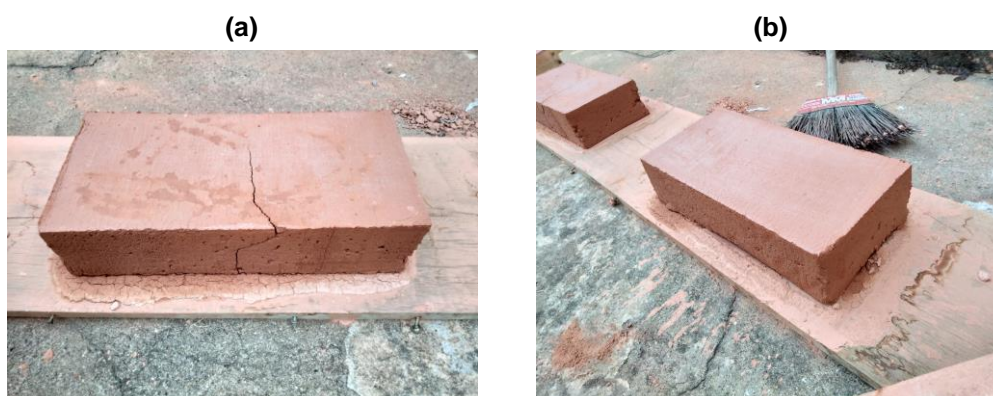


Figura 42 - (a) Presença de rachadura no tijolo; (b) Tijolo com superfície homogênea.
Fonte: Arquivo pessoal

6.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS

Após ensaios realizados, foram feitos os cálculos e obtiveram-se os seguintes resultados expressos nas Tabelas 9 a 12:

Tabela 9 - Dimensões e determinação da área de ruptura do lote 1

| Elemento | Dimensões (mm) | | | | |
|----------|----------------|----|----|----|-------------------------|
| | a1 | a2 | b1 | b2 | Arup (mm ²) |
| T0 | 78 | 78 | 78 | 78 | 6084 |
| T5 | 77 | 77 | 80 | 80 | 6160 |
| T10 | 77 | 77 | 85 | 85 | 6545 |

Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 10 - Dimensões e determinação da área de ruptura do lote 2

| Elemento | Dimensões (mm) | | | | |
|----------|----------------|----|----|----|-------------------------|
| | a1 | a2 | b1 | b2 | Arup (mm ²) |
| T0 | 77 | 77 | 79 | 79 | 6083 |
| T5 | 79 | 79 | 81 | 81 | 6399 |
| T10 | 77 | 77 | 80 | 80 | 6160 |

Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 11 - Dimensões e determinação da área de ruptura do lote 3

| Elemento | Dimensões (mm) | | | | |
|----------|----------------|----|----|----|-------------------------|
| | a1 | a2 | b1 | b2 | Arup (mm ²) |
| T0 | 79 | 78 | 77 | 77 | 6044,5 |
| T5 | 78 | 80 | 80 | 81 | 6359,5 |
| T10 | 80 | 78 | 77 | 78 | 6122,5 |

Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 12 - Carga de ruptura registrada na prensa hidráulica

| Elementos | F _{rup} (tnf) | | |
|-----------|------------------------|------|------|
| | CP1 | CP2 | CP3 |
| T0 | 0,43 | 0,51 | 0,45 |
| T5 | 0,41 | 0,45 | 0,43 |
| T10 | 0,33 | 0,44 | 0,39 |

Fonte: Arquivo pessoal

Para obtenção da resistência à compressão dos CP, foi feita conversão de tnf para N, tendo novos valores contidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Carga de ruptura convertida em Newton

| Elementos | F _{rup} (N) | | |
|-----------|----------------------|---------|---------|
| | CP1 | CP2 | CP3 |
| T0 | 4216,86 | 5001,39 | 4412,99 |
| T5 | 4020,73 | 4412,99 | 4216,86 |
| T10 | 3236,19 | 4314,93 | 3824,59 |

Fonte: Arquivo pessoal

Após ensaios e medições, foi então feitos os cálculos para obtenção da resistência à compressão de cada corpo de prova, como mostra a Tabela 14.

Tabela 14 - Resistência à Compressão dos CP ensaiados

| Elementos | f_{ca} (MPa) | | |
|-----------|----------------|------|------|
| | CP1 | CP2 | CP3 |
| T0 | 0,69 | 0,82 | 0,73 |
| T5 | 0,65 | 0,69 | 0,66 |
| T10 | 0,49 | 0,70 | 0,62 |

Fonte: Arquivo pessoal

Depois de determinar a resistência à compressão de cada corpo de prova, foi então calculado o desvio padrão, resistência à compressão média das amostras e por fim, a resistência característica à compressão do adobe, expressados na Tabela 15.

Tabela 15 - Determinação da Resistência Característica à Compressão do adobe (MPa)

| Elemento | Desvio Padrão | f_{cam} | f_{cak} |
|----------|---------------|-----------|-----------|
| T0 | 0,05 | 0,75 | 0,66 |
| T5 | 0,02 | 0,67 | 0,64 |
| T10 | 0,09 | 0,61 | 0,47 |

Fonte: Arquivo pessoal

Com esses dados, é possível a elaboração de um gráfico para ilustrar os resultados.

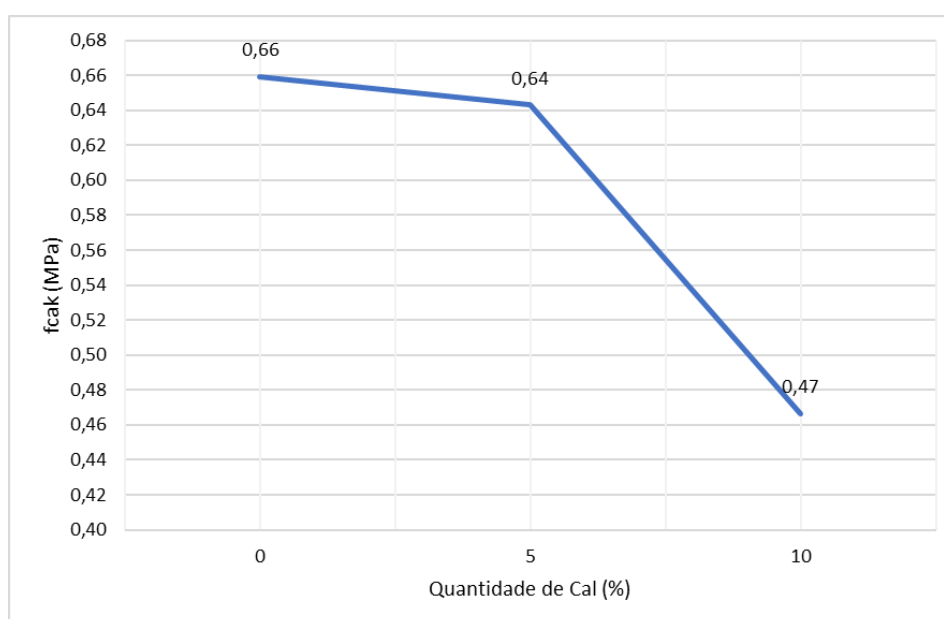


Gráfico 2 - Resistência Característica à Compressão

Fonte: Arquivo pessoal

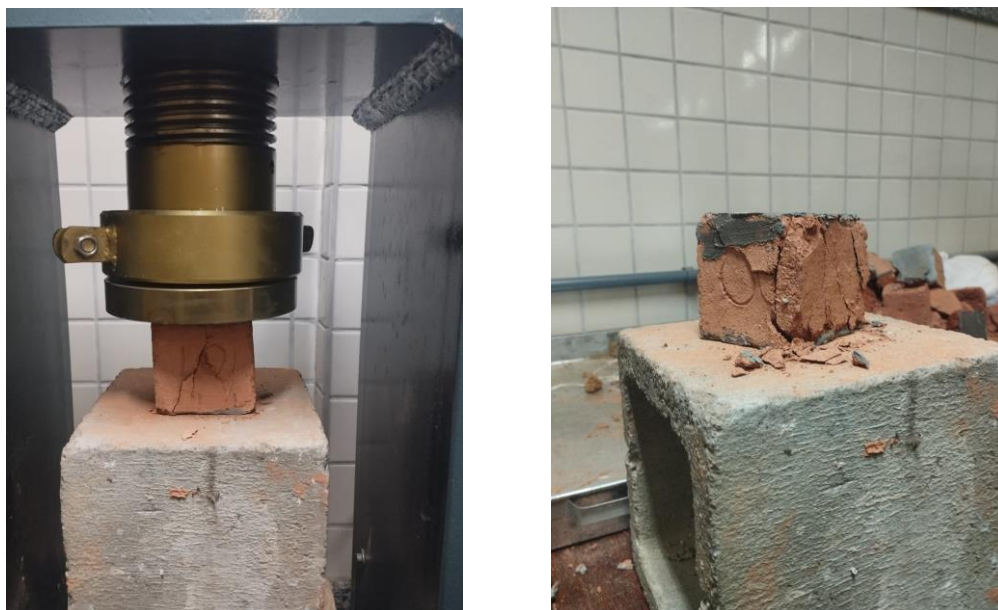


Figura 43 - Corpo de prova T10 após rompimento

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios de resistência mecânica à compressão, foi demonstrado que os Tijolo Adobe ensaiados não possuem a resistência característica mínima necessária por norma de 1,5 MPa, apresentando ainda uma redução da resistência com a adição e conforme aumento da porcentagem de cal hidratada.

Quando comparados os resultados deste ensaio com outros componentes estudados por outros autores, percebeu-se que a adição de cal é a mais ineficiente. Sendo assim, não são suficientemente resistentes para serem utilizados em construções.

6.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO D'ÁGUA.

Após 24 horas completamente imersos em um recipiente com água, os corpos de prova foram totalmente dissolvidos, voltando o solo ao seu estado natural saturado, tornando impossível o manuseio e pesagem do material. Assim, não sendo válido para ensaio de absorção de água, apenas para análise visual.



Figura 44 - Corpos de prova pós-ensaio de absorção de água
Fonte: Arquivo pessoal

Entre os ensaios adaptados para melhor caracterização do material, neste trabalho, a utilização do ensaio de absorção de água por imersão com procedimentos coletados na NBR 8492:2012 – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da Resistência à Compressão e Absorção de Água, foi realizado como uma forma de comprovar uma possível menor absorção de água do tijolo com adição de cal pelo menor número de fissuras por retração. No entanto, a completa dissolução do material ao ser imerso tornou inviável a coleta de resultados.

7 CONCLUSÃO

Embora o preconceito ainda permeie essas técnicas construtivas, os tijolos de adobe tradicionais e com aditivos são cada vez mais utilizados na construção de moradias de baixo custo.

Analisando as vantagens da produção do Tijolo Adobe e a conciliação da disponibilidade de solo ideal *in loco*, este material se apresenta como uma alternativa economicamente viável para a população de baixa renda e uma ótima fonte para pesquisa e desenvolvimento com objetivo de acréscimo de qualidade e aprimoramento das características apresentadas.

Devido ao baixo custo e a facilidade da produção de tijolos Adobe e aos benefícios, principalmente estéticos, acrescentados pela adição de cal hidratada, o tijolo adobe com adição de cal hidratada apresenta condições para se tornar material de mais ensaios com o intuito de se tornar uma ótima técnica construtiva ecologicamente correta.

No entanto, para o uso do tijolo adobe com adição de cal hidratada, serão necessários novos ensaios, com alteração nas porcentagens das composições do solo e/ou da adição e possivelmente adição de novos componentes, para que atenda a resistência mínima característica de 1,5 MPa indicada pela NBR 16814:2020.

8 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS

Em busca de melhoria dos procedimentos de construção com terra e um maior entendimento do comportamento dos materiais, algumas sugestões de trabalhos e ensaios futuros seriam:

- I – Buscar reproduzir todos os ensaios novamente e recomendações das NBRs citadas, sem precisar de adaptações, sendo necessária a busca por material adequado e local de testes/ensaios mais adequados;
- II – Escolher uma jazida com terra em abundância para fabricação de tijolos suficientes para execução dos testes, a fim de obter maior variedade de resultados;
- III – Substituição da Cal por fibras de Polietileno Tereftalato (PET);

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.

_____. **NBR 6459: Solo - Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 2017. 6 p.

_____. **NBR 6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

_____. **NBR 7175: cal hidratada para argamassas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 7180: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016. 7 p.

_____. **NBR 7181: Solo - Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

_____. **NBR 7182: Solo-ensaio de compactação: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

_____. **NBR 8492: Tijolo Maciço de solo cimento – Determinação da resistência a compressão e da absorção d'água**. Rio de Janeiro, 1984. 5 p.

_____. **NBR 16814: Adobe — Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020. 26 p.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. **Terra Crua para Edificações: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, São Paulo, v. 2, p. 1505-1557. 2007.

CRISTELO, N.M.C. (2001). **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. Estruturas, Geotecnia e Fundações. Universidade do Minho.

FILHO, H. R. D. P. **A conformidade da produção do adobe ou tijolo de barro**. Blog Qualidade Online, 26 Fevereiro 2020. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2020/02/26/a-conformidade-da-producao-do-adobe-ou-tijolo-de-barro/>>. Acesso em: 02 mai. 2022.

INSON, N. **O que é Casa de Adobe? Saiba Tudo Sobre o Assunto +22 Fotos**. Casa Decora, 10 Setembro 2021. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/casa-de-adobe/>>. Acesso em: 20 mar. 2022.

LAVINSKY, E. C. A.; SERÔDIO, R. S.; FERREIRA FILHO, E. de M.; CUNHA, J. **Resistência de adobes estabilizados com diversos materiais disponíveis na região cacaueira da Bahia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., 1998, Piracicaba, SP. Anais Piracicaba: CEPLAC/CEPEC/EMARC, 1998.

LUCENA, Caio Cardoso et al. **Mariana – Igreja Matriz de Nossa Senhora de Nazaré.** Elaborada por IPHAN. Disponível em: <<http://www.ipatrimonio.org/mariana-igreja-matriz-de-nossa-senhora-de-nazare/#!/map=38329&loc=-20.186007210985217,-43.348960876464844,11>>. Acesso em: 30 abr. 2022.

MARTINEZ, E. A. (Coord.). **Manual para la construccion das viviendas con adobe.** [S.l.: s.n.], 1979. 16 p.

MESQUITA, Daniel Filipe da Silva. **Viabilidade técnico-económica do tijolo face à vista em fachadas de edifícios em Portugal.** 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

PET CONSTRUÇÃO CIVIL. **Adobe: material milenar como alternativa sustentável no séc. XXI.** Civilização Engenheira, 21 Julho 2020. Disponível em: <<https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2020/07/21/adobe-material-milenar-como-alternativa-sustentavel/>>. Acesso em: 20 mar. 2022.

PEREIRA, Luiz Henrique Meneses. **Edificações Sustentáveis: construções com tijolo adobe.** 2019. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

REDAÇÃO PENSAMENTO VERDE. **As vantagens e desvantagens do tijolo de adobe.** Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/arquitetura-verde/vantagens-desvantagens-tijolo-adobe>>. Acesso em: 20 mar. 2022.

SALGADO, F. A. **Análise Macro-mecânica do Comportamento da Terra como Revestimento Externo, com ou sem Reforço de Fibras Vegetais.** Mestrado (Dissertação). Pontifícia Católica - Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

SANTOS, Daniel Pinheiro; BESSA, Sofia Araújo Lima. **O Uso do Adobe no Brasil: Uma Revisão da Literatura.** MIX Sustentável, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 53-66, mar. 2020. ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: 20 mar. 2022. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073>. MIX2020.v6.n1.53-66.

SILVA, D. N. A. C. **A viabilidade técnica e econômica do uso do bambu: a utilização do “Bambusa vulgaris” como entramado nas construções em taipa.**

Dissertação. Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil, 2011.

STRINGUETO, Kátia; BIS, Keila. **Adobe, matéria-prima tão antiga, pode ser alternativa para o futuro**. 2016. Disponível em: <<https://casa.abril.com.br/casas-apartamentos/adobe-materia-prima-tao-antiga-pode-ser-alternativa-para-o-futuro/>>. Acesso em: 19 mar. 2022.

ANEXO A - LAUDO SONSAGEM SPT



Relatório de Sondagem à Percussão

Cliente: LGA Empreendimentos Imobiliários Ltda - EPP
End. Obra: Rua Dr. Olavo Tostes, n. 131 - Centro

Muriaé – MG

Fevereiro/2020

01/0820

WWW.SKAVATECGEOTECNIA.COM

e-mail's- sondagens@skavatecgeotecnia.com

Escritório : Rua Dr. José Rafael de Souza Antunes, 575 – Lourdes

Juiz de Fora - MG

Tels: (32) 3215-1279 / 9-9982-1279 / 9-9975-2440

| | |
|---|---|
|  <small>FUNDAÇÕES & GEOTECNIA</small> | RELATÓRIO SPT |
| | SONDAGENS - ESTACAS DE CONCRETO E METÁLICAS - TUBULÕES - FUNDAÇÕES E OBRAS EM GERAL. |

CLIENTE: LGA Empreendimentos Imobiliários Ltda - EPP
 LOCAL: Rua Dr. Olavo Tostes, n. 131 - Centro
 Muriaé - MG


Folha:01/06
 Relatório n°:01/0820
 Q. Furos: 08
 Total (m): 162,37

Prezado Cliente,

- 1-Passamos a V.V.S.S., os resultados das sondagens realizadas no endereço indicado acima.
- 2-Os serviços são sempre realizados com obediência as NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS, principalmente as NBR 6484,6502,6491 e 8036;
- 3-Os serviços e análises, aqui apresentados, são executados com acompanhamento TÉCNICO de um profissional de ENGENHARIA, conforme exigência legal (Registrado no CREA - MG)
- 4-Ao se encontrar água, o relatório mostra o N.A inicial e final (após 24 horas) tal referência é em relação a cota da boca do furo.
- 5-O perfil de cada furo, é indicado por SP (N°), é obtido pelas amostras do solo, representando as ocorrências e variações geotécnicas, identificadas no perfil, sempre em acordo com ABNT.
- 6-A cota de cada furo referencia-se a cota arbitrada para RN, e o perfil de sondagem é elaborado e mostrado a partir de cada metro da boca do furo.
- 7-Todos os elementos obtidos estão apresentados nos perfis ANEXOS, CONTENDO DA SEGUINTE FORMA:
 - Coluna 1: Marcadores de Profundidade;
 - Coluna 2: Método de Avanço:CA - Circ.Água, TH - Trado Helicoidal, TC Trado Cavadeira;
 - Coluna 3: O nível d'água e a cota em relação ao RN;
 - Coluna 4: Representação das Amostras e inclusive representar na quantidade de revestimentos utilizado através de uma linha mais grossa nas laterais;
 - Coluna 5: Profundidade provável das camadas, podendo ocorrer pequenas variações ao longo do terreno;
 - Coluna 6: Números de golpes iniciais e finais, considerando NPST=F;
 - Coluna 7: Gráfico de resistência à penetração do amostrador;
 - Coluna 8: Classificação das camadas;

ESCLARECIMENTOS ADICIONAIS:

- 1: É importante frisar, que a metodologia e equipamentos utilizados nas sondagens de reconhecimentos de solos (SPT), não são adequados a uma pesquisa mais rigorosa do lençol d'água, sendo que, para adoção de fundações em tubulões a céu aberto é de técnica que confirme a posição do N.A, com a finalidade de verificar a ocorrência de água subterrânea.
- 2: É importante observar que quando ocorre a paralisação da sondagem por impenetrabilidade do trépano, deve-se confirmar a sondagem, com a execução de "sondagem mista" atendendo-se as exigências técnicas.

|  | 01A/018 | | |
|--|--|---------------------------------------|-----------------|
| | SONDAGENS - ESTACAS DE CONCRETO E METÁLICAS - TUBULÕES - FUNDAÇÕES E OBRAS EM GERAL. | | |
| <p>• 3: - O desenvolvimento e a evolução social, bem como a maior disponibilização de profissionais, de ENGENHARIA, obriga-nos a um constante AVANÇO TÉCNICO, assim é que, apresentamos, a seguir informações técnicas que entendemos útil aos nossos CLIENTES e aos profissionais, que se utilizarão a presente sondagem.</p> <p>Tal informação é o correlacionamento entre os números do SPT e a pressão admissível do terreno correspondente:</p> <p>• 4: - Observação MUITO IMPORTANTE E INTERESSANTE - INA-(Indicador do Nível d'água- Muita vezes (terrenos moles, arenosos, etc) os furos de sondagem se fecham após a retirada das ferramentas de sondagem, impossibilitando a correta leitura do Nível d'água da sondagem após 24hs necessárias a estabilização. Para uma maior precisão na leitura do (NA-Nível d'água), recomendamos e indicamos a instalação de um tubo PVC de 1" da boca do furo até o impenetrável em pelo menos um dos furos, o que possibilitara a leitura do NA a qualquer tempo.</p> | | | |
| SOLOS COESIVOS - COEFICIENTE DE SEGURANÇA = 3 | | | |
| S.P.T | CONSISTÊNCIA | PRESSÃO ADMISSÍVEL Kg/cm ² | |
| | | SAPATA ISOLADA | SAPATA CONTÍNUA |
| 2 | MUITO MOLE | 0,25 | 0,20 |
| 02 a 04 | MOLE | 0,25 a 0,50 | 0,20 a 0,40 |
| 04 a 08 | MÉDIA | 0,50 a 1,00 | 0,40 a 0,80 |
| 08 a 15 | RIJA | 1,00 a 2,00 | 0,80 a 1,80 |
| 15 a 30 | MUITO RIJA | 2,00 a 4,00 | 1,80 a 3,70 |
| > 30 | DURA | 4,00 a 8,00 | 3,70 a 8,00 |

SOLOS GRANULARES - COEFICIENTE DE SEGURANÇA = 6

| S.P.T | COMPACIDADE | | PRESSÃO ADMISSÍVEL Kg / cm ² | |
|---------|-----------------------|--------------|---|------|
| | | | ASSENTAMENTO SAPATA | |
| 5 | FOFA | AREIA FINA | 0,50 | 1,00 |
| | | AREIA GROSSA | 0,70 | 1,40 |
| 5 a 10 | MEDIANAMENTE COMPACTA | AREIA FINA | 1,80 | 1,40 |
| | | AREIA GROSSA | 1,30 | 3,20 |
| | | AREIA FINA | 1,00 | 2,20 |
| 10 a 25 | COMPACTA | AREIA GROSSA | 1,80 | 3,00 |
| > 25 | MUITO COMPACTA | | 2,80 | 6 |

OBS.:1 - Estudar sempre, o perfil do terreno quanto a construção e a possibilidade de escoamento dos solos.

OBS.:2 - A quantidade e localização dos furos foram determinados pelo contratante.

Sem mais, estaremos sempre a disposição de V.V.S.S., para qualquer esclarecimento que se fizer necessário.

Eng^o. LEONARDO LIMA SERRÃO NEVES

Eng^o. LÚCIO ANTÔNIO TRIFILIO JUNIOR

SITE - WWW.SKAVATECGEOTECNIA.COM - email = sondagens@skavatecgeotecnia.com

Cliente - LGA Empreendimentos Imobiliários Ltda-EPP

Relatório -01/0820

Obra: Rua Dr. OlavoTostes, n. 131 - Centro - Muriaé - MG



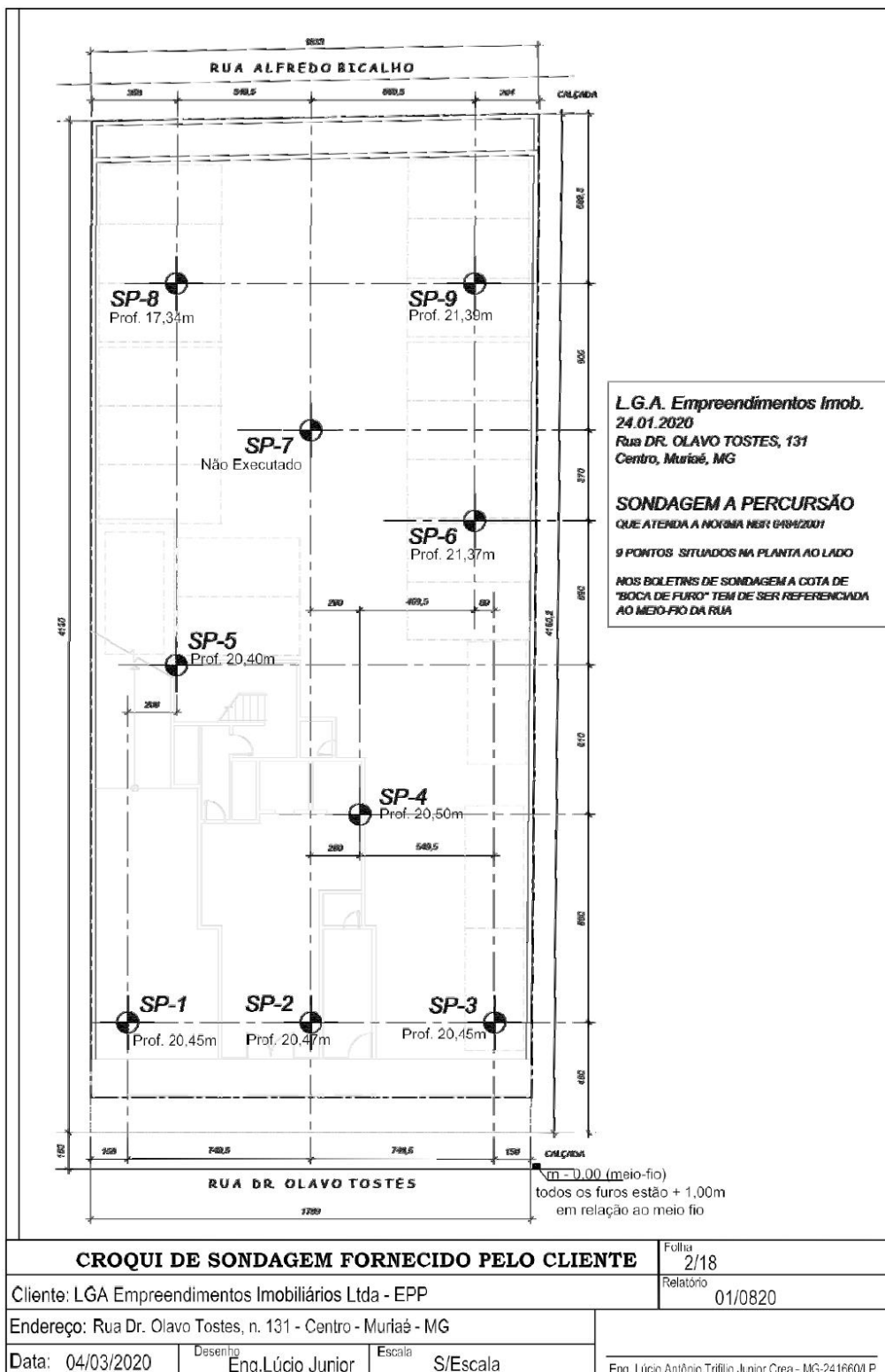
INA (Indicador de N instalado no SP03)

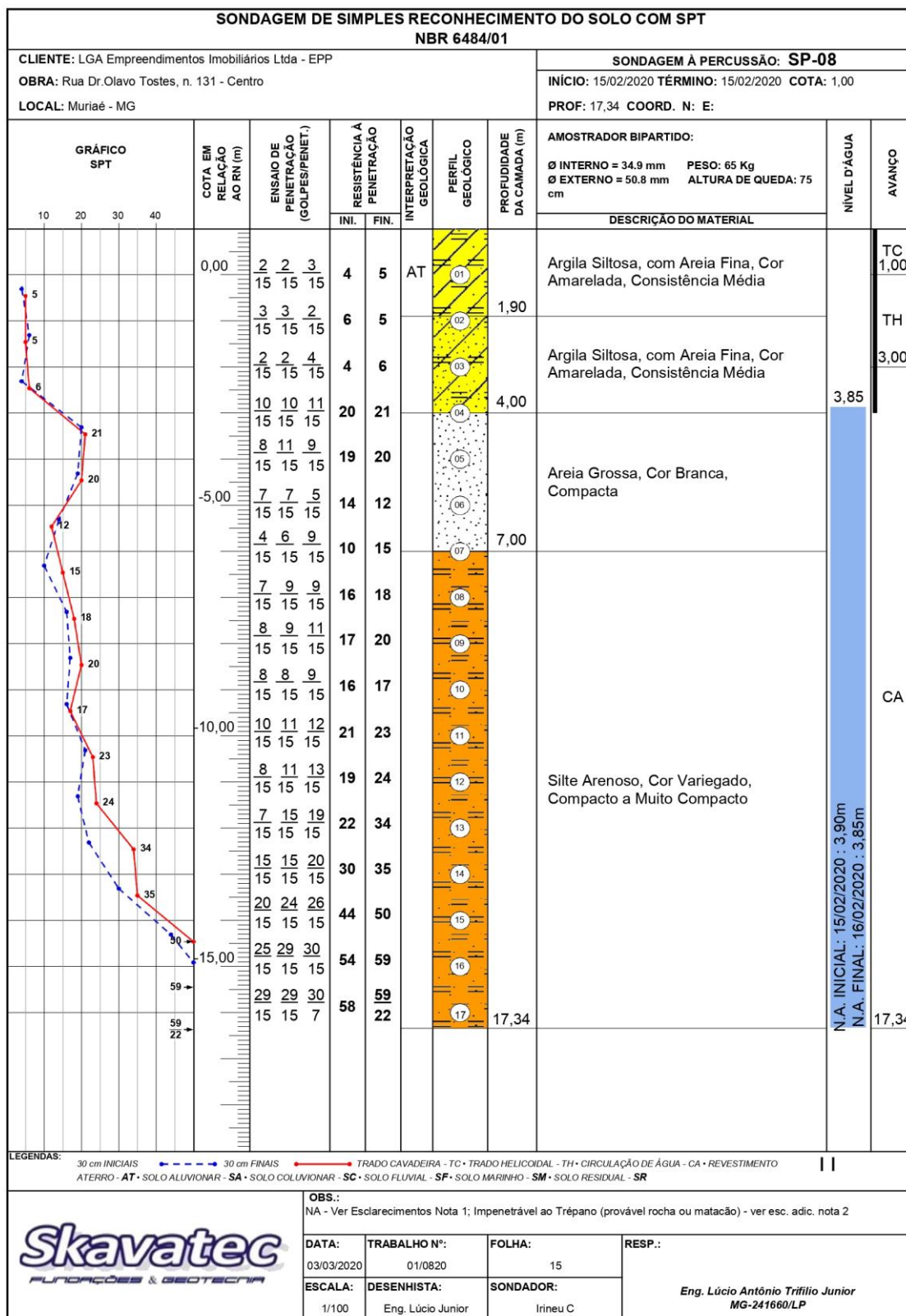



Equipamento de Sondagem em Operação



Amostras Coletadas pelo Amostrador





| SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------------------------|---|------|---|------------------|----------------------------|--|--|--------|
| NBR 6484/01 | | | | | | | | | | |
| CLIENTE: LGA Empreendimentos Imobiliários Ltda - EPP | | | | | SONDAGEM À PERCUSSÃO: SP-08 | | | | | |
| OBRA: Rua Dr.Olavo Tostes, n. 131 - Centro | | | | | INÍCIO: 15/02/2020 TÉRMINO: 15/02/2020 COTA: 1,00 | | | | | |
| LOCAL: Muriaé - MG | | | | | PROF: 17,34 COORD. N: E: | | | | | |
| GRÁFICO SPT | COTA EM RELAÇÃO AO RN (m) | ENSAIO DE PENETRAÇÃO (GOLPES/PENET.) | RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO | | INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA | PERFIL GEOLÓGICO | PROFUNDIDADE DA CAMADA (m) | AMOSTRADOR BIPARTIDO: Ø INTERNO = 34.9 mm PESO: 65 Kg Ø EXTERNO = 50.8 mm ALTURA DE QUEDA: 75 cm | NÍVEL D'ÁGUA | AVANÇO |
| | | | INI. | FIN. | | | | | | |
| 10 20 30 40 | 20,00 25,00 30,00 35,00 | | | | | | | IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO DE LAVAGEM | | |
| | | | | | | | | FURO PARALISADO CONFORME DESCRITO NO ITEM 6.4.3.3 DA NORMA NBR6484:2001 - SOLO - SONDAÇÃO DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT. | | |
| | | | | | | | | ENSAIO DE LAVAGEM: 1º 10 min = 0,01 cm 2º 10 min = 0,01 cm 3º 10 min = 0,00 cm | | |
| | | | | | | | | | N.A. INICIAL: 15/02/2020 : 3,90m N.A. FINAL: 16/02/2020 : 3,85m | |
| LEGENDAS: 30 cm INICIAIS 30 cm FINAIS TRADO CAVADEIRA - TC • TRADO HELICOIDAL - TH • CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA • REVESTIMENTO ATERRO - AT • SOLO ALUVIONAR - SA • SOLO COLUVIONAR - SC • SOLO FLUVIAL - SF • SOLO MARINHO - SM • SOLO RESIDUAL - SR | | | | | | | | | | |
| OBS.: NA - Ver Esclarecimentos Nota 1; Impenetrável ao Trépano (provável rocha ou matacão) - ver esc. adic. nota 2 | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 03/03/2020 | 01/0820 | 16 | Eng. Lúcio Antônio Trifilho Junior MG-241660/L | | | | | | | |
| ESCALA: | DESENHISTA: | SONDADOR: | | | | | | | | |
| 1/100 | Eng. Lúcio Junior | Írineu C | | | | | | | | |