



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

GEOVANNA DIAS BEZERRA

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E PROPRIEDADES
MECÂNICAS DE PAREDES DE ADOBE DO CENTRO HISTÓRICO DE PORTO
NACIONAL - TO**

**PALMAS
2024**

GEOVANNA DIAS BEZERRA

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E PROPRIEDADES
MECÂNICAS DE PAREDES DE ADOBE DO CENTRO HISTÓRICO DE PORTO
NACIONAL - TO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenheiro Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes

**PALMAS
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

B574a Bezerra, Geovanna Dias
Avaliação das características dos materiais e propriedades
mecânicas de paredes de adobe do centro histórico de Porto
Nacional - TO / Geovanna Dias Bezerra. – PALMAS, TO, 2024.
64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, PALMAS, TO, 2024.

Orientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes

1. Construções históricas. 2. Porto Nacional. 3. Adobe. I. Fortes,
Rodrigo Araújo. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

GEOVANNA DIAS BEZERRA

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PAREDES DE ADOBE DO CENTRO HISTÓRICO DE PORTO NACIONAL - TO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como exigência
à obtenção do grau em Engenharia Civil.

Aprovado em: 19/06/2024

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente



RODRIGO ARAUJO FORTES

Data: 26/06/2024 16:37:43-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes
Orientador

Documento assinado digitalmente



ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO

Data: 26/06/2024 17:30:57-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho

Documento assinado digitalmente



CEJANE PACINI LEAL MUNIZ

Data: 26/06/2024 17:21:54-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Arq. Urb. Cejane Pacini Leal Muniz

*Dedico este trabalho a memória do meu pai,
João Neto, cuja força e sabedoria ainda
iluminam meus passos.*

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso é fruto de um período de muito aprendizado, dedicação e apoio de várias pessoas, às quais sou profundamente grata. Primeiramente, agradeço à minha família por ser meu alicerce e fonte constante de apoio.

Agradeço especialmente à minha mãe, Maria Cicera, por todo o amor e dedicação durante minha trajetória. Ela esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e me proporcionou a oportunidade de sonhar e batalhar pelos nossos objetivos.

Quero expressar minha profunda gratidão a todas as minhas irmãs, que sempre me inspiram a ser uma pessoa melhor. Espero que eu possa servir de exemplo para essas minhas pequenas mulheres, Laura, Júlia e Yasmim, e ser motivo de orgulho para minha irmã Gessica.

Agradeço também ao meu grande amigo e pai, João Neto. Eu não estaria aqui hoje se não fosse pelo seu apoio. Obrigada por ter sido meu maior incentivador, por ter me ensinado a acreditar no meu potencial por sempre encorajar meus projetos. Espero que, de onde você estiver, esteja se orgulhando de mim.

Quero deixar minha profunda gratidão ao meu esposo, Maksud, sua lealdade é extremamente importante na minha vida. Obrigada por toda sua dedicação, amor, paciência e carinho. Sua ajuda foi crucial, nada disso faria sentido sem você.

Ao meu orientador, Professor Me. Rodrigo Araújo Fortes, agradeço por sua orientação, paciência e valiosas contribuições durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua expertise e conselhos foram fundamentais para a conclusão deste TCC.

Também sou grata à equipe da Técnica Engenharia Ltda, que foi solícita e me ajudou bastante na realização dos ensaios.

Por fim, aos meus amigos e colegas de curso, que compartilharam comigo momentos de estudo e apoio mútuo, a colaboração e amizade de vocês foram essenciais para superar todos os desafios.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

Robert Collier

RESUMO

Preservar o patrimônio histórico é importante para manter viva a memória e a identidade de uma comunidade, garantindo a continuidade das tradições e valores culturais. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar as condições das paredes de adobe em uma edificação localizada no centro histórico de Porto Nacional -TO. Visando garantir a conformidade com normas técnicas e também auxiliar na conservação e restauração adequadas desse importante legado arquitetônico. A metodologia adotada será um estudo de caso, envolvendo a coleta de amostras de parede de adobe no Abrigo João XXIII S.S. VP. Os ensaios, conduzidos no Laboratório de Materiais de Construção do Campus Palmas do IFTO, compreendem a análise de algumas características dos materiais, tais como limite de liquidez, plasticidade, índice de consistência e composição granulométrica, bem como a avaliação das propriedades mecânicas por meio do ensaio de compressão. Espera-se que os resultados deste estudo colaborem para o entendimento das condições estruturais e materiais das paredes de adobe nesta edificação e contribuam para as estratégias de conservação de outras com características semelhantes.

Palavras-chave: Construções históricas, Porto Nacional, Adobe.

ABSTRACT

Preserving historical heritage is important for keeping the memory and identity of a community alive, ensuring the continuity of cultural traditions and values. In this context, the present study aims to evaluate the conditions of adobe walls in a building located in the historic center of Porto Nacional - TO. This evaluation seeks to ensure compliance with technical standards and to assist in the proper conservation and restoration of this important architectural legacy. The methodology adopted will be a case study, involving the collection of adobe wall samples from the João XXIII S.S. VP Shelter. The tests, conducted at the Construction Materials Laboratory of the Palmas Campus of IFTO, will include the analysis of certain material characteristics, such as liquid limit, plasticity, consistency index, and granulometric composition, as well as the evaluation of mechanical properties through compression testing. It is expected that the results of this study will contribute to the understanding of the structural and material conditions of the adobe walls in this building and aid in conservation strategies for other buildings with similar characteristics.

Keywords: Historical constructions, Porto Nacional, Adobe.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição granulométrica Bloco 01	40
Gráfico 2 - Composição granulométrica Bloco 02	41
Gráfico 3 - Limite de Liquidez Bloco 01	43
Gráfico 4 - Limite de Liquidez Bloco 02	43
Gráfico 5 - Limite de Liquidez Bloco 03	44
Gráfico 6 - Distribuição normal: Densidade (g/cm^3), f_{ca} (MPa) e Deformação Específica de Ruptura (%)	46
Gráfico 7 - Análise de dispersão	47
Gráfico 8 - Boxplot entre Densidade, F_{ca} e Def. Esp. Ruptura	48
Gráfico 9 - Correlação entre Densidade e Resistência à Compressão	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados ensaio de sedimentação	41
Tabela 2 - Limite de Liquidez	42
Tabela 3 - Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de consistência.	44
Tabela 4 - Valores médios de densidade, resistência à compressão, resistência característica à compressão e seus respectivos coeficientes de variação.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casarios ancestrais em adobe no Novo México	17
Figura 2 - Construção em adobe em Calculé na Bahia	18
Figura 3 - Ruas do Centro Histórico de Porto Nacional	19
Figura 4 - Casarão da família Pedreira.....	22
Figura 5 - Fluxograma do trabalho	23
Figura 6 - Local de retirada das amostras	24
Figura 7 - Abrigo João XXIII S.S. VP	24
Figura 8 - Regularização e armazenamento das amostras	25
Figura 9 - Quartamente das amostras.....	25
Figura 10 – Destorroamento da amostra	26
Figura 11 - Peneiramento do solo	27
Figura 12 - Calibração do densímetro	28
Figura 13 - Obtenção das dimensões do densímetro	28
Figura 14 - Umidade higroscópica.....	29
Figura 15 - Densidade real	29
Figura 16 - Preparação do defloculante e dispersor mecânico.....	30
Figura 17 - Agitação manual.....	31
Figura 18 - Leituras do densímetro.....	31
Figura 19 – Aparelho de Casagrande.....	32
Figura 20 - Ensaio para determinar Limite de Liquidez	33
Figura 21 – Amostra de solo para ensaio de plasticidade	34
Figura 22 - Ensaio para determinar Limite de Plasticidade	35
Figura 23 - Determinação do índice de absorção de água inicial (sucção)	36
Figura 24 - Corpos de prova para ensaio de compressão.....	37
Figura 25 - Capeamento dos corpos de prova para ensaio de compressão	37
Figura 26 - Máquina Universal EMIC DL10000	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problema de pesquisa.....	15
1.2 Justificativa.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 História da construção com adobe	17
2.2 Características dos materiais e propriedades mecânicas do adobe	19
2.3 Preservação do patrimônio histórico	21
2.4 Estudos anteriores sobre construções em adobe	21
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	23
3.1 Coleta e Preparação das Amostras.....	23
3.2 Caracterização dos materiais e propriedades mecânicas	26
3.2.1 Ensaio de Granulometria.....	27
3.2.2 Determinação do Limite de Liquidez	32
3.2.3 Ensaio para determinar o Limite de Plasticidade.....	34
3.2.4 Ensaio de índice de absorção de água inicial	35
3.2.5 Resistência à Compressão do adobe.....	36
3.3 Análise Estatística	39
4 RESULTADOS E DISCUSÕES	40
4.1 Propriedades do solo.....	40
4.1.2 Análise granulométrica.....	40
4.1.3 Limite de liquidez.....	42
4.1.4 Limite de plasticidade	44
4.2 Propriedades Mecânicas	45
4.2.1 Densidade	49
4.2.2 Resistência à Compressão.....	49
4.2.3 Índice de absorção d'água inicial.....	50
4.2.4 Correlação de Pearson.....	50

5 Considerações finais	52
REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICES	
Apêndice A – Roteiro de ensaio de Granulometria	55
Apêndice B – Roteiro de ensaio de Limite de Liquidez	61
Apêndice C – Roteiro de ensaio de Limite de Plasticidade	63

1 INTRODUÇÃO

As técnicas de construção com terra surgiram em quase todas as civilizações do passado e expandiram-se através das invasões e colonizações, comuns na história da Humanidade (Neves; Faria, 2011, p. 9). Conforme observado por Pinto (2021), a construção com adobe ressaltava-se como uma das principais técnicas da arquitetura vernacular amplamente utilizada pela sociedade brasileira.

Ademais, seus atributos contribuem para viabilizar sua utilização, conforme afirmam Varum *et al.* (2011), o adobe possui boas propriedades térmicas e acústicas, além de estar associada a métodos construtivos simples, que exigem pouco consumo de energia. Sua matéria-prima pode ser facilmente obtida, utilizando o solo local, o que confere ao adobe uma característica de produto regionalmente diversificado.

As construções em adobe são parte integrantes do patrimônio cultural nacional, estabelecendo uma conexão significativa com a ancestralidade e a evolução histórica do país. Nesse sentido, Carmesini (2019) afirma que as edificações históricas preservam o legado do passado, transmitindo-o às gerações presentes e futuras, refletindo a memória, o estilo de vida, a história e a cultura de um povo.

Diante disso, o presente estudo visa averiguar as paredes de adobe do Abrigo João XXIII S.S. VP, localizada no Centro Histórico de Porto Nacional, no estado do Tocantins. Este que popularmente é conhecido como, "Abrigo dos Velhos", é um imponente casarão em Porto Nacional, que carrega significativa relevância histórica. Inicialmente, foi sede do Correio, desempenhando um papel crucial nas comunicações da cidade.

Posteriormente, o edifício serviu como hospital por muitos anos, tornando-se um marco de cuidado e serviço à comunidade. Sua trajetória reflete a evolução e a importância dos serviços essenciais para a população local. Assim, ele representa um patrimônio arquitetônico de grande importância, reconhecido pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) como relevante para a cultura nacional.

Os desafios de conservação enfrentados por essa estrutura demandam análises e intervenções específicas. Deste modo, o presente estudo visa contribuir para a preservação patrimonial, elucidando sobre o comportamento estrutural neste tipo de Edificação sustentável.

Ao compreender os materiais tradicionais utilizados na construção, como o adobe, podemos explorar alternativas de construção que sejam mais duráveis, econômicas e ambientalmente amigáveis. Dessa forma, não apenas estaremos preservando a história e a cultura local, mas também contribuindo para a criação de um ambiente construtivo mais sustentável para as gerações futuras.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como se encontram as paredes de adobe do Abrigo João XXIII S.S. VP, localizado no Centro Histórico de Porto Nacional em relação a algumas características dos materiais e ao seu comportamento e mecânico? considerando a caracterização granulométrica, limite de liquidez, plasticidade, consistência, e ensaios de compressão, a amostra coletada de adobe está atendendo as normativas vigentes?

1.2 JUSTIFICATIVA

O Centro Histórico de Porto Nacional, no Tocantins, representa um significativo acervo da história local e nacional, refletindo características arquitetônicas do período colonial. Apresentando um conjunto de edificações predominantemente em adobe, material tradicional à base de argila e terra crua, além das construções tradicionais do local. A preservação dessas estruturas enfrenta desafios devido a deterioração natural ao longo do tempo, exigindo estudos e intervenções para sua preservação.

De acordo com Varum *et al.* (2011), uma parcela significativa dos edifícios históricos construídos com adobe apresenta-se em condições precárias de conservação, resultado da negligência em termos de manutenção e do uso de técnicas inadequadas de reabilitação. Nesse contexto, a caracterização do adobe se torna fundamental para o conhecimento de suas propriedades e para a avaliação de sua resistência e durabilidade.

Desta forma, o estudo permitirá uma análise de algumas características dos materiais e propriedades mecânicas dos blocos de adobe, identificando os riscos de colapso, além de avaliar a suscetibilidade do adobe à deterioração. Esse estudo será fundamental para assegurar a durabilidade dessas edificações e, por conseguinte, a preservação do patrimônio histórico local.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar algumas características dos materiais e propriedades mecânicas de paredes de adobe presente no Abrigo João XXIII S.S. VP, localizado no centro histórico de Porto Nacional – TO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Coletar amostras representativas de adobe do Centro Histórico de Porto Nacional, garantindo a representatividade das diferentes áreas e condições das construções.
- Realizar a caracterização do material por meio dos ensaios de composição granulométrica segundo a NBR 7181 (ABNT, 2016) e determinação de limite de liquidez e plasticidade seguindo a NBR 7180 (ABNT, 2016).
- Efetuar a caracterização da propriedade mecânica através do ensaio de compressão nas paredes de adobe, conforme normas a norma NBR 16.814 (ABNT, 2020).
- Analisar resultados da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 História da construção com adobe

A utilização da terra como matéria-prima para construções remete a diversas civilizações antigas, representando uma prática milenar que evidencia a engenhosidade e adaptabilidade humanas ao ambiente circundante. Conforme destacado por Minke (2015), as técnicas de construção com terra possuem uma história que se estende por mais de 9000 anos. Um exemplo desse legado arquitetônico encontra-se nas casas construídas entre 8000 e 6000 A.C., no Turquemenistão Russo, utilizando tijolos de lama, conhecidos como adobe.

Conforme indicado por Minke (2015), no México, América Central e do Sul, a construção em adobe era popular entre diversas civilizações pré-colombianas, sendo uma característica significativa para a consolidação da identidade cultural daqueles que habitavam essas regiões. Conforme aponta Torgal, Eires e Jalali (2009), no Povoado de Taos, no estado do Novo México, existe a presença de casarios ancestrais em adobe erguidos entre 1000 e 1500 D.C. (Figura 1), que evidenciam realizações arquitetônicas notáveis. Ademais, elas desempenham um papel importante na preservação e transmissão da herança cultural dessas comunidades.

Figura 1 - Casarios ancestrais em adobe no Novo México



Fonte: Perreira; Wong (2023).

Já no Brasil, construções em adobe foram amplamente utilizadas durante o período colonial, entre os séculos XVII e XVIII, influenciadas pela arquitetura de Portugal da época e pela presença dos povos africanos escravizados (Santos e Bessa, 2020). Essas estruturas são encontradas em diversas regiões, tanto em ambientes rurais quanto urbanos conforme elucida a Figura 2. Dessas estruturas, podemos destacar a resiliência e durabilidade do adobe, com seu grande potencial de resistir ao tempo.

Figura 2 - Construção em adobe em Calculé na Bahia



Fonte: Holanda (2021).

A predominância de construções em adobe regrediu no final do século XIX, perdendo assim espaço para a alvenaria de tijolos. Passando por um período de hiato, contudo a construção com terra ressurgiu a partir da década de 1970, impulsionada pela crise do petróleo, crescentes problemas ambientais e a busca por práticas mais sustentáveis na construção civil (Santos e Bessa, 2020). Dessa forma, pode-se notar que o Brasil adotou medidas mais consistentes em direção a uma construção civil sustentável, a partir da década de 1990 marcando um avanço na utilização do adobe.

Análogo ao restante do Brasil, há presença de construções vernaculares na região de Porto Nacional, no Tocantins. Ademais, seu centro histórico representa um valioso acervo arquitetônico que remete ao período da mineração do ouro, abrangendo desde meados do século XVIII até o século XX, conforme registrado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN, 2014). Através dessas edificações históricas, testemunhamos a riqueza patrimonial brasileira, tornando-se

um local significativo para a formação cultural. Em reconhecimento a essa relevância, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) conferiu o tombamento deste centro histórico em 2008.

A poligonal de tombamento abrange parte da zona central e compreende o sítio natural, a malha urbana e as arquiteturas implantadas desde a consolidação do município até a década de 1960 (IPHAN, 2014). Conforme elucida Balsan (2021), A arquitetura colonial presente na Figura 3, é herança dos portugueses, uma vez que eram aplicadas as regras das cartas régias que vinham de Portugal. Assim, a urbanização do centro histórico de Porto Nacional originou-se da importância comercial e portuária do núcleo urbano às margens do Rio Tocantins, conectando-se às regiões próximas ou a áreas mais distantes, como o Pará e o Maranhão (Brasil, 2011).

Figura 3 - Ruas do Centro Histórico de Porto Nacional



Fonte: IPHAN (2019).

2.2 Características dos materiais e propriedades mecânicas do adobe

Conforme afirma Torgal, Eires e Jalali (2009), a caracterização do solo é realizada a partir de uma série de ensaios que permitem quantificar as propriedades, granulométricas, o seu comportamento mecânico e o seu comportamento à deformação para um determinado nível de humidade. Estas informações são

importantes para interpretar as condições da edificação e mitigar eventuais problemas provenientes da inadequabilidade das propriedades.

Dessa forma, ao considerar a caracterização do adobe, são admitidos parâmetros para otimizar seu desempenho. Assim, a NBR 16814:2020 indica que a composição granulométrica ideal para a mistura de solo para produção de adobe envolve os seguintes teores: areia de 45% a 65%, silte até 30%, e argila de 25% a 35%. Além disso, a correção granulométrica com areia média (0,25-0,50 mm) demonstra ser uma prática capaz de aprimorar a qualidade do produto final.

Outro fator importante são os Limites desenvolvidos por Atemberg em 1911, denominados limites de liquidez (LL), plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP). O LL, que determina a transição entre os estados líquido e plástico. Abaixo do LL, o solo assume propriedades plásticas e resistência ao cisalhamento. O limite de plasticidade, por sua vez, é a umidade mínima necessária para moldar manualmente um cilindro com 3 mm de diâmetro. Já o índice de plasticidade fornece uma medida da plasticidade do solo, indicando a quantidade de água que um solo pode perder enquanto se mantém no estado plástico.

Outrossim, é importante salientar as características provenientes da resistência do solo, na promoção de soluções construtivas eficazes para o desempenho estrutural. Assim, considerando a resistência do solo como uma característica multifatorial, Corrêa *et al.* (2006) explicam que a resistência à compressão do adobe é afetada por fatores, tais como a composição do solo, o método de produção e as condições de cura. Os valores de resistência à compressão podem ultrapassar aqueles registrados nas normas técnicas.

Se tratando de normativas, no Brasil a NBR 16814:2020 estabelece requisitos para a produção de adobe e execução da alvenaria, incluindo métodos de ensaio para caracterização dos materiais e propriedades mecânicas. No Chile, a norma NCh 3332:2013, desenvolvida pela Comissão de Construção Patrimonial do Instituto de Construção, busca fornecer bases para intervenções em construções patrimoniais de terra crua. Já no Peru, a Norma E.080 do Reglamento Nacional de Edificaciones (2017) define requisitos para a produção de adobe, seja simples ou estabilizado, como unidade para construção de alvenaria, explorando suas características, comportamento e forma. Essas normas estabelecem padrões, contribuindo para a qualidade e sustentabilidade das construções em adobe.

2.3 Preservação do patrimônio histórico

A preservação do patrimônio histórico é uma questão que envolve muitos desafios, especialmente quando se trata de edifícios construídos com adobe. Para Brandi (2004), a restauração deve visar a preservação da obra de arte em sua totalidade, respeitando tanto a intenção original do artista quanto as marcas deixadas pelo tempo. No caso de edifícios de adobe, isso pode significar a preservação de técnicas de construção tradicionais e a manutenção da aparência histórica do edifício.

Por outro lado, Kühl (2007), discute em seu trabalho a importância de considerar o contexto cultural e histórico de um edifício ao planejar sua restauração. Isso é particularmente relevante para edifícios de adobe, que são frequentemente parte integrante da identidade cultural de uma comunidade.

Ao abordar sobre desafios específicos enfrentados na preservação de edifícios de adobe, a deterioração é uma preocupação significativa. O adobe é suscetível a danos causados por água, vento e atividade sísmica. Assim, técnicas de reabilitação podem incluir o uso de revestimentos protetores, a incorporação de elementos estruturais modernos para aumentar a resistência sísmica, e a reparação de danos causados pela água e pelo vento utilizando técnicas tradicionais de adobe.

Diante do exposto, fica evidente que as estratégias de conservação adotadas tendem a equilibrar a necessidade de preservar a integridade histórica do edifício com a necessidade de garantir sua segurança e utilidade contínuas. Isso pode envolver um compromisso entre a preservação estrita defendida por Brandi (2004), e a adaptação cuidadosa defendida por Kühl (2007).

2.4 Estudos anteriores sobre construções em adobe

Santos (2022), conduziu um estudo de caso onde explorou a aplicação da Metodologia da Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) para examinar as manifestações patológicas em um casarão construído em adobe, situado no centro histórico de Porto Nacional, conforme mostra a Figura 4. A pesquisa abrangeu inspeções in loco, registro fotográfico, elaboração de mapas de danos e a utilização do método, resultando na criação de gráficos de prioridades que indicam a sequência de tratamento para cada dano em cada edificação.

Por meio dessa abordagem, Santos constatou que a Matriz GUT é uma boa ferramenta de planejamento para resolver manifestações patológicas em edificações. A análise revelou uma presença expressiva de problemas, relacionados ao deslocamento do revestimento, fissuras e rachaduras nas paredes de adobe, ataque por cupins e concentração de carga na estrutura. A partir dessas patologias, foram delineadas prioridades para a intervenção no local.

Figura 4 - Casarão da família Pedreira



Fonte: Santos (2022).

Outro estudo semelhante, foi realizado por Nascimento (2019). Este avaliou a vulnerabilidade estrutural de oito construções situadas no centro histórico de Aracati, na Zona Jaguaribana do Estado do Ceará. Utilizando-se de dez parâmetros geométricos e os categorizando em quatro classes de vulnerabilidade. Onde essas edificações são predominantemente lusitanas, contendo espessas paredes de tijolos maciços argamassados por uma mistura de barro e areia.

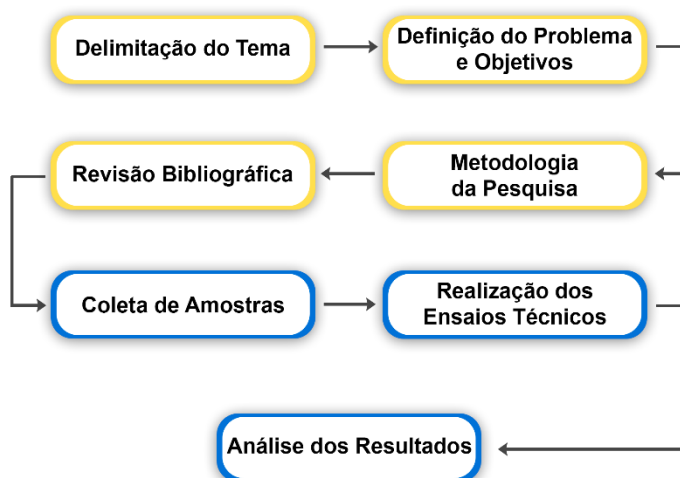
A inspeção revelou diversas manifestações patológicas, incluindo ocorrências de mofo, manchas de umidade, fissuras e deslocamento do revestimento. Os resultados indicaram que 62,5% das construções encontram-se em estado de conservação regular, enquanto 37,5% não apresentam um bom estado de conservação, sinalizando a necessidade de intervenções voltadas para a manutenção e conservação.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo aborda os procedimentos metodológicos empregados nesta pesquisa, onde é conduzido um estudo de caso focado nas características dos materiais e propriedades mecânicas de uma parede de adobe localizada no centro histórico de Porto Nacional. Os procedimentos executados têm o objetivo de avaliar a conformidade do material com as diretrizes e normas vigentes de acordo com a NBR 16.814 (ABNT, 2020), NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 7080 (ABNT, 2016).

A pesquisa foi conduzida em duas etapas distintas. Na primeira fase, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre a caracterização da parede de adobe e outros temas relevantes para o estudo. Na segunda etapa, foram conduzidas a coleta de amostras e em seguida a realização de ensaios. O fluxograma esquemático do estudo foi proposto e está apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma do trabalho



Fonte: Autoria Própria (2024).

3.1 Coleta e Preparação das Amostras

Foram coletadas quatro amostras de adobe na poligonal de tombamento do centro histórico de Porto Nacional, na Rua Josué Negre, conforme demonstrado na Figura 6. O prédio tradicional é conhecido por comportar o Abrigo João XXIII S.S. VP, Figura 7. É fundamental destacar que, de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, e a Portaria Iphan nº 420, de 22 de

dezembro de 2010, foi necessário obter autorização junto ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) para a realização da coleta no imóvel tombado.

Figura 6 - Local de retirada das amostras



Fonte: Adaptado IPHAN (2008).

Figura 7 - Abrigo João XXIII S.S. VP



Fonte: Autoria Própria (2024).

As amostras foram submetidas a um tratamento preliminar de regularização e padronização, sendo posteriormente armazenadas em um local seco, em conformidade com os requisitos normativos conforme demonstra a Figura 8.

Figura 8 - Regularização e armazenamento das amostras



Fonte: Autoria Própria (2024).

Na etapa subsequente, foram realizados os procedimentos de tratamento das amostras para a realização dos ensaios de caracterização dos materiais. Inicialmente, a amostra foi pesada e, em seguida, reduzida por meio do quarteamento, com o intuito de obter uma amostra representativa em quantidades apropriadas para a realização dos ensaios, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9- Quarteamento das amostras



Fonte: Autoria própria (2024).

Posteriormente, foi feito o destorroamento do solo com auxílio da mão de grau para separação de quatro amostras de 1000 gramas cada, destinadas ao ensaio de análise granulométrica, (Figura 10).

Figura 10 – Destorroamento da amostra



Fonte: Autoria própria (2024).

Por fim, o solo foi passado pela peneira de #10 mm. Deste, duas porções do material passante, com 70g cada, foram retiradas para o ensaio de sedimentação. Já, para determinar os limites de consistência, foram separadas oito amostras de 100g cada, sendo quatro para o ensaio de limite de liquidez e quatro para o ensaio de plasticidade. Todos os procedimentos seguiram as orientações estabelecidas pela NBR 6457 (ABNT, 2016).

3.2 Caracterização dos materiais e propriedades mecânicas

Os ensaios que foram realizados visam efetuar a caracterização mecânica através do ensaio de compressão nas paredes de adobe, conforme a norma vigente. Demonstrar algumas características dos materiais por meio de determinação da composição granulométrica e dos limites de consistência. Os ensaios foram realizados no laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins, com exceção do ensaio de granulometria que foi realizado na empresa Técnica Engenharia em Palmas Tocantins.

3.2.1 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria, conforme a norma NBR 7181/2016, tem como objetivo determinar a distribuição granulométrica de um solo, isto é, a proporção de partículas de diferentes tamanhos presentes na amostra. Essa informação é crucial para a classificação do solo, a avaliação de suas propriedades e o planejamento de obras de engenharia.

O procedimento do ensaio envolve a preparação da amostra, peneiramento em aberturas diversas e a sedimentação da fração fina. Os resultados obtidos são utilizados para criar a curva granulométrica, que possibilita a visualização da distribuição de tamanhos das partículas. O processo segue as seguintes etapas:

- a) Preparo da amostra: Inclui a secagem, peneiramento e pesagem da amostra. Conforme indicado no item 3.1.
- b) Peneiramento: Consiste na agitação da amostra em um conjunto de peneiras com aberturas distintas com o auxílio do agitador mecânico, Figura 11.
- c) Sedimentação: Consiste na dispersão da fração fina em água e na medição da altura da suspensão em diferentes intervalos de tempo.
- d) Cálculos: Compreende a determinação da porcentagem de material retido e passante em cada peneira.

Para a realização do ensaio foi feito o peneiramento do material grosso, com a amostra seca utilizando peneiras de malha grossa, 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2,0 mm. Já o peneiramento fino foi realizado com o jogo de peneiras de malha fina, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm.

Figura 11 - Peneiramento do solo



Fonte: Autoria própria (2024).

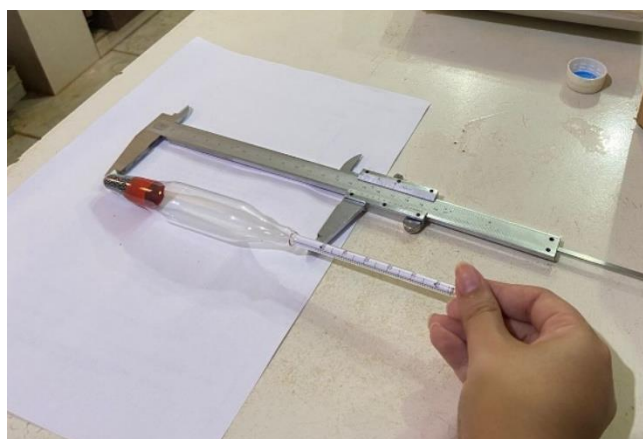
A obtenção dos resultados do ensaio de sedimentação necessita de informações prévias previstas em norma, que consistem na determinação da curva de calibração do densímetro, conforme estabelecido no Anexo A da norma NBR 7180 (ABNT, 2016), onde a leitura do densímetro é medida em função da variação de temperatura ao longo do tempo. Conforme mostra a Figura 12. O outro método citado no anexo está vinculado às dimensões, as quais foram conferidas com o auxílio do paquímetro, conforme Figura 13.

Figura 12 - Calibração do densímetro



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 13 - Obtenção das dimensões do densímetro



Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, é preciso determinar a umidade higroscópica. O procedimento consiste em averiguar a umidade do solo em condições de ambiente natural, sem estar saturado ou seco conforme a Figura 14. Sua delimitação se dá pela secagem do solo em estufa até atingir um estado constante seguindo as recomendações da NBR 6457 (ABNT, 2016).

Figura 14 - Umidade higroscópica



Fonte: Autoria própria (2024).

A densidade real dos grãos de solo foi determinada através do método do picnômetro. Onde, utilizou-se 70g de solo seco, em seguida foi feita a pesagem do picnômetro vazio (P1), com a amostra (P2), com amostra e água (P3), e com água apenas (P4). O picnômetro com a amostra e água foi aquecido para expulsar o ar, resfriado, completado com água e pesado novamente Figura 15.

Figura 15- Densidade real



Fonte: Autoria própria (2024).

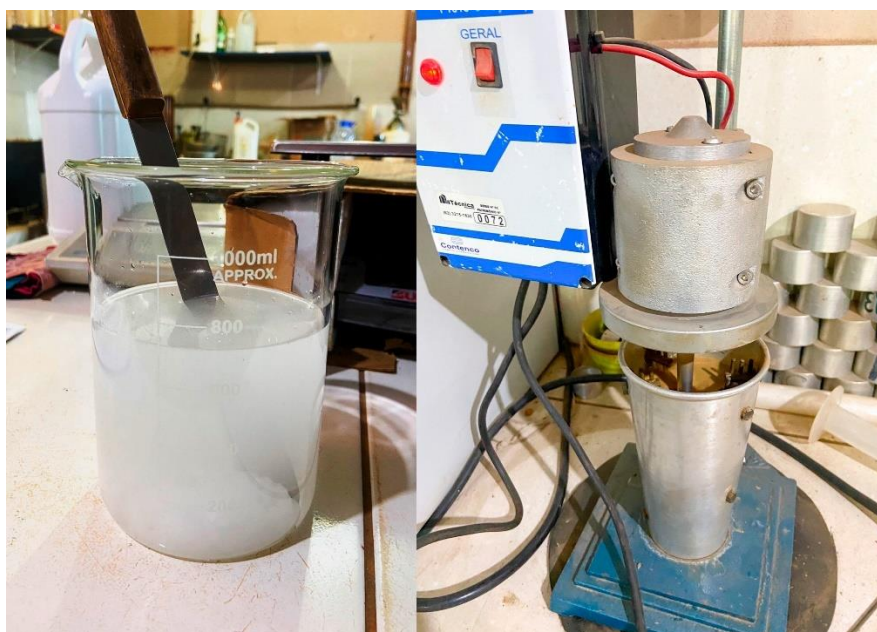
A densidade real foi determinada pela Equação 1, abaixo:

$$Densidade\ Real = \frac{(P4 - P1)}{(P3 - P1) - (P2 - P4)} \quad (1)$$

Por fim, foi realizado o ensaio de sedimentação. Onde, a amostra de solo foi preparada utilizando 70g do material que passou pela peneira de 2,0 mm. Este material foi colocado em um Becker de 250 cm³, ao qual foram adicionados, com o auxílio de uma proveta, 125 cm³ de uma solução de hexametáfosfato de sódio com concentração de 45,7g por 1000 cm³ de solução.

A solução de hexametáfosfato de sódio foi tampada juntamente com carbonato de sódio com o objetivo de manter o pH entre 8 e 9, conforme solicitado em norma. Após um período de repouso de 12 horas, a mistura foi transferida para um dispersor mecânico e agitada com água destilada.

Figura 16 - Preparação do defloculante e dispersor mecânico



Fonte: Autoria própria (2024).

Em seguida, a mistura foi transferida para uma proveta graduada e completada até 1000 ml com água destilada. A proveta foi agitada manualmente por um minuto, tampada e deixada em repouso.

Figura 17 - Agitação manual

Fonte: Autoria própria (2024).

Após a agitação, o cronômetro foi iniciado e as leituras foram feitas em intervalos específicos, começando com 30 segundos e continuando até 24 horas. A temperatura da suspensão foi medida em cada intervalo de tempo. O densímetro foi mergulhado na proveta para fazer as leituras correspondentes, sendo garantido a estabilidade do densímetro na dispersão antes de cada leitura.

Figura 18 - Leituras do densímetro

Fonte: Autoria própria (2024).

A construção da curva granulométrica foi representada por um gráfico que exibe o diâmetro das partículas em seu eixo horizontal e a porcentagem de material passante nas peneiras, expostas no eixo vertical. Este gráfico é essencial para uma interpretação visual da distribuição granulométrica do solo, contribuindo para uma análise mais precisa e eficiente das características do material.

3.2.2 Determinação do Limite de Liquidez

Para a realização deste ensaio, adotamos a Norma Brasileira de Determinação do Limite de Liquidez NBR 6459/2016. O propósito central é identificar o teor de água no qual um solo passa do estado líquido para o estado plástico, proporcionando uma avaliação da estabilidade do solo e orientando as práticas de compactação adequadas.

O ensaio iniciou-se ao misturar a amostra de solo com água até obter uma pasta homogênea. Essa mistura foi então moldada na concha do aparelho de Casagrande, com uma espessura central de aproximadamente 10 mm.

Figura 19 – Aparelho de Casagrande



Fonte: Autoria própria (2024).

Em seguida, uma ranhura foi feita com o gabarito (cinzel) dividindo a massa de solo em duas partes. Para isso, o cinzel foi deslocado perpendicularmente à superfície da concha.

Figura 20 - Ensaio para determinar Limite de Liquidez



Fonte: Autoria própria (2024).

Ao iniciar os movimentos de rotação na manivela do aparelho de Casagrande, a concha executa golpes contra a base, caindo em queda livre. O número de golpes foi registrado ao observar a junção das bordas inferiores da ranhura ao longo de 13 mm.

Esse procedimento foi repetido mais quatro vezes, abrangendo um intervalo de 15 a 35 golpes. Posteriormente, foi retirada uma amostra de solo do local do fechamento da ranhura. Então a concha foi limpa, e o processo repetiu-se para obter cinco pontos de ensaio. A determinação do teor de umidade foi feita por meio da Equação 2:

$$h = \frac{M1-M2}{M2-M3} * 100 \quad (2)$$

Onde:

h - teor de umidade, em %

M1 - massa do solo úmido, em g

M2 - massa do solo seco, em g

M1 - massa do recipiente (cápsula metálica com tampa ou par de vidro de relógio com grampo), em g.

3.2.3 Ensaio para determinar o Limite de Plasticidade

De acordo com Massad (2020), o ensaio de limite de plasticidade tem como objetivo determinar o teor de umidade no qual a água livre começa a existir em excesso, ultrapassando a quantidade necessária para satisfazer a adsorção forte. Quando atinge o Limite de Plasticidade (LP), a água forma uma camada dupla, indicando a transição do solo para o estado semiplástico. Esse limite também representa o teor de umidade abaixo do qual o solo perde sua plasticidade, resultando em deformação, mudança de volume e trincamento.

A realização desse ensaio foi executada, seguindo os parâmetros estabelecidos pela NBR 7180/2016. Inicialmente, cerca de 100g de material preparado deve ser utilizado. A amostra foi homogeneizada e comprimida, garantindo que não houvesse aderência de suas fibras ao solo.

Ao se aproximar do LP, o solo então foi rolado sobre uma placa de vidro com a palma da mão e a base dos dedos. Este processo foi repetido várias vezes, até que se formou uma massa com a forma de elipsoide conforme a Figura 21.

Figura 21 – Amostra de solo para ensaio de plasticidade



Fonte: Autoria própria (2024).

O solo foi rolado novamente até se fragmentar em segmentos de 6 mm a 10 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro. Para atingir o resultado, foi utilizada uma caneta como gabarito para que o solo atinja as dimensões. Após atingir as dimensões o solo foi levado para a estufa a fim de determinar a umidade do material.

Figura 22 - Ensaio para determinar Limite de Plasticidade



Fonte: Autoria própria (2024).

3.2.4 Ensaio de índice de absorção de água inicial

Para a determinação do índice de absorção de água inicial (sucção), foram realizadas adaptações às recomendações do Anexo D da ABNT NBR 15270-2:2017. Selecionaram-se três amostras de blocos de adobe com as seguintes dimensões aproximadas: 9,5 cm x 10 cm x 3,0 cm para o bloco 01; 11 cm x 10 cm x 13,0 cm para o bloco 02; e 11 cm x 10 cm x 4,0 cm para o bloco 03. Inicialmente, identificaram-se os corpos de prova e, em seguida, mediram-se as dimensões das amostras com o uso de uma régua. Após essa etapa, as massas de cada amostra foram coletadas com o auxílio de uma balança de precisão, em dois momentos: no estado seco e no estado úmido. O estado úmido foi verificado após 60 ± 1 segundos de imersão em um reservatório com uma lâmina de água de aproximadamente 3 mm de profundidade.

Figura 23 - Determinação do índice de absorção de água inicial (sucção)



Fonte: Autoria própria (2024).

O cálculo da do índice de absorção foi feito por meio da Equação 3.

$$AAI = 194 * \frac{\Delta p}{\hat{Area}} \quad (3)$$

Em que:

AAI - É o índice de absorção da absorção de água inicial (sucção);

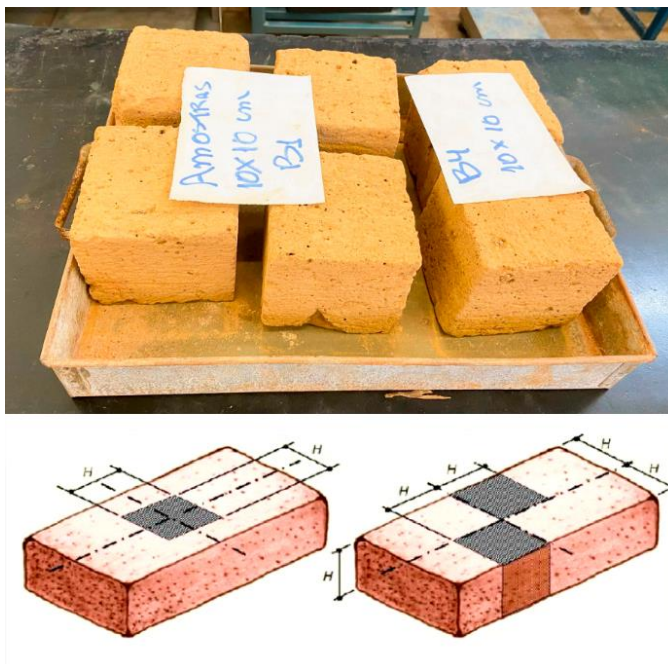
Δp – É a variação de massa obtida no ensaio, em gramas;

Área - É a área líquida da face ensaiada dos blocos de adobe, em gramas.

3.2.5 Resistência à Compressão do adobe

Para o ensaio de compressão do adobe (*Fca*), foram retirados dois corpos de prova por amostra dos blocos de adobe, seguindo as diretrizes do Anexo B da NBR 16814:2020 (Figura 24). Esses corpos de prova possuíam dimensões de 10 cm x 10 cm x 10 cm (altura x largura x comprimento) para as amostras de blocos B1, B2 e B4. No entanto, a amostra de bloco B3 apresentou dimensões ligeiramente menores, com 9 cm x 9 cm x 9 cm (altura x largura x comprimento). Além disso, foram fabricados quatro corpos de prova adicionais seguindo as dimensões da maioria, destinados à substituição em caso de eventuais erros durante o ensaio, totalizando assim doze corpos de prova.

Figura 24 - Corpos de prova para ensaio de compressão



Fonte: Adaptado NBR 16814 (2020).

Posteriormente os corpos de prova foram capeados com argamassa de cimento com espessura máxima de 3mm e traço de 1:2, conforme determinado em norma.

Figura 25 - Capeamento dos corpos de prova para ensaio de compressão



Fonte: Autoria própria (2024).

Em seguida, os corpos de prova foram submetidos a uma carga progressiva utilizando uma máquina universal de ensaios (Figura 26), da marca EMIC, modelo DL10000. Esta máquina possui um sistema computadorizado para o controle das

variáveis do ensaio e a coleta de dados de carga e deslocamento até o ponto de encurtamento do corpo de prova. A última calibração da máquina foi realizada em maio de 2023, garantindo que ela estivesse em perfeitas condições no dia da realização do ensaio.

A resistência à compressão (f_{ca}) foi calculada utilizando a Equação 4, enquanto a resistência característica à compressão do adobe (f_{cak}) foi determinada por meio da Equação 5.

$$f_{ca} = \frac{F_{rup}}{A_{rup}} \quad (4)$$

Onde:

f_{ca} - resistência à compressão do corpo de prova em MPa;

F_{rup} - força de ruptura em N;

A_{rup} - área de ruptura em mm².

$$f_{cak} = f_{cam} - 1,645 * Sd \quad (5)$$

Onde:

f_{cak} - resistência característica à compressão do adobe em MPa;

f_{cam} - resistência à compressão média da amostra em MPa;

Sd - desvio-padrão da amostra em Mpa.

Figura 26 - Máquina Universal EMIC DL10000



Fonte: Autoria própria (2024).

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram processados e apresentados em forma de tabelas e de gráficos. Para as variáveis quantitativas foram calculadas as estatísticas descritivas para cada uma das variáveis investigadas. Esses cálculos incluíram a média, mediana, desvio padrão, variância, valores mínimos e máximos, além do intervalo interquartil (IQR). Em seguida, testes de normalidade, como o Shapiro-Wilk, foram aplicados para verificar a suposição de normalidade dos dados. Para explorar possíveis relações entre as variáveis, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson, determinando a força e a direção das associações lineares entre resistência, densidade e deformação. Para uma melhor visualização dos dados, foram utilizados boxplots, permitindo a identificação de dispersões e outliers. A análise estatística foi realizada através da linguagem Python, utilizando a IDE Jupyter Notebook.

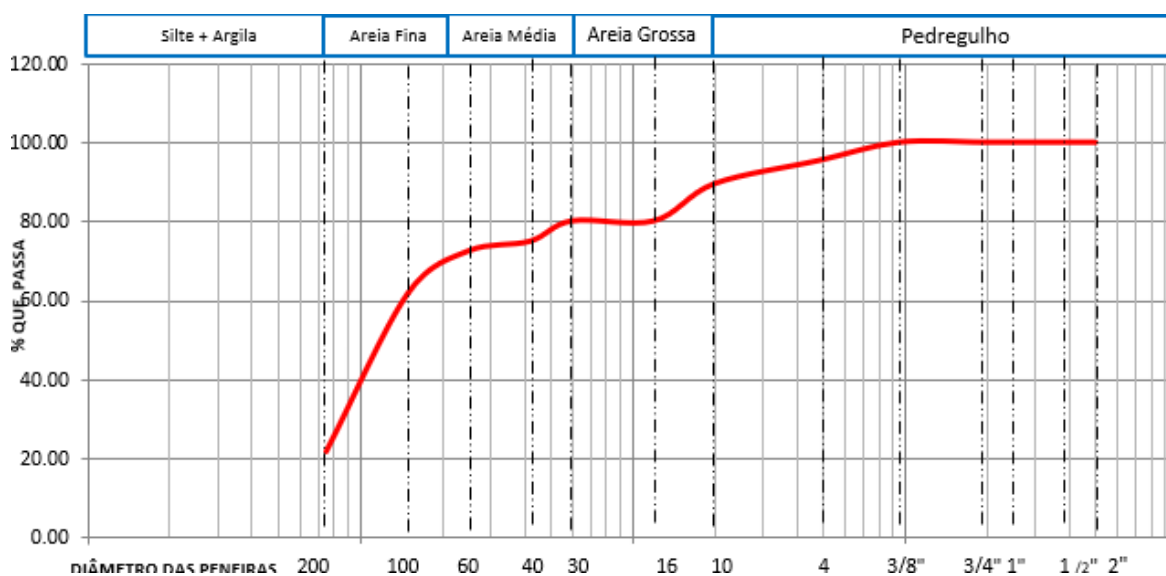
4 RESULTADOS E DISCUSÕES

4.1 PROPRIEDADES DO SOLO

4.1.2 ANALISE GRANULOMÉTRICA

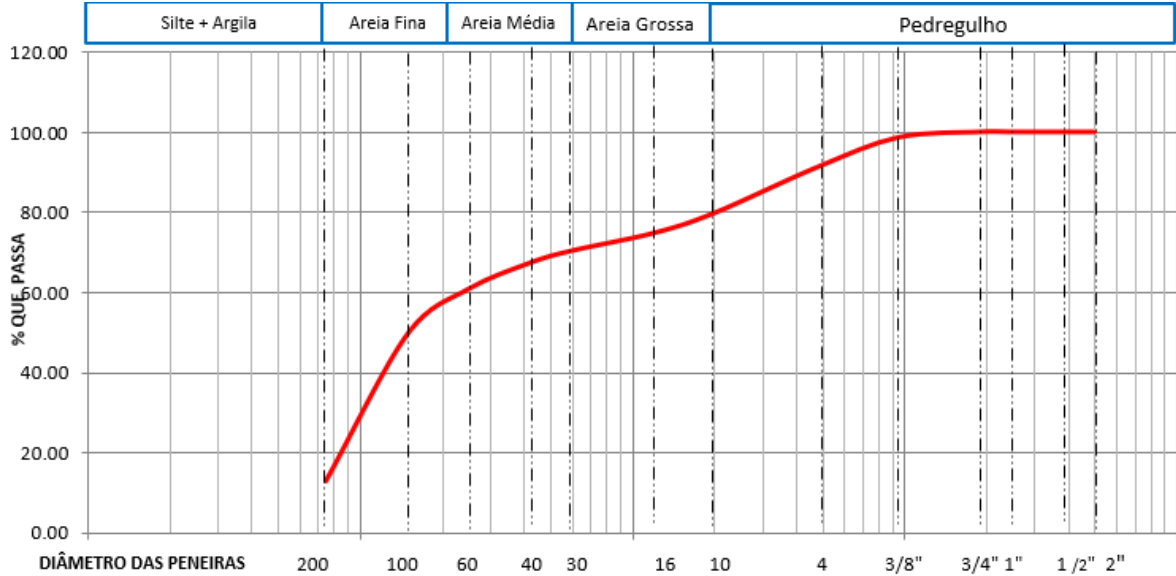
Na análise granulométrica realizada no bloco 01, obteve-se a seguinte composição: 67,90% de areia, 21,62% de silte e argila, e 10,49% de pedregulho. De forma análoga, no bloco 02 foram encontrados: 66,89% de areia, 12,84% de silte e argila, e 20,07% de pedregulho, conforme mostra os gráficos abaixo. Ambos os resultados apresentaram valores muito próximos, o que aumenta a confiabilidade do ensaio, pois ambas as amostras foram retiradas da mesma edificação. Assim, não houve necessidade de ensaiar os blocos restantes.

Gráfico 1 - Composição granulométrica Bloco 01



Fonte: Autoria própria (2024).

Gráfico 2 - Composição granulométrica Bloco 02



Fonte: Autoria própria (2024).

Segundo a NBR 16814:2020, considera-se adequado para a produção de adobe os seguintes teores: areia de 45% a 65%, silte até 30%, e argila de 25% a 35%. O solo utilizado para a confecção do adobe não se encontra dentro dos parâmetros exigidos pela norma. Entretanto, os valores são próximos aos recomendados.

Já a densidade real do solo apresentou o valor de 1,397 g/cm³, e a umidade higroscópica média, foi de 16,96%. Essas informações ajudaram a compreender a distribuição e comportamento das partículas do solo e calcular o diâmetro dos grãos a partir do ensaio de sedimentação.

Tabela 1- Resultados ensaio de sedimentação

TEMPO DECORRIDO		TEMP. °C	LEITURA	LEITURA CORRIGIDA	DIÂMETRO DO GRÃO (mm)	% DIAM. AMOSTRA TOTAL (mm)
HORA	MINUTO					
-	0,5	28,0	1015,0	1013,0	0,117	83,29
-	1	28,0	1015,0	1013,0	0,083	83,29
-	2	28,0	1014,0	1012,0	0,059	78,39
-	4	28,0	1014,0	1012,0	0,040	78,39
-	8	28,0	1014,0	1012,0	0,028	78,39
-	15	28,0	1013,0	1011,0	0,021	73,49
-	30	28,0	1013,0	1011,0	0,015	73,49
1	-	28,0	1013,0	1011,0	0,010	73,49
2	-	28,0	1013,0	1011,0	0,007	73,49

4	-	28,0	1012,0	1010,0	0,005	68,59
8	-	30,0	1010,5	1007,5	0,004	66,14
24	-	29,0	1010,0	1007,5	0,002	61,24

Fonte: Autoria própria (2024).

Os resultados indicaram que aproximadamente 74% das partículas do solo analisado possuem diâmetros inferiores a 0,02 mm, caracterizando uma alta presença de partículas finas. Já a análise granulométrica revelou uma composição predominante de areia, com frações menores de silte e argila. Estes dados sugerem um solo com boa capacidade de retenção de água, e a fração de argila contribui para ter uma plasticidade e coesão do solo adequada.

4.1.3 LIMITE DE LIQUIDEZ

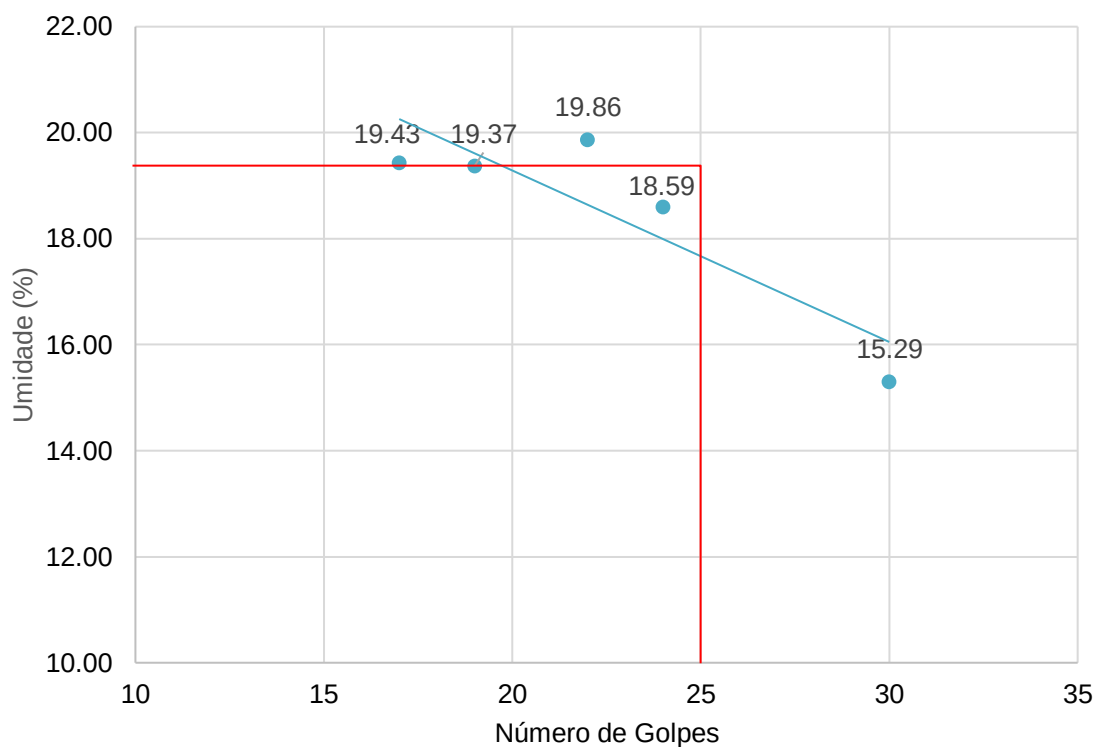
Os resultados do ensaio para determinação do limite de liquidez estão dispostos na Tabela 2, onde podemos observar que os três blocos estão em conformidade com as exigências de ensaio da NBR 6459:2016, pois foi possível determinar o teor de umidade em todos os pontos analisados.

Tabela 2 - Limite de Liquidez

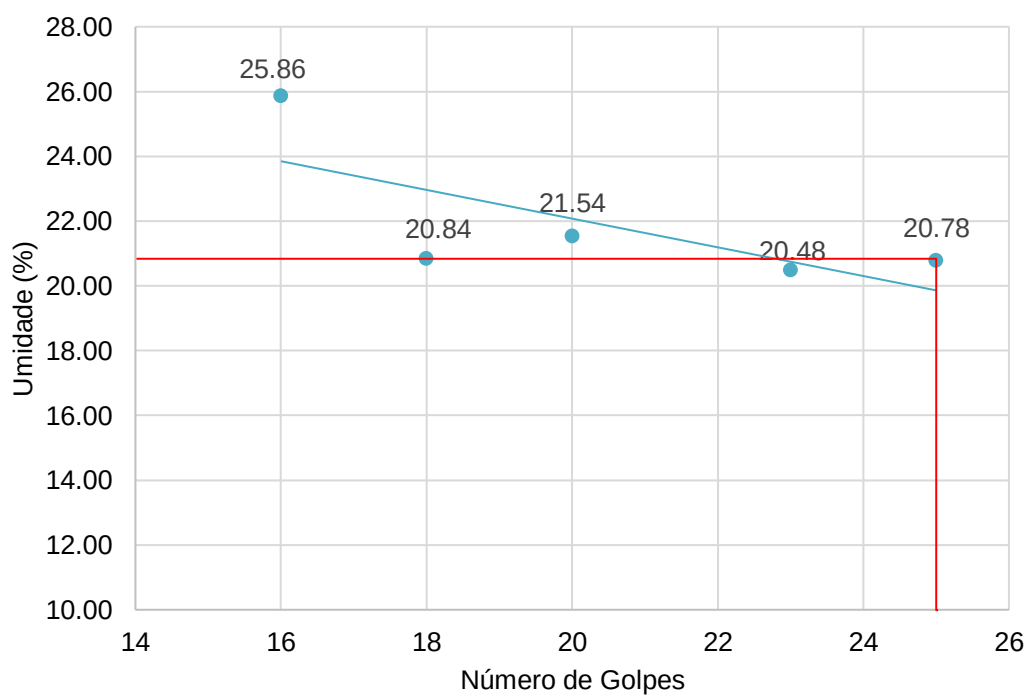
BLOCO 01		BLOCO 02		BLOCO 03	
Nº de Golpes	Umidade	Nº de Golpes	Umidade	Nº de Golpes	Umidade
30	15,29	30	15,29	25	18,62
24	18,59	24	18,59	23	14,65
22	19,86	22	19,86	20	18,02
19	19,37	19	19,37	18	20,41
17	19,43	17	19,43	16	20,85

Fonte: Autoria própria (2024).

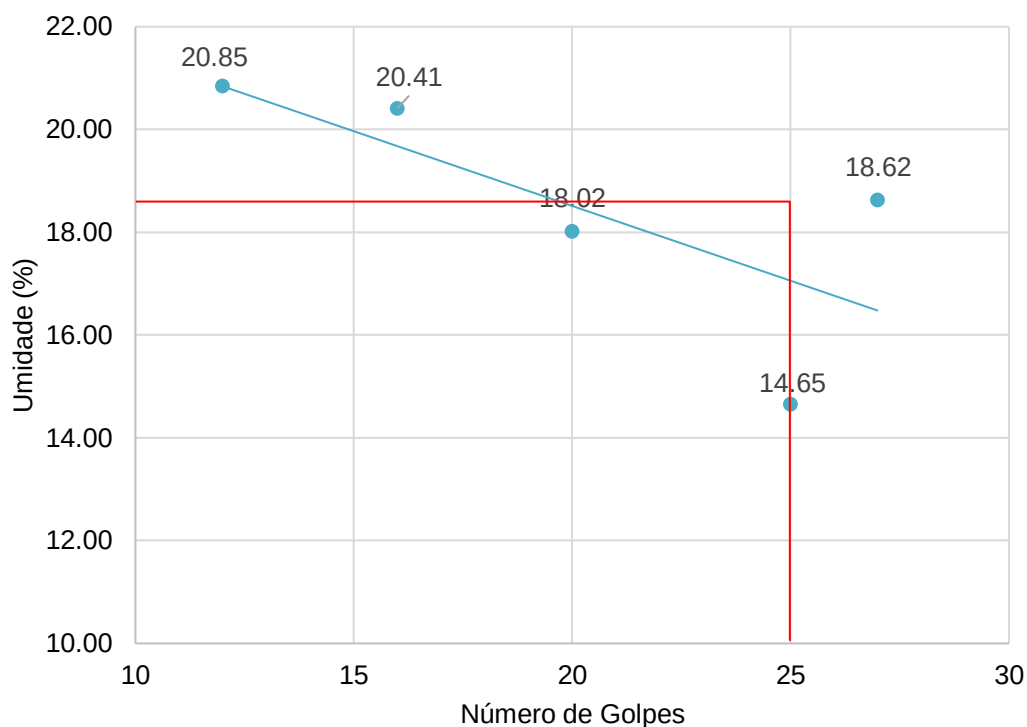
Com os resultados em mãos, foi possível construir gráficos em que as ordenadas representam os números de golpes e as abcissas indicam os teores de umidade. Foi traçada uma reta pelos pontos das coordenadas encontradas. O teor de umidade correspondente a 25 golpes, obtido a partir dessa reta, representa o limite de liquidez do solo, conforme exposto abaixo.

Gráfico 3 - Limite de Liquidez Bloco 01

Fonte: Autoria própria (2024).

Gráfico 4 - Limite de Liquidez Bloco 02

Fonte: Autoria própria (2024).

Gráfico 5 - Limite de Liquidez Bloco 03

Fonte: Autoria própria (2024).

Para os blocos 01,02 e 03 o valor de LL encontrados foram respectivamente, de 19,37%,20,84% e 18,62% este é o teor de umidade que separa os estados líquido e plástico deste solo.

4.1.4 LIMITE DE PLASTICIDADE

O resultado do ensaio para determinação do limite de plasticidade foi obtido através da média aritmética dos teores de umidade alcançados, cujo o desvio teve como parâmetro o intervalo de $\pm 5\%$, da média, conforme elucida a Tabela 3. A definição do limite de plasticidade foi feita a partir da média de cinco determinações, o que está em conformidade com o estabelecido pela norma NBR 7180/2016 que pede no mínimo três determinações.

Tabela 3 - Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de consistência.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
---------	--------	--------	--------

BLOCO 01	19,37	9,17	10,00
BLOCO 02	20,84	16,28	5,00
BLOCO 03	18,62	15,57	3,06

Fonte: Autoria própria (2024).

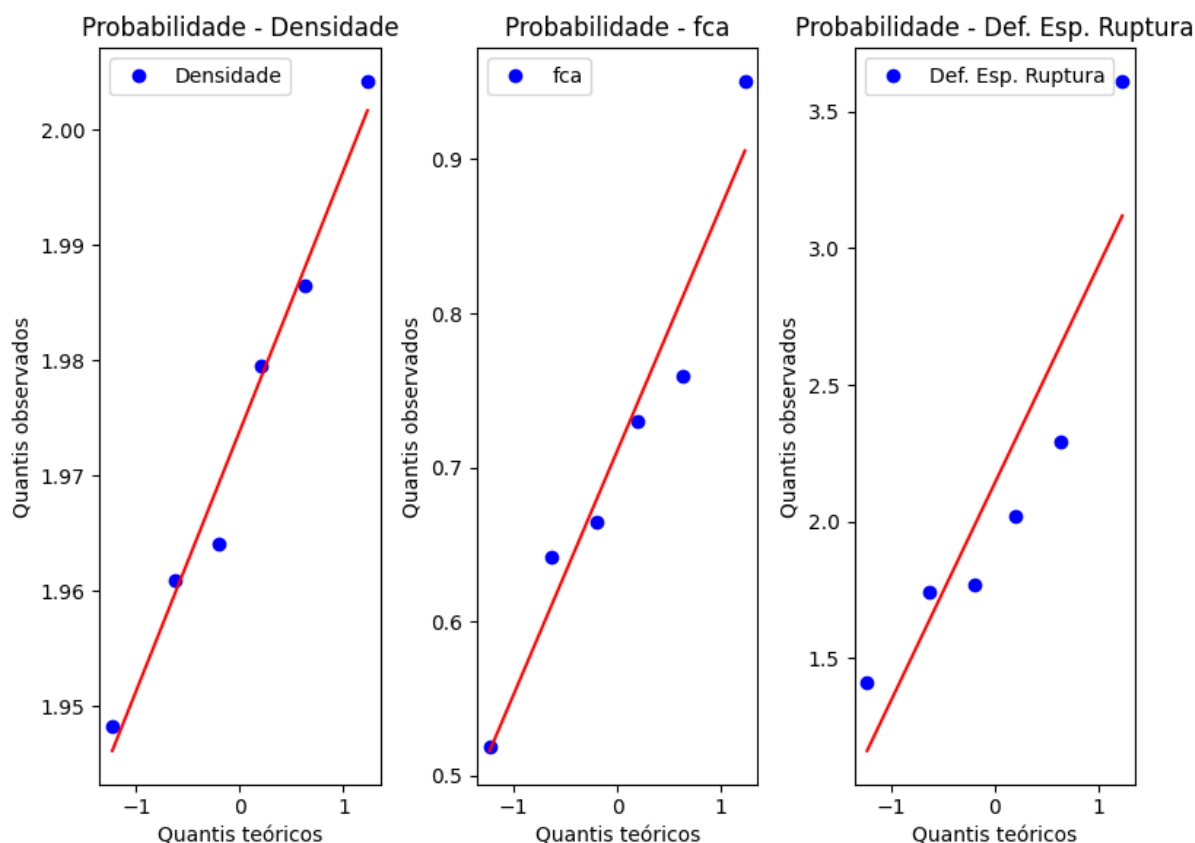
As frações de argila e silte apresentaram relação positiva sobre os valores, sendo a média dos Limites de Liquidez (LL) e de Plasticidade (LP) registrados de 22,40% e 19,31% respectivamente e um Índice de Plasticidade médio (IP) igual à 18,51%.

4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

A Análise estatística foi realizada com seis amostras distintas, sendo de três blocos das paredes do Abrigo João XXIII S.S. VP com duas repetições cada. primeiramente fez-se o teste de Shapiro-Wilk, e testadas as normalidades por meio do teste de Rayan-Joiner (Similar ao Shapiro-Wilk):

foram analisadas as distribuições de três variáveis: Densidade (g/cm^3), Fca (MPa) e Deformação Específica de Ruptura (%). Os gráficos permitem compararmos os quantis observados dos dados coletados com uma distribuição normal teórica, possibilitando a avaliação da aderência dos dados a uma distribuição normal ideal.

Gráfico 6 - Distribuição normal: Densidade (g/cm^3), fca (MPa) e Deformação Específica de Ruptura (%)

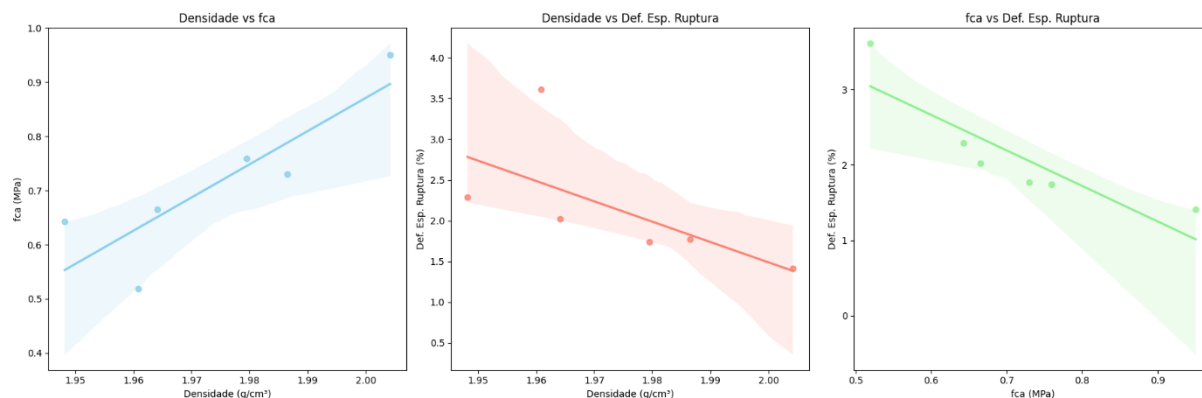


Fonte: Autoria própria (2024).

Pode-se observar que em relação a densidade das amostras, ela apresenta pouca variação, indicando uma consistência nos materiais utilizados nos blocos de adobe. Já a resistência à compressão média possui o valor de aproximadamente 0.71088 MPa, tendo uma variação maior comparada à densidade, o que pode indicar diferenças nas propriedades dos materiais ou no processo de produção dos blocos.

A deformação específica apresenta a maior variação relativa, sugerindo variações significativas na resposta à deformação das diferentes amostras. A resistência característica (f_{ck}), calculada como 0.47290 MPa, fornece uma estimativa conservadora da resistência à compressão, considerando as variações observadas nas amostras.

Para essa análise, também foi necessário a confecção do gráfico de dispersão (Gráfico 7), correlacionando as mesmas variáveis.

Gráfico 7 - Análise de dispersão

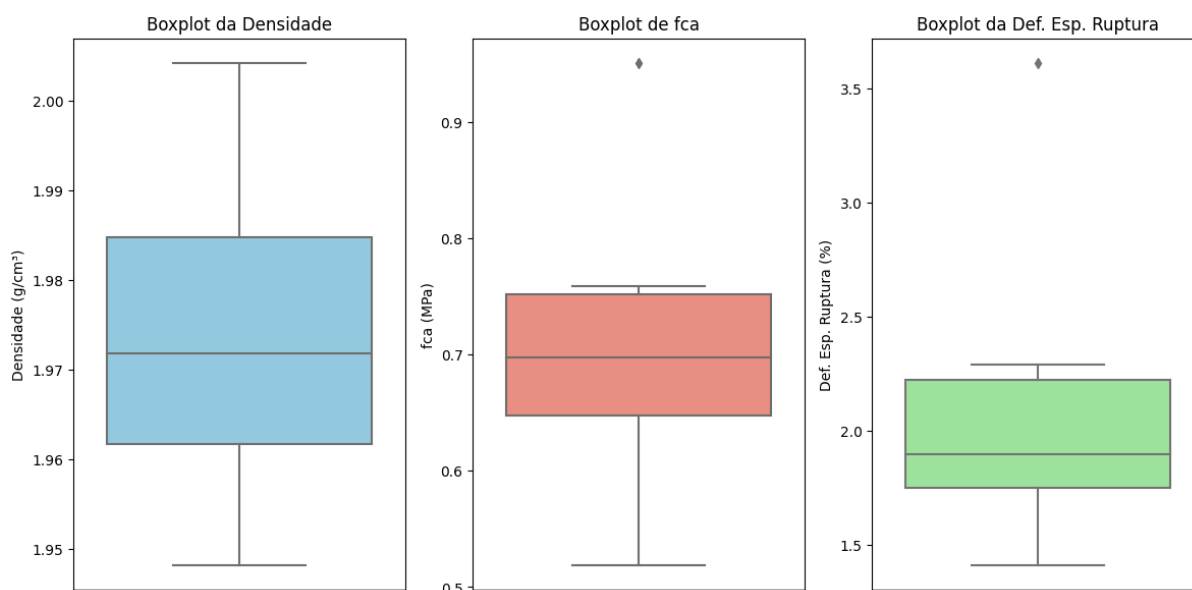
Fonte: Autoria própria (2024)

O resultado obtido, revela que no primeiro gráfico à esquerda há indícios de correlação positiva entre a densidade (g/cm^3) e o Fca, cuja a área sombreada representa o intervalo de confiança em torno da linha de tendência, sugerindo que, à medida que a densidade aumenta o Fca também tende a aumentar.

Já o gráfico do meio mostra uma correlação negativa entre a densidade e a deformação específica na ruptura (Esp. Ruptura), também com uma área sombreada em torno da linha de tendência, o que pode indicar que a densidade do bloco de adobe influencia na deformação específica na ruptura, por ter uma grande densidade ele, sugere ter uma maior fragilidade.

O terceiro gráfico à direita apresenta outra correlação negativa, desta vez entre o Fca e a deformação específica na ruptura, revelando que, com o aumento do Fca, a capacidade de deformação do material antes da ruptura diminui.

Por fim, foi utilizada a ferramenta gráfica Boxplot a fim de identificar possíveis outliers (valores atípicos) nesta análise.

Gráfico 8 - Boxplot entre Densidade, Fca e Def. Esp. Ruptura

Fonte: Autoria própria (2024).

Dessa forma, pode-se observar que no boxplot da densidade, a faixa interquartil (IQR) varia de aproximadamente 1.96 a 2.00, com mediana próxima de 1.98, e não há outliers visíveis, indicando uma distribuição uniforme ao redor da mediana. Já o boxplot de Fca apresenta uma faixa interquartil (IQR) de cerca de 0,55 a 0,65, com mediana próxima a 0,75 Mpa, possuindo um outlier, acima do limite superior, indicando um valor discrepante na amostra. Do mesmo modo, no boxplot da Def. Esp. Ruptura, a IQR varia de aproximadamente 1,5 a 2,5, com mediana em torno de 2,0, e também apresenta um outlier acima do limite superior.

A presença de outliers nos boxplots de Fca e Def. Esp. Ruptura sugere variações ou pontos fora do padrão predominante. Esses pontos atípicos podem ser justificados pelo número reduzido de corpos de prova, o que não permite uma análise mais abrangente. A limitação ocorre por se tratar de um patrimônio tombado, o que inviabiliza a extração de mais corpos de prova.

Para fornecer informações precisas, é necessário um conjunto de dados mais amplo. No entanto, devido às limitações na quantidade de amostras disponíveis, podemos inferir, com base nos gráficos, que os resultados seguem uma distribuição normal (Valor-P>0,05). Assim, progredindo a análise foi obtido os resultados dispostos na Tabela 4, onde são apresentados os valores obtidos para as propriedades mecânicas.

Tabela 4 - Valores médios de densidade, resistência à compressão, resistência característica à compressão e seus respectivos coeficientes de variação.

Amostras	Def. Esp. Ruptura (%)	fca (MPa)	D (g cm ⁻³)	Massa (g)
CP1	3,61	0,52	1,96	1960,9
CP2	2,29	0,64	1,95	1948,2
CP3	1,77	0,73	1,99	1986,5
CP4	2,02	0,66	1,96	1964,1
CP7	1,74	0,76	1,98	1979,5
CP8	1,41	0,95	2,00	2004,2
média	2,14	0,71	1,97	-
Desvio Padrão	0,75	0,14	0,02	-
CV (%)	36,36	20,25	1,02	-

Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.1 Densidade

Os resultados da Tabela 4 juntamente com os gráficos analisados, revelam que, em relação à densidade, os valores permaneceram uniformes entre os blocos. Além disso, os coeficientes de variação foram baixos em todas as medições. Apresentando uma média de 1,97, desvio padrão de 0,02 e CV (%) de 1,02. Esses valores sugerem que a coleta de dados é uniforme e confiável, fortalecendo a validade das análises. Ademais, os valores obtidos refletem a homogeneidade das amostras.

É importante mencionar que a NBR 16814:2020 não estabelece um valor específico para a densidade aparente unitária de blocos de adobe, o que permite a aceitação dos resultados obtidos.

4.2.2 Resistência à Compressão

No ensaio de resistência à compressão (conforme Tabela 4), a maior resistência foi registrada pelo corpo de prova CP8 (0,95 MPa), seguido pelo CP7 (0,76 MPa) e CP3 (0,73 MPa). De acordo com a NBR 16814:2020, a resistência à compressão individual do adobe (fca) deve ser $\geq 1,5$ MPa. Assim, observou-se que nenhum dos corpos de prova alcançou o valor mínimo recomendado.

A baixa resistência pode estar associada à compactação manual do adobe. Como não houve um processo mecanizado, a densidade ficou abaixo do recomendado, em desconformidade com o que foi apresentado no Gráfico 7, que demonstra que quanto maior a densidade, maior a resistência.

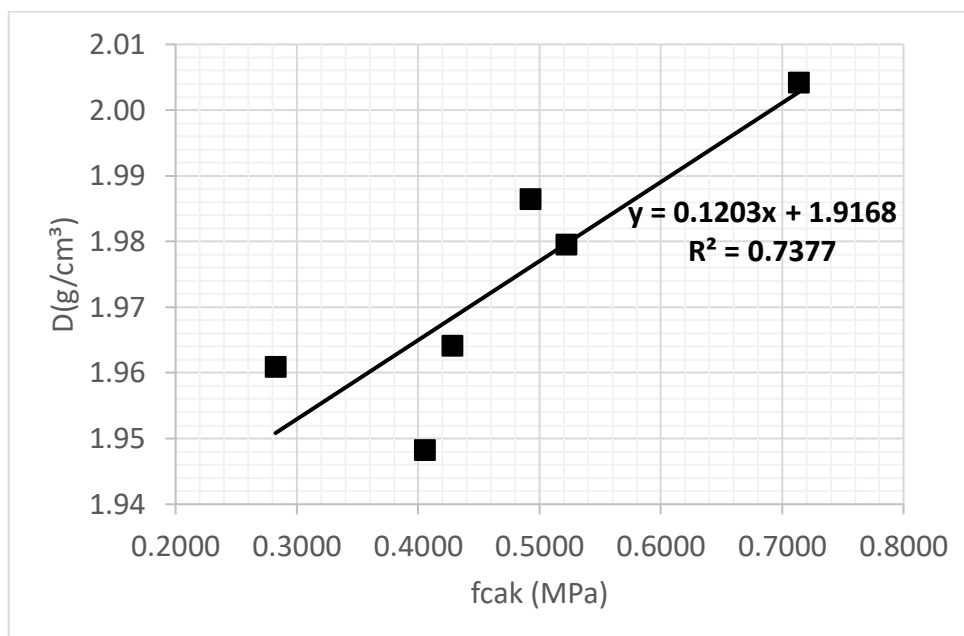
4.2.3 Índice de absorção d'água inicial

Para os valores de absorção inicial, é possível observar que o bloco de adobe 02 apresentou o menor valor, 19,22 (g/194 cm²)/min, seguido pelos blocos 03 e 01, com valores de 20,81 (g/194 cm²)/min e 23,28 (g/194 cm²)/min, respectivamente. Levando em consideração os coeficientes de variação, os dados apresentaram baixo coeficiente de variação. Isso significa que não houve discrepância nas coletas dos dados, tornando as análises mais confiáveis.

A NBR 16814:2020 não define critérios de índice de absorção inicial para os blocos de adobe. Da mesma forma, a NBR 15270-2:2016 não estabelece critérios de índice de absorção inicial para os blocos cerâmicos usados tanto para vedação quanto para alicerce de estrutura, devido à ausência de obrigatoriedade na avaliação de conformidade dos blocos. Em função da falta de parâmetros, pode-se considerar o valor de sucção inicial aceitável.

4.2.4 Correlação de Pearson

No gráfico 9, é apresentada a matriz correlação densidade e resistência à compressão. Para tal foi utilizada a correlação de Pearson (r) que é a medida de associação mais utilizada no meio da pesquisa, em que quanto mais próxima de 1 indica uma forte correlação diretamente proporcional e quanto mais próxima de -1 indica uma forte correlação inversamente proporcional.

Gráfico 9 - Correlação entre Densidade e Resistência à Compressão

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao realizar a análise da correlação, foi possível identificar uma correlação forte entre a densidade e do bloco de adobe e sua resistência, caracterizada por um coeficiente de 0,8589.

Em síntese, conforme a densidade do adobe aumenta, sua capacidade de resistir à compressão também se eleva. Logo, a densidade poderá influenciar na resistência mecânica do bloco de adobe.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados obtidos conclui-se que os blocos de todas as amostras não apresentaram resultados satisfatórios no quesito resistência, uma vez que não atingiram o valor mínimo proposto pela norma de 1,5 Mpa, entretanto tiveram um bom resultado no que diz respeito a densidade, pois obtiveram resultados estatisticamente semelhantes, com baixos coeficientes de variação, indicando uniformidade e confiabilidade na coleta de dados.

Os valores de absorção inicial de água, exibiram baixos coeficientes de variação, reforçando a confiabilidade das medições. A ausência de critérios específicos nas normas NBR 16814:2020 e NBR 15270-2:2016 para a absorção inicial de água permite considerar os valores obtidos aceitáveis.

A composição granulométrica das amostras indicou uma predominância de areia, com quantidades menores de silte e argila. Esses resultados, apesar de não estarem completamente alinhados com os parâmetros recomendados pela NBR 16814:2020, estão próximos e sugerem um solo com boa capacidade de retenção de água e coesão, essencial para a produção de adobe.

Já a análise de sedimentação revelou uma alta presença de partículas finas no solo, com aproximadamente 74% das partículas sendo menores que 0,02 mm, o que contribui para a plasticidade e coesão do material.

Os ensaios para determinar os limites de liquidez e plasticidade indicaram conformidade com as normas NBR 6459:2016 e NBR 7180/2016, respectivamente. Os valores encontrados para os blocos 01, 02 e 03, com limites de liquidez e plasticidade, foram consistentes, proporcionando um bom indicativo da qualidade e comportamento do solo utilizado. O índice de plasticidade médio foi de 18,51%, corroborando a adequação do solo para a produção de adobe.

Esses resultados destacam a necessidade de ajustes na composição e processamento do material para melhorar a resistência à compressão, garantindo a conformidade com as normas vigentes e a viabilidade de futuras intervenções na edificação.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6.459: Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR 6457: Solos — Preparação de amostras para ensaios de compactação e de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270-20: componentes cerâmicos - métodos de ensaio**. ABNT, 2017.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7.180: Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7.181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16.814: Adobe – Requisitos e Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

Balsan, R., José Gonçalves da Silva Ribeiro, L., & Evangelista Fernandes Bressanin, C. (2021). **Roteiro Geo-turístico em Porto Nacional: Reflexões de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Portal De Livros Da Editora, 1(66), 147. Recuperado de <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/editora/article/view/10686>. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

BRANDI, Cesare. **Teoria da Restauração**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2004.

BRASIL. Ministério da Cultura. Instituto do patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Parecer Técnico nº 020/11 (DIVITEC – Superintendência do IPHAN/TO)**, 07 nov. 2011.

CARMESINI, Marcos. **A importância da preservação do patrimônio histórico e arquitetônico para cidade**. O Trentino (2019). Disponível em: < A importância da preservação do patrimônio histórico e arquitetônico para a cidade | O Trentino>. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

Corrêa, A. A. R., Teixeira, V. H., Lopes, S. P., & Oliveira, M. S. de . (2006). **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua)**. **Ciência E Agrotecnologia**, 30(3), 503–515. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000300017>. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

Holanda, Museu de Caculé. (2016). **Construção em adobe** [Fotografia]. Recuperado de Museu de Caculé. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

KUHL, Beatriz Mugayar. **Cesare Brandi e a teoria da restauração**. Pós: Revista do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, n. ju 2007, p. 198-243, 2007Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i21p197-211>. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

MASSAD, Faíçal. **Mecânica dos solos experimental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

MINKE, Gernot. **Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável**. São Paulo: B4 Editores, 225p, 2015.

NASCIMENTO, Larisse Gama do. **Avaliação da vulnerabilidade estrutural do centro histórico de Aracati**. 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2019. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em <<http://www.redproterra.org>>. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

NCh 3332:2013. **Estructuras - Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda** - Requisitos del proyecto estructural. 2013.

PERREIRA, Marco C.; WONG, Sara. **Casarios Ancestrais em Adobe, Novo México** Disponível em: <https://www.got2globe.com/editorial/novo-mexico-taos-america-norte-ancestral/>. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

PERU. Reglamento Nacional de Edificaciones. **Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada**. Lima, 2017.

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. ISSN24473073. Disponível em:<<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: 14 de Mar. 2024.

SANTOS, Fernanda Alves dos. **Aplicação da matriz GUT na análise das manifestações patológicas em residência no centro histórico de Porto Nacional – TO**. 2022. 136p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia. Palmas,2022. Acesso em: 14 de Mar. 2024

VARUM, H.; MARTINS, T.; VELOSA, A. "**Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro**". IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada, Monsaraz, 8 a 10 de Outubro de 2005.

APÊNDICE A – Roteiro de ensaio de Granulometria

1 OBJETIVO

Determinar a distribuição granulométrica do solo, ou seja, a proporção de partículas de diferentes tamanhos presentes no material. A determinação da granulometria por sedimentação é feita para obter o diâmetro das partículas menores que 0,074 mm. A análise por sedimentação será feita segundo NBR 7181/1984 - Solo - Análise granulométrica.

2 MÉTODOS COMPLEMENTARES

- ABNT NBR 6457 - Preparação de amostras de solos.
- ABNT NBR 5734 - Peneiras para ensaio – Especificação.
- ABNT-NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica.

3 EQUIPAMENTOS

- a) Série de peneiras conforme ABNT NBR 5734;
- b) Dispensor elétrico com hélices metálicas substituíveis e copo munido de chicanas metálicas, com velocidade inferior a 9.000 rpm;
- c) Balança que permita pesar nominalmente 200g, 1,5 kg, 5 kg e 10 kg com resoluções de 0,01g, 0,1g, 0,5g e 1g.
- d) Estufa elétrica capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- e) Cápsulas de alumínio com tampa, com capacidade de aproximadamente 100 cm³;
- f) Proveta de vidro graduada até 1.000 cm³ e bagueta de vidro;
- g) Termômetro até 50° C, graduado em 1° C;

h) Recipientes adequados, tais como dessecadores para armazenamento de amostras.

i) Densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20°C, com resolução de 0,001, graduado de 0,995 a 1,050;

j) Agitador mecânico com peneiras, com dispositivo para fixação de até seis peneiras, inclusive tampa com fundo;

k) Solução Hexametáfosfato de sódio;

l) Escova com cerdas metálicas (para limpeza de peneira);

m) Bisnaga;

n) Relógio com indicação dos segundos;

o) Béquer de vidro de 250cm³;

p) Proveta de vidro de 250 cm³ e resolução de 2 cm³;

q) Tanque para banho com dimensões adequadas à imersão.

Nota: O processo de peneiramento manual pode ser preliminarmente substituído pelo emprego de agitador mecânico de peneiras.

4 AMOSTRA

- A amostra deve ser preparada conforme o método – ABNT NBR 6457 - Preparação de amostras de solos.
- Determinar o peso da amostra seca ao ar.

5 ENSAIO

Realiza-se o processo com uma amostra representativa do solo, obtida do distribuidor de amostras, triturada e desagregada. A amostra desagregada é então peneirada através da malha Nº 10 (2,0 mm). O material retido na peneira é lavado nela mesma para remover qualquer material fino aderido aos grãos. Em seguida, o material retido e lavado é transferido para uma cápsula numerada e levado à estufa para secar por no mínimo 12 horas.

Após a secagem, o material é peneirado em diversas malhas (38,1 – 25,4 – 19,1 – 9,5 – 4,8 e 2,00 mm) e as frações retidas em cada peneira são pesadas. As percentagens do material retido em cada peneira são então calculadas em relação ao peso total da amostra seca.

5.1 SEDIMENTAÇÃO

Do material passado na peneira de 2,0 mm, reservar cerca 70 g para solos argilosos e siltosos ou 120 g para solos arenosos. Esse material é pesado e anotado como Mh.

Este material é colocado em um Becker de 250 cm³ e juntar, com auxílio de uma proveta com defloculante 125 cm³ de solução de hexametáfosfato de sódio com uma concentração de 45,7 g por 1000 cm³ de solução.

A solução de hexametáfosfato de sódio deve ser tamponada com carbonato de sódio para manter um pH entre 8 e 9. Após repouso mínimo de 12 horas, a mistura é transferida para um dispersor e agitada com água destilada.

Em seguida, a mistura é transferida para uma proveta graduada e completada até 1000 ml com água destilada. A proveta é agitada por 1 minuto, tapada e deixada em repouso.

Após a agitação, o cronômetro é iniciado e as leituras são feitas em intervalos específicos, começando com 30 segundos e continuando até 24 horas. A temperatura da suspensão é medida em cada intervalo de tempo.

O densímetro é mergulhado na proveta para fazer as leituras correspondentes a cada tempo. É importante garantir que o densímetro esteja estável na dispersão antes de cada leitura.

5.2 PENEIRAMENTO FINO:

Peneirar a amostra seca utilizando peneiras de malha fina, como 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm.

- Registrar as frações retidas em cada peneira.
- Cálculo da Porcentagem que Passa:
- Calcular a porcentagem que passa em cada peneira fina.

5.3 PENEIRAMENTO GROSSO:

Peneirar a amostra seca utilizando peneiras de malha grossa, como 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2,0 mm.

Registrar as frações retidas em cada peneira.

Cálculo da Porcentagem que Passa:

Calcular a porcentagem que passa em cada peneira grossa.

6 CÁLCULOS E RESULTADOS

Determinação do peso da amostra total seca:

Calcula-se o peso do material retido na peneira Nº 10 somando-se os pesos dos materiais retidos nas peneiras de peneiras 38,1 – 25,4 – 19,1 – 9,5 – 4,8 e 2,00 mm de diâmetro;

Subtrai-se do peso total das amostras úmida, o peso do material retido na peneira Nº 10 (2,00 mm);

Multiplica-se a diferença encontrada pelo fator de correção $f = 100 / (100 + h)$, onde h é a umidade higroscópica do solo (umidade da porção mais fina);

Soma-se o produto obtido ao peso do material retido na peneira Nº 10 e obtém-se o peso da amostra seca total.

Determina-se o peso total da amostra seca pela seguinte relação:

Onde:

$$ps = \frac{(Pt - Pg)}{(100 + h)} * 100 + Pg$$

Ps = Peso total da amostra seca;

Pt = Peso total da amostra seca ao ar;

Pg = Peso do material retido na peneira Nº 10;

H = Umidade higroscópica do material passado na peneira Nº 10.

As porcentagens do material que passa nas peneiras 50; 38; 25; 19; 12; 9; 5; 4,8 e 2,00 mm

Porcentagem dos materiais do peneiramento grosso é calculada pela expressão:

$$Qg = \frac{(Ps - Pt)}{(ps)} * 100$$

Onde:

Qg = Porcentagem do material passado em cada peneira;

Ps = Peso total da amostra seca;

Pt = Peso do material retido acumulado.

Percentagem dos materiais do peneiramento fino:

As percentagens dos materiais retidos em cada uma das peneiras mencionadas acima são calculadas em relação ao peso da amostra parcial seca:

$$Qf = \frac{(Ph * 100 - Pi * (100 + h))}{(Ph * 100)} * N$$

Onde:

Qf = Percentagem dos materiais que passam em cada peneira;

Ph = Peso da amostra parcial úmida;

Pi = Peso do material retido acumulado em cada peneira;

Ph = Peso da amostra parcial úmida;

N = Percentagem que passa na peneira Nº 10 (2,00 mm);

h = Umidade higroscópica do material.

Diâmetro da partícula do solo em suspensão:

-Pode ser calculado pelo Nomograma de Casa grande ou pela “Lei de Stokes”

$$d = \sqrt{\frac{1800\eta}{\gamma - \gamma_d} * \frac{a}{t}}$$

Onde:

d = Diâmetro máximo das partículas;

η = Coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio em g.s/cm²;

a = Altura de queda das partículas, com resolução de 0,1 cm, correspondente a leitura do densímetro (cm);

t = Tempo de sedimentação (segundo);

γ = Peso específico dos grãos do solo (g/cm³);

γ_d = Peso específico do meio dispersor em g/cm³ = 1,00 g/cm³ (água).

Percentagens do material em suspensão:

Referidas à massa total da amostra:

Onde:

$$Q = \frac{\gamma}{(\gamma - \gamma_d)} * \frac{v * \gamma_d * (L - ld)}{\frac{ph}{(100 + h)} * 100}$$

V = Volume da suspensão;

Ph = Peso do material úmido usado na sedimentação;

L = Leitura do densímetro na suspensão;

Ld = Leitura do densímetro no meio dispersor;

N = Percentagem do material que passa na peneira Nº 10;

γ = Peso específico dos grãos do solo (g/cm³);

γ_d = Peso específico do meio dispersor em g/cm³ = 1,00 g/cm³ (água);

Lc = Leitura corrigida do densímetro (cm);

Ps = Peso da amostra parcial seca (g).

APÊNDICE B – Roteiro de ensaio de Limite de Liquidez

1 OBJETIVO

O objetivo do ensaio de limite de liquidez é determinar a umidade na qual o solo transita do estado líquido para o plástico, indicando a capacidade do solo de ser moldado sem fissurar. Esse valor é crucial para entender o comportamento e a consistência dos solos finos em diferentes condições de umidade.

2 EQUIPAMENTOS

- a) Recipiente de porcelana;
- b) Balança precisão: 0,01g;
- c) Estufa de secagem;
- d) Esfera de aço: 8mm de $\varnothing$;
- e) Cinzel;
- f) Espátula;
- g) Aparelho casa grande;
- h) Gabarito para verificação da altura de queda da concha do aparelho casa grande.

3 AMOSTRA

- A amostra deve ser preparada conforme o método – ABNT NBR 6457 - Preparação de amostras de solos.
- Determinar o peso da amostra seca ao ar.

4 ENSAIO

Transfira parte da mistura preparada para a concha, moldando-a de forma que a espessura na parte central seja de aproximadamente 10 mm. Realize essa operação de maneira a evitar a formação de bolhas de ar no interior da mistura. Retorne o excesso de solo para a cápsula e divida a massa de solo em duas partes, utilizando um cinzel para abrir uma ranhura na parte central. As operações de moldagem e divisão devem ser realizadas com a concha na mão do operador. Em seguida,

recoloque cuidadosamente a concha no aparelho e gire a manivela a uma velocidade de duas voltas por segundo, anotando o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam.

Transfira imediatamente uma pequena quantidade do material próximo às bordas unidas para um recipiente adequado para a determinação da umidade, devolvendo o restante da massa para o recipiente de porcelana. Lave e seque a concha e o cinzel, repetindo o procedimento para obter um segundo ponto de ensaio. Repita essas operações para obter pelo menos mais três pontos de ensaio. É importante observar que a altura de queda da concha deve estar entre 185 e 230 mm, e a massa do conjunto (concha mais guia) deve estar no intervalo de 200 ± 20 g, sem variação da altura da concha durante o ensaio.

5 CÁLCULO

$$h = \frac{M1-M2}{M2-M3} * 100$$

Onde:

h - teor de umidade, em %

M1 - massa do solo úmido, em g

M2 - massa do solo seco, em g

M1 - massa do recipiente (cápsula metálica com tampa ou par de vidro de relógio com grampo), em g.

Com os resultados obtidos, construir um gráfico no qual as ordenadas são os números de golpes e as abcissas teores de umidade, traçando-se uma reta pelos pontos das coordenadas encontradas e obter na reta o teor de umidade correspondente a 25 golpes, cujo resultado é o limite de liquidez do solo.

APÊNDICE C – Roteiro de ensaio de Limite de Plasticidade

1 OBJETIVO

O ensaio de limite de plasticidade tem como objetivo determinar o teor de umidade no qual o solo argiloso passa do estado plástico para o semissólido. Isso ajuda a definir o comportamento do solo sob manipulação e a sua capacidade de reter água sem fissurar.

2 EQUIPAMENTOS

- a) Gabarito de latão, cilíndrico, com 3mm de $\varnothing$;
- b) Balança precisão: 0,01 g;
- c) Estufa de secagem;
- d) Placa de vidro com espessura de 5mm, com uma face esmerilhada;
- e) Cápsulas de alumínio e de porcelana;
- f) Água destilada;
- g) Espátulas metálicas;

3 AMOSTRA

- A amostra deve ser preparada conforme o método – ABNT NBR 6457 - Preparação de amostras de solos.
- Determinar o peso da amostra seca ao ar.

4 ENSAIO

Uma parte da amostra obtida deve ser transferida para uma cápsula de porcelana e homogeneizada quanto ao teor de umidade. Com 10 g dessa pasta, fazer uma bola e colocá-la sobre a face esmerilhada da placa. Com a palma da mão, iniciar a rolagem da amostra até transformá-la em um cilindro, evitando aplicar pressão sobre o mesmo. Observar o que pode estar acontecendo com a superfície do rolinho.

Quando forem obtidos, simultaneamente, rolinhos com diâmetros de 3 mm (comparar com o gabarito) e houver aparecimento de fissuras na sua superfície, deve-

se parar o ensaio e determinar o teor de umidade das partes fissuradas. Caso exista alguma sobra de solo, juntá-la em um recipiente e homogeneizar o seu teor de umidade.

Repetir o procedimento até que possa ser obtidos cinco pontos que satisfaçam, simultaneamente, as condições de diâmetro e fissuras.

5 CÁLCULO

Calcular a média aritmética dos teores de umidade alcançados, cujo o desvio deverá estar entre o intervalo de 5%, da média. A definição do limite de plasticidade deverá ser pela média de pelo menos 3 determinações, caso isso não aconteça o ensaio deverá ser refeito. O valor da média, indicativo do limite de plasticidade, será levado ao inteiro maior próximo e apresentado em forma percentual.