



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**DESENVOLVIMENTO, TECNOLOGIAS E SOCIEDADE**

**DAVID PACHECO VILELA**

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO USO TIJOLOS DE SOLO-  
CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS DE VIDRO  
PRODUZIDOS NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ/MG**

**Itajubá/MG**

**2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**DESENVOLVIMENTO, TECNOLOGIAS E SOCIEDADE**

**DAVID PACHECO VILELA**

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO USO TIJOLOS DE SOLO-  
CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS DE VIDRO  
PRODUZIDOS NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ/MG**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedade da Universidade Federal de Itajubá como requisito para obtenção do título de mestre.

**Área de concentração:** Desenvolvimento e Tecnologias.

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Daniele Ornaghi Sant'Anna

**Coorientador:** Prof. Dr. Paulo César Gonçalves

Itajubá/MG

2021

“Se queres colher em um ano,  
deves plantar cereais.

Se queres colher em uma década,  
deves plantar árvores.

Mas se queres colher a vida inteira,  
deves educar e capacitar o ser humano.”

**KAWANTSU**

## AGRADECIMENTOS

Talvez a parte mais difícil de escrever na minha dissertação seja esta seção, pois na minha vida sou grato por todos àqueles que passarão na minha vida, inclusive aqueles que passaram por mim e apenas me disseram um “oi”, recordo com carinho de cada um e sei que seja por um mínimo de esforço, me ajudou a me fortalecer nesta caminhada.

Entretanto, primeiramente, gostaria de deixar meus agradecimentos à minha família, que sempre esteve ao meu lado, nos bons e nos maus momentos. Sempre estiveram ao meu lado, me dando suporte, e me auxiliando a trilhar o meu caminho, seja lá qual fosse ele.

Mãe, obrigado por ter sido tão compreensiva comigo, por ter sido a minha estrela guia nessa jornada. Foste a minha inspiração a seguir em frente, mesmo quando ninguém acreditou em mim. Sou grato desde o momento em que me deste a minha vida, me alimentou, me carregou e me transformou na pessoa que me orgulho de ser.

Pai, obrigado por me apoiar em minhas decisões, por sempre ser aquele suporte que precisei para atingir as minhas metas. Sou eternamente grato por me proporcionar tudo o que tive oportunidade de usufruir e o que você pode fazer por toda a nossa família.

Minhas irmãs, obrigado por todo o suporte que vocês puderam me proporcionar ao longo da minha jornada. Vocês são a dádiva que Deus me deu, para caminharmos juntos nesta trajetória da vida, mostrando que sempre estão por perto e disponíveis para o que der e vier.

Meus amigos, só tenho a pedir desculpas a vocês, por não poder estar tão presente quanto eu gostaria, mas saibam que sempre estiveram em meu coração, e carrego cada um de vocês com carinho e que estarei aqui para o que precisarem. Vocês também fazem parte da minha família.

Abu, você apareceu de repente na minha vida, com seu jeitinho “malandro” e briguento de sempre, e acabou se tornando aquele ser essencial na minha vida. Sou eternamente grato por estar ao meu lado, sempre fiel e companheiro. Me mostrando um novo caminho para a vida, me ensinando a caminhar novamente sobre o que o mundo tem a oferecer. Te amo!

Meus professores, que tiveram (alguns até que não) a paciência de transmitir todo o conhecimento, toda ajuda e todo o suporte para que eu pudesse chegar até onde cheguei. Vocês são a minha base de conhecimento técnico, e posso ir até mais longe sobre alguns, e dizer que me ensinaram a lidar com certos obstáculos na vida. Sou eternamente grato a vocês. Muito obrigado!

Entre os professores, gostaria de deixar registrado a minha eterna gratidão à minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniele Ornaghi Sant'Anna, a qual sempre acreditou em meu potencial e no meu trabalho, sempre contribuiu para o meu aprendizado e com excelentes conselhos para a minha jornada profissional/acadêmica. Também dedico minha gratidão ao meu coorientador, Prof. Dr. Paulo César Gonçalves, o qual tive o imenso prazer de obter vastos conhecimentos, os quais foram fundamentais para minha formação como engenheiro e pelo apoio ao longo desta jornada acadêmica.

Gostaria também de expressar meu agradecimento a todos do corpo docente do PPG DTecS, seus ensinamentos foram além dos conhecimentos acadêmicos. Obrigado pelo carinho, pela excelência na qualidade no ensino, por todo o respeito, por terem aberto as portas para que eu pudesse trilhar meu caminho por meio dos seus saberes.

Obrigado a todos do projeto de extensão “Casa da Terra”. Meu profundo agradecimento por acreditarem na proposta do projeto, pelo interesse e pelo carinho que pude receber de todos. Realmente me fizeram me sentir em casa.

Por fim, e não menos importante, gostaria de deixar os meus agradecimentos a todos os funcionários da UNIFEI, os quais sempre estiveram dispostos a me ajudar, com primor e respeito. E claro, meus agradecimentos à CAPES pelo auxílio em minha pesquisa e por conceder a bolsa de estudo.

## RESUMO

A utilização dos tijolos solo-cimento em obras de engenharia é considerado um método barato e sustentável em comparação com o utilizado de forma convencional (blocos cerâmicos ou de concreto), tendo em vista que uma das matéria-prima utilizada nesta técnica possui vasta disponibilidade, o processo de fabricação é menos danoso ao meio ambiente, além da sua facilidade no processo construtivo. Aliado a responsabilidade com a gestão de recursos, tempo e conscientização ambiental, em Itajubá, sul de Minas Gerais, existe uma preocupação quanto à gestão dos resíduos sólidos, especialmente aos rejeitos de vidros, o qual existe em quantidade na região. Diante disto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar os tijolos solo-cimento com adição dos resíduos do vidro, os quais foram analisados quanto à viabilidade de ser incorporado na composição da mistura solo-cimento, com o intuito de utilizar tal resíduo de forma produtiva, a fim de ser empregado como um novo material. Realizou-se os ensaios de granulometria, dos limites de Atterberg, densidade e massa específica com o solo utilizado na fabricação dos tijolos, com o propósito de caracteriza-lo e constatar seu uso na composição solo-cimento. Além disto, os tijolos confeccionados foram submetidos aos ensaios de resistência a compressão e absorção de água, nos quais foram utilizados como corpos de prova os próprios tijolos, com base nas recomendações da norma ABNT NBR 8492 (2012). As contribuições desta pesquisa demonstram que a inserção dos resíduos de vidro nos tijolos solo-cimento é benéfica, tornando a tecnologia produtiva e a necessidade de soluções viáveis para minimizar os impactos no meio urbano e rural, um modo de aproveitamento otimizado dos recursos locais na implementação de futuras construções utilizando esta técnica.

Palavras-chave: Construção Civil; Tijolo solo-cimento; Resíduo de vidro; Itajubá/MG.

## ABSTRACT

The use of soil-cement bricks in engineering works is considered an inexpensive and sustainable method compared to that used in conventional ways (ceramic or concrete blocks), considering that one of the raw materials used in this technique has wide availability, the manufacturing process is less harmful to the environment, in addition to its ease in the construction process. Combined with responsibility for resource management, time and environmental awareness, in Itajubá, south of Minas Gerais, there is a concern about the management of solid waste, especially glass waste, which exists in quantity in the region. In view of this, this research aims to evaluate the soil-cement bricks with the addition of glass residues, which were analyzed as to the feasibility of being incorporated into the composition of the soil-cement mixture, in order to use such residue productively, in order to be used as a new material. The granulometry tests, the Atterberg limits, density and specific mass were carried out with the soil used in the manufacture of the bricks, with the purpose of characterizing it and verifying its use in the soil-cement composition. In addition, the bricks made were subjected to tests of resistance to compression and water absorption, in which the bricks themselves were used as specimens, based on the recommendations of the ABNT NBR 8492 (2012) standard. The contributions of this research demonstrate that the insertion of glass waste in soil-cement bricks is beneficial, making technology productive and the need for viable solutions to minimize impacts on urban and rural areas, a way of optimizing the use of local resources in the implementation of future constructions using this technique.

**Keywords:** Civil Construction; Soil-cement brick; Glass residue; Itajubá/MG.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Processo Construtivo da terra compactada .....  | 24 |
| Figura 2 – Adobe .....   | 27 |
| Figura 3 - Fábrica de tijolos solo-cimento em Limeira/SP.....  | 28 |
| Figura 4 - Hierarquia do gerenciamento dos Resíduos.....   | 38 |
| Figura 5 - Misturador planetário.....  | 43 |
| Figura 6 - Resíduos de vidro.....  | 44 |
| Figura 7 - Fluxograma das etapas desenvolvidas nesta pesquisa .....  | 46 |
| Figura 8 - Moinho planetário.....  | 51 |
| Figura 9 - Peneiramento dos resíduos de vidro .....  | 52 |
| Figura 10 - Exemplo de interpolação de resultados para definir a dosagem dos tijolos solo-cimento .....                                      | 54 |
| Figura 11 - Tijolos cortados ao meio, superposto com a pasta de cimento e capeado ...  | 56 |
| Figura 12 - Curva granulométrica .....   | 58 |
| Figura 13 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova sem a adição dos resíduos após 7 dias .....             | 59 |
| Figura 14 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor marrom após 7 dias.....  | 60 |
| Figura 15 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 7 dias .....  | 60 |
| Figura 16 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova sem a adição dos resíduos após 14 dias.....             | 61 |
| Figura 17 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor marrom após 14 dias..... | 62 |
| Figura 18 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 14 dias ..... | 62 |
| Figura 19 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova sem a adição dos resíduos após 28 dias.....             | 64 |
| Figura 20 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor marrom após 28 dias..... | 64 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 21 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias ..... | 65 |
| Figura 22 – Resultados do ensaio de absorção de água para os tijolos sem adição dos resíduos após 7 dias .....                               | 66 |
| Figura 23 – Resultados do ensaio de absorção de água para os tijolos com adição dos resíduos na cor marrom após 7 dias.....                  | 67 |
| Figura 24 – Resultados do ensaio de absorção de água para os tijolos com adição dos resíduos na cor verde após 7 dias .....                  | 67 |
| Figura 25 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias ..... | 68 |
| Figura 26 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias ..... | 69 |
| Figura 27 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias ..... | 69 |
| Figura 28 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias ..... | 70 |
| Figura 29 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias ..... | 71 |
| Figura 30 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias ..... | 71 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Faixas granulométricas consideradas ideais para solo-cimento .....          | 35 |
| Tabela 2 - Tabela para dosagem dos tijolos solo cimento .....                          | 50 |
| Tabela 3 - Teores de solo e resíduo de vidro na fração “solo + resíduo de vidro” ..... | 54 |
| Tabela 4 - Resultados das análises preliminares .....                                  | 57 |
| Tabela 5 - Características do solo .....   | 58 |

## LISTA DE SIGLAS

AASHTO - Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABIVIDRO - Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVIDRO - Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

BTC – Bloco de terra comprimida

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

LABMAT – Laboratório de Materiais de Construção Civil

LGTEC – Laboratório de Geotecnia

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

LPCM – Laboratório de Processamento de Materiais

MDR – Ministério de Desenvolvimento Regional

MEV - Microscópio eletrônico de varredura

NBR – Norma Técnica Brasileira

PGRS – Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PPG DTecS - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedade

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

# SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. Introdução.....   | 14 |
| 1.1. Considerações Iniciais .....  | 14 |
| 1.2. Objetivos.....  | 18 |
| 1.2.1. Objetivo geral .....  | 18 |
| 1.2.2. Objetivos específicos .....   | 18 |
| 1.3. Justificativa.....  | 19 |
| 2. Revisão bibliográfica.....  | 20 |
| 2.1. Histórico das construções com terra.....                                      | 20 |
| 2.2. Solos .....   | 22 |
| 2.3. Tipos de técnicas utilizadas com solos .....                                  | 24 |
| 2.3.1. Painéis monolíticos de solo-cimento (Terra compactada).....                 | 24 |
| 2.3.2. Blocos de terra crua (Adobe) .....  | 26 |
| 2.3.3. Tijolos solo-cimento ou tijolos prensados com terra estabilizada (BTC)..... | 28 |
| 2.4. Solo-cimento.....   | 30 |
| 2.4.1. Estabilização do solo .....   | 31 |
| 2.4.2. Cimento.....  | 33 |
| 2.5. Caracterização do solo.....   | 34 |
| 2.6. Análise ambiental dos resíduos sólidos .....                                  | 36 |
| 2.7. Contextualização dos resíduos de vidro .....                                  | 40 |
| 2.8. Critérios para a escolha do solo .....  | 42 |
| 3. Materiais e Métodos .....   | 43 |
| 3.1. Materiais .....   | 43 |
| 3.1.1. Solo .....  | 43 |
| 3.1.2. Cimento Portland .....  | 43 |
| 3.1.3. Água.....   | 44 |
| 3.1.4. Resíduos de vidro.....  | 44 |
| 3.2. Métodos .....   | 46 |
| 3.2.1. Análises Preliminares do solo.....  | 47 |
| 3.2.1.1. Exame visual .....  | 47 |
| 3.2.1.2. Exame de odor.....  | 47 |
| 3.2.1.3. Exame de mordida.....   | 48 |
| 3.2.1.4. Exame tátil.....  | 48 |
| 3.2.1.5. Exame de água corrente .....  | 48 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.2.1.6. | Exame de aderência.....   | 49 |
| 3.2.2.   | Características físico-mecânicas do solo .....                  | 49 |
| 3.2.3.   | Dosagem do solo com cimento .....                               | 50 |
| 3.2.4.   | Moagem dos resíduos de vidro .....                              | 51 |
| 3.2.5.   | Caracterização física do solo .....                             | 52 |
| 3.3.     | Fabricação dos tijolos de solo-cimento .....                    | 53 |
| 3.4.     | Ensaio de resistência à compressão .....                        | 55 |
| 3.5.     | Ensaio de absorção de água .....                                | 56 |
| 4.       | Resultados .....  | 57 |
| 4.1.     | Análises preliminares do solo.....                              | 57 |
| 4.2.     | Análises laboratoriais do solo.....                             | 58 |
| 4.3.     | Resistência à compressão .....                                  | 59 |
| 4.3.1.   | Resistência à compressão nos tijolos com idade de 7 dias .....  | 59 |
| 4.3.2.   | Resistência à compressão nos tijolos com idade de 14 dias ..... | 61 |
| 4.3.3.   | Resistência à compressão nos tijolos com idade de 28 dias ..... | 64 |
| 4.4.     | Ensaio de absorção de água.....                                 | 66 |
| 4.4.1.   | Absorção de água nos tijolos com idade de 7 dias .....          | 66 |
| 4.4.2.   | Absorção de água nos tijolos com idade de 14 dias .....         | 68 |
| 4.4.3.   | Absorção de água nos tijolos com idade de 28 dias .....         | 70 |
| 5.       | Conclusões .....  | 72 |
| 6.       | Sugestões para trabalhos futuros .....                          | 74 |
| 7.       | Referências Bibliográficas .....                                | 75 |

# 1. Introdução

## 1.1. Considerações Iniciais

Este estudo está vinculado à linha de pesquisa Tecnologias e Sociedade, do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedade (PPG DTecS), da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e faz parte do projeto de extensão: “Casa da Terra”.

O projeto “Casa da Terra” foi criado com a pretensão de discutir e produzir conhecimento sobre as construções com terra, aperfeiçoá-las e popularizar entre a comunidade científica e a sociedade no município de Itajubá, sul de Minas Gerais, e região.

Tais estudos tem o intuito de contribuir para o desenvolvimento tanto local, quanto global, já que os saberes produzidos neste projeto contribuirão para desenvolvimento da cadeia de produção de materiais para construção civil e outros setores. Com já afirmava Furtado (2004): “só haverá verdadeiro desenvolvimento – que não se deve confundir com crescimento econômico, no mais das vezes resultado de mera modernização das elites – ali onde existir um projeto social subjacente”.

Aos poucos, a sabedoria desenhada ao longo de gerações, vem ganhando espaço dentro de núcleos convencionais ligados à construção civil. Percebe-se que nichos alternativos têm revelado uma grande motivação em estabelecer diretrizes científicas para consolidar o conhecimento antepassado e dar destaque acadêmico ao que comumente é tratado de forma rudimentar e ultrapassado, como no caso das construções com terra.

Um grande desafio ainda passa pelo caminho de um velho paradigma ligado ao hábito de reproduzir experiências sem qualquer capacidade de indagação, ou também pelo fato de buscar algo que seja rápido e exija o mínimo esforço. Isso leva a crer que o que vem sendo feito com toneladas de cimento e aço seja uma forma viável de garantir conforto.

Tais construções que tem por base o concreto, são obras bastante consolidadas no mercado da construção civil, são comprovadamente resistentes, seguras e ágeis em termos construtivos. Entretanto, os nossos recursos naturais estão se esgotando, e em contra partida disso, temos um material para fins construtivos e que existe em abundância em nosso planeta, a terra. Além da economia em termos quantitativos de materiais, também há um ganho significativo em questão de tempo e economia financeira no orçamento da obra.

Outro benefício que as construções com terra trazem consigo, é a empatia de união para realização de construções por meio de mutirões, permitindo com que qualquer pessoa com um mínimo de treinamento prévio possa estar contribuindo com as construções. Este é um fator que muitas pessoas acabam optando por construir com esta técnica, já que carregam com si a experiência e o sentimento de realização de um projeto.

Além destes pontos, outro proveito da utilização da terra como material construtivo nestes mutirões é a garantia do equilíbrio ecológico, por se tratar de um material não tóxico, contrariamente da maioria dos materiais de construções disponíveis no mercado.

Entretanto, devido ao crescimento dos grandes centros urbanos, este tipo de construção está se tornando cada vez mais inviável de ser realizada nas grandes cidades, devido à falta de acesso a matéria prima, a menos que a terra utilizada na construção seja comprada e transportada para o local. Este seria um dos motivos de inviabilização do projeto, já que economicamente poderia elevar o custo da obra.

Ademais, existe também o fator do afastamento das pessoas em relação à natureza e hoje grande parte da população não se enxerga como espécie atuante dentro de um ecossistema. Uma geração preocupada com caminhos seguros de sustentabilidade desprovida de argumentos puramente ligados ao marketing, vem praticando de forma eficiente uma nova forma de olhar para a existência humana como peça chave para um equilíbrio dinâmico da natureza, assim como a maioria das espécies animais e vegetais que garantem a possibilidades de resiliência e mínima condição entrópica onde se instalam.

Segundo a arquiteta francesa Françoise-Hélène Jourda (2013):

A recente conscientização de que os recursos do planeta são limitados irá gerar uma verdadeira revolução. Revolução tecnológica e cultural, igualmente, ou senão mais importante que a Revolução Industrial. Não se trata apenas da redução do consumo energético ou da descoberta de energias alternativas, mas também da conservação do nosso capital de recursos, ou melhor, do que nos resta para que as gerações futuras possam suprir suas necessidades (JOURDA, 2013).

Complementando tal argumento, Veiga (2008) afirma: “Em meio a tantas linhas especulativas, o que parece se destacar é uma forte visão convergente de que as sociedades estão entrando em uma nova fase de sua evolução”. Por isso, o tema em questão nesta pesquisa se torna tão relevante, já que diante de uma futura escassez das nossas matérias primas, temos de começar a repensar sobre novas formas de utilização e até mesmo reutilização dos materiais.

Devido a tais argumentos, nesta pesquisa irá se realizar o estudo de um possível novo material, o tijolo solo-cimento com acréscimo de resíduo de vidro, como uma alternativa para as técnicas construtivas existentes atualmente, contribuindo para o desenvolvimento da forma de construir, de forma sustentável e economicamente viável.

Do ponto de vista de mercado, a construção civil se destaca como um setor muito significativo na economia de um país, recebendo altíssimos investimentos e consequentemente gerando empregos a todo o momento. A demanda atual deste ramo é por novos materiais e tecnologias não convencionais, dentre elas as que reutilizam resíduos na incorporação de materiais construtivos com o intuito de redução de custos e garantir a sustentabilidade.

Pesquisas sobre a substituição parcial de cimento em traços de concreto ou em argamassa, vem sendo desenvolvidas no decorrer das últimas décadas. Em 1970 começaram a ocorrer estudos para investigar o uso do pó de vidro como material pozolânico, tais estudos têm como objetivo a busca da melhoria da qualidade de concreto e argamassas desenvolvida, além do cunho ambiental, pois possibilita correta destinação dos resíduos de vidros e a diminuição das matérias primas utilizadas na fabricação de argamassa e concretos (SOUZA NETO, 2010).



Tais estudos se comprovam devido ao acréscimo de partículas menores que a do cimento, podem desempenhar uma contribuição nas propriedades do concreto ou da argamassa, já que são capazes de ocupar os espaços vazios presentes na mistura, melhorando assim a sua durabilidade e suas condições de trabalhabilidade.

Diante disto, nesta pesquisa o resíduo de vidro foi reduzido a pó, com o intuito de atingir resultados satisfatórios, atendendo os parâmetros requisitados em normas, na confecção dos tijolos solo-cimento, visando a melhora da qualidade do material construtivo, além de contribuir de forma positiva para a questão sustentável regional.

No tocante à sustentabilidade, estudos realizados por Rocha (2012), apontam que “A demanda por sustentabilidade dentro das construções civis, proporcionou melhorias no desempenho ambiental das edificações e seus sistemas de avaliação”.

Entretanto, apesar destas melhorias, deve-se atentar que para se tornar viável, os municípios devem dispor de um Programa de Gerenciamento de Resíduos (PGR), o qual visa diagnosticar, controlar e promover alternativas adequadas para os resíduos gerados dentro das cidades. Apesar de existirem estudos sobre tal gerenciamento, a administração pública das cidades peca em manter tal controle e fiscalização dos resíduos.

Outro ponto, no âmbito da sustentabilidade, está relacionado ao gerenciamento de terra oriundas dos serviços de terraplanagem, cujos excessos de corte de taludes ou na execução das fundações, por exemplo, nem sempre tem um destino previamente definido. Segundo estudo apresentado por Hernandez e Vilar (2004), os resíduos de solo e areia representam em torno de 22% de todo o resíduo produzido na construção civil.

Diante disto, é válido realizar tal pesquisa, já que um dos materiais mais utilizados dentro da construção civil é a terra. A utilização de terra em construções é tão antiga quanto os primórdios de construções realizadas na humanidade, especialmente onde não existiam outros materiais disponíveis, como por exemplo as pedras ou a madeira. Além disto, diante da preocupação perante a sustentabilidade, os resíduos de vidro também representam uma boa parcela dos resíduos gerados nas comunidades, os quais também necessitam de adequada coleta e reciclagem.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo geral

O principal objetivo desta pesquisa foi o de avaliar qualitativamente o uso tijolos de solo-cimento com incorporação de resíduos de vidro produzidos no município de Itajubá/MG, perante a ABNT NBR 8492 (2012), nos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

O vidro foi o primeiro resíduo a ser idealizado para ser incorporado, pois não necessita de tratamento especial para ser utilizado. Também foi levado em consideração, que seria uma maneira de também se economizar no processo de reciclagem da região e ser reaproveitado de forma direta.

### 1.2.2. Objetivos específicos

Pensando na validade da pesquisa, ela se desenhará por meio dos seguintes objetivos específicos:

- I. Discutir a situação do reaproveitamento de resíduos de vidro no município de Itajubá/MG;
- II. Analisar as propriedades físico-mecânicas do solo;
- III. Identificar as características da incorporação dos resíduos nos tijolos solo-cimento;
- IV. Apontar a viabilidade da utilização dos tijolos solo-cimento com os resíduos de vidro como material construtivo.

### 1.3. Justificativa

Em todo o planeta, o uso da terra como material construtivo foi empregado e em alguns lugares com muito sucesso e sofisticação. A Muralha da China é um exemplo histórico e demonstrativo das potencialidades do material, mesmo sendo utilizada com o auxílio de construção associadas com pedras, a sua maior extensão foi feita com terra batida, técnica construtiva conhecida como taipa de pilão.

As principais técnicas utilizadas as quais empregam terra como matéria prima básica são: taipa de pilão ou taipa socada (a massa usada é composta de terra e água, usada apenas para umedecer), o adobe (formados por terra crua, água, palha e fibras naturais, que são moldados artesanalmente em fôrmas e secos ao sol), bloco de terra comprimida (BTC) ou tijolos solo-cimento ou mais conhecido como tijolo ecológico (é um tijolo composto por solo, água, normalmente estabilizado com um pouco de cimento ou cal e comprimido em prensas mecânicas), dentre outras. Sendo esta última combinação considerada a mais econômica ao longo do ciclo de vida de uma edificação.

De acordo com Neves (2011):

Em comparação com os outros métodos construtivos, esta mistura de materiais a base de terra chega a consumir 25% da energia necessária para produzir um tijolo de argila comum e 35% daquela necessária para produzir um bloco de concreto. Quando de demolição, o material pode ser reciclado e reutilizado como material de construção. Sua resistência a cargas é compatível e mesmo superior aos blocos e tijolos de uso comum (NEVES, 2011).

Assim, é errônea a ideia de que a construção de terra significa uma simples volta ao passado e, mais especificamente, ao atraso. Pelo contrário, é o resgate de uma técnica, que não parou no tempo uma vez que incorporou avanços científicos.

Outro aspecto importante, pensando num melhor aproveitamento dos recursos naturais, é a preservação do meio ambiente e da sustentabilidade das tecnologias, novas ou não. Neste cenário se enquadram os resíduos gerados pela população, os quais para terem uma disposição e/ou aproveitamento adequados, precisam ser analisados e suas propriedades devem ser conhecidas.

Atualmente, existem inúmeros setores produtivos preocupados com a sustentabilidade, no tocando a qualidade de vida da população atual e das futuras gerações. O uso indevido dos recursos naturais, o desperdício de matérias-primas disponíveis, otimização e valorização da mão-de-obra e os altos custos de produção, têm sido alvos de discussões e debates na comunidade científica.

Assim sendo, nesta pesquisa também se foi realizado um estudo sobre os resíduos de vidro na região de Itajubá/MG e como estes poderiam agregar no presente estudo, além de aprimorar uma tecnologia presente atualmente.

## 2. Revisão bibliográfica

Vive-se, presentemente, uma revalorização da importância de utilizar a técnica de construção com terra em nossas construções. Os engenheiros e arquitetos preocupados com o meio ambiente estão desenvolvendo aprimoramento tecnológico, aproveitando mecanizações e modernizando o método construtivo, de modo a torná-lo adequado a nossos tempos.

A pesquisa aqui apresentada se dedicará a compreensão de um dos mais variados tipos dos sistemas construtivos com solos, a técnica dos tijolos solo-cimento, a fim de debater sobre a sua utilização como material de construção, por meio de um estudo de caso realizado no município de Itajubá/MG.

### 2.1. Histórico das construções com terra

Os materiais naturais sempre estiveram presentes nas edificações da humanidade, em diversas épocas e culturas. A utilização da terra para construções de edificações trata-se de uma técnica milenar, presente nas metodologias construtivas das mais diversas sociedades. Em seus estudos Minke (2001) relata que na Turquia, na Assíria e em outros países do Oriente Médio foram encontradas edificações com terra, datando dos anos 9000 e 5000 a.C.

No continente americano, Ramos, Gámez e Cossío (2002) comprovaram que as construções com terra já eram utilizadas desde a antiguidade, por meio da Igreja Missionária de São Francisco de Assis nos Estados Unidos e as Ruínas de Chan Chan no Peru. Além destes exemplos, as civilizações inca e asteca já utilizavam terra crua como material de construção mesmo antes da chegada dos colonizadores. Os pesquisadores concluíram que um dos motivos pelo qual se utilizavam esse tipo de construção se dava pelo clima quente e seco, tornando mais favorável a este tipo de construção.

No Brasil, as construções com terra começaram após a chegada dos portugueses, os quais foram responsáveis pela introdução desta técnica no Brasil, já que segundo Milanez (1958), os índios desconheciam tal processo. Contrariamente a estes, os negros, trazidos como escravos, também utilizavam terra como material construtivo. Devido a isto, na colonização brasileira foram utilizadas diversas técnicas à base de terra, tais como: o adobe, a taipa de mão e a de pilão.

Nossos monumentos históricos foram construídos com terra. No entanto, a partir da década de 60, o governo brasileiro promoveu uma ampla campanha nacional associando esta tradição à doença de Chagas (provocada pelo “barbeiro”) criando assim um preconceito contra a utilização da terra na construção. O que acabou por se popularizar a associação da proliferação do “barbeiro” com as casas construídas com terra.

“No entanto, sabe-se que o “barbeiro” vive em cavidades e a este inseto pouco importa se esta cavidade é de terra, de madeira, ou de cimento. O que ele busca são condições ideais de temperatura e luminosidade. Por isso, a doença de Chagas continua existindo onde há miséria e moradias de baixa qualidade” (BARBOSA, NORMANDO PERAZZO; MATTONE, ROBERTO; MESBAH, 2002).

Outro ponto o qual acabou por afastar a população da construção à base de terra, se deve ao período da Revolução Industrial, no qual implicou na rejeição, de um modo geral, aos produtos manufaturados. Em nome do desenvolvimento, as técnicas consideradas rudimentares, entre elas as construções em terra crua, foram desprezadas, consideradas arcaicas e ligadas a pobreza, principalmente nos países industrializados.

Nos países subdesenvolvidos, por sofrerem uma forte influência por parte dos países considerados desenvolvidos, absorveram tais tecnologias, deteriorando as culturas locais. Isso acaba por causar uma outra problemática, em que tais soluções importadas, nem sempre são adaptáveis aos países emergentes, tornando as técnicas revolucionárias em um mero aspecto de status.

Ademais as construções com terra podem contribuir de forma positiva para a sustentabilidade na construção civil, já que envolve menor consumo energético, minimiza a geração de resíduos, apresentar baixa emissão de poluentes, apresentar uma excelente durabilidade, se demonstra versátil, viavelmente econômica, além da sua importância histórico-cultural.

Após conhecido o histórico das construções com terra, é importante destacar que o termo terra está associado a uma cultura, e é comumente utilizado para descrição de material cujo em suas propriedades físicas não possui vegetação, cimento ou asfalto. Em caso da realização da mistura com aditivos, o termo apropriado se passa a utilizar como solo.

## 2.2. Solos

Os solos podem ter das mais vastas definições no meio acadêmico, dependendo do ponto de vista e sob qual ciência realiza o estudo sobre ele. A definição de solos exposta pelo engenheiro Caputo (1988), referência nos estudos sobre mecânica dos solos, traz que:

Os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas por desintegração mecânica ou decomposição química. Por desintegração mecânica, através de agentes como água, temperatura, vegetação e vento, formam-se os pedregulhos e areias (solos de partículas grossas) e até mesmo os siltes (partículas intermediárias) e, somente em condições especiais, as argilas (partículas finas). Por decomposição química entende-se o processo em que há modificação química ou mineralógica das rochas de origem. O principal agente é a água e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. As argilas representam o último produto do processo de

decomposição. Normalmente esses processos atuam simultaneamente; em determinados locais e condições climáticas, um deles pode ter predominância sobre o outro. O solo é, assim, uma função da rocha-mãe e dos diferentes agentes de alteração. Os que mantêm uma nítida macroestrutura herdada da rocha da origem são designados por solos saprolíticos. (CAPUTO, 1988)

De forma complementar, o engenheiro Ortigão (2007) retrata em seus estudos que o solo por ser um aglomerado de partículas provenientes de decomposição da rocha, chamado de processo de intemperismo, pode ser escavado com facilidade, sem o emprego de explosivos, o que propicia sua utilização como material de construção ou de suporte para estruturas. Como pode-se notar, o solo é um material de fácil acesso, o que facilita em termos de matéria-prima para a realização de construções e aquisição do material.

O solo pode ser subdividido em frações de acordo com o tamanho e a forma de seus constituintes. Vários centros de pesquisas e diversos pesquisadores, tais como o Departamento de Agricultura dos EUA, Escritório de Estradas Públicas dos EUA e Instituto de Tecnologia de Massachusetts, citados nos trabalhos por CYTRYN (1957) e por TERZAGHI & PECK (1961), estabelecem limites mínimos e máximos para o tamanho das partículas constituintes do solo.

Tal constituição é composta basicamente de uma estrutura física dividida em três partes: areias, siltes e argilas, e tais percentuais de composição do solo irão determinar o tipo de correção que o mesmo deva receber, para que a composição da matéria-prima atinja um nível de qualidade para a composição das mais diversas técnicas com solo.

De modo geral, tal classificação do solo é realizado pelo ensaio de análise granulométrica, normatizada no Brasil pela norma ABNT NBR 7181 (2017), e adota a peneira de abertura 0,074 mm como sendo o limite entre areia e siltes.

As frações grossas do solo, denominadas de areia, são agregados coesivos de fragmentos de rochas ou minerais constituídos de partículas de até 4,8 mm. Já a fração de solos finos pode ser dividida em dois grupos: os siltes, que apresentam baixa ou nenhuma plasticidade, com tamanhos de grãos compreendidos entre 0,002 mm e 0,074 mm; e argilas, sendo composta por partículas microscópicas de grãos menores que 0,002 mm.

Portanto, é de suma importância conhecer a composição granulométrica do solo, para que se possa definir propriedades do material, tais como plasticidade e durabilidade.

## 2.3. Tipos de técnicas utilizadas com solos

### 2.3.1. Painéis monolíticos de solo-cimento (Terra compactada)

As paredes de painéis monolíticos consistem na compactação de camadas de terra úmida no interior de moldes, geralmente de madeira, que vão se deslocando a medida que avança a construção. Para garantir o prumo e manter constante a espessura da parede utilizam-se guias verticais que inclusive facilitam o deslocamento dos moldes.

Este sistema construtivo, é um sistema prático que tem como característica de poder ser moldado na obra. A melhor terra a ser utilizada é aquela com o maior teor arenoso, podendo assim melhorar sua resistência quando estabilizada com cimento ou cal.

Processo construtivo: Preparação da terra; Colocação da forma; Compactação; Desmoldar e acabamentos; Organização da obra.



Figura 1 - Processo Construtivo da terra compactada

Fonte: Autoria Própria



A tecnologia empregada na construção de painéis monolíticos de solo-cimento, muito parecida com a técnica antiga da Taipa de Pilão consiste em comprimir a terra em fôrmas de madeira (taipais), em camadas de aproximadamente 20 cm de altura, até o seu preenchimento.

A desmoldagem é feita em seguida e o material apilado. O ideal é trabalhar com dois pares de fôrmas para que haja um maior rendimento da obra.

A mistura dos materiais pode ser manual ou mecânica. Para executá-la deve-se misturar uma parte de solo peneirado e destorroado, outra de areia e uma de cimento. Se necessário coloca-se água aos poucos, até obter uma mistura com a umidade adequada.

De acordo com Neves e Faria (2011), a verificação da umidade da mistura é feita pelo teste do bolo, o qual consiste em tomar um punhado da mistura e apertá-la entre os dedos e a palma da mão: ao abrir a mão o bolo deverá ter a marca deixada pelos dedos; em seguida, deixa-se cair o bolo de uma altura de 1m sobre uma superfície dura, ele deverá esfarelar-se, ou quebrar em dois pedaços. Caso não ocorra isso, há um exagero na adição de água.

A seleção do solo adequado é importantíssima para a qualidade da taipa. A técnica não é adequada para solos argilosos ou solos com muita matéria orgânica.

Alguns cuidados devem ser levados em consideração na elaboração do projeto arquitetônico, tais como:

- o projeto deverá ser modulado de acordo com o comprimento das fôrmas de madeira;
- a largura das paredes deve ser definida de acordo com a altura;
- as instalações elétricas poderão ser embutidas nas paredes durante a compactação, por isso é importante defini-las no projeto;
- as paredes não necessitam de chapisco, emboço e reboco devido ao acabamento liso do solo-cimento compactado. Pode-se aplicar uma tinta natural diretamente na superfície.

### 2.3.2. Blocos de terra crua (Adobe)

O adobe é uma das técnicas mais antigas, sendo utilizadas por populações antigas de todo o mundo, onde são construídas paredes com tijolos de terra crua, utilizando a massa em estado plástico, bem misturada, curada e preparados em moldes a serem secos ao sol.

Neste sistema construtivo, a terra é misturada com água e, às vezes, são adicionadas fibras que podem ser vegetais ou sintéticas, de forma a criar um bloco consistente.

Processo construtivo: Mistura das matérias primas; Colocação na forma para estrutura; Processo de cura ao tempo (Sem queima); Utilização dos blocos na construção.



Figura 2 – Adobe

Fonte: Projeto Jeriva<sup>1</sup>

Segundo Oliveira (2003), o adobe é uma técnica tradicional de alvenaria, onde a principal matéria prima é a terra crua. O processo de fabricação do tijolo de adobe consiste em amassar a terra, deixar descansar por alguns dias e, ainda úmido, colocá-la em fôrmas, deixando-a secar ao sol. Atualmente, o tijolo também é feito com processo de secagem à sombra (CARVALHO, 2012).

A resistência à compressão dos tijolos de adobe é satisfatória para realização de construções com segurança do ponto de vista estrutural. Os estudos de Motta (2004) revelam que a resistência média do bloco é de 2 MPa. Esse valor é semelhante à resistência do tijolo cerâmico comum, o que mostra que o sistema é competitivo nesse aspecto. O tijolo de adobe apresenta também outras vantagens (FREIRE, 2003): “simplicidade de execução, pois não há necessidade de mão de obra qualificada e de equipamentos específicos; custos de produção dos tijolos praticamente nulos, quando há barro disponível no local; não gera resíduo e não necessita da queima de madeira; permite um isolamento térmico e acústico; material resistente ao fogo.”

Apesar de apresentar tais qualidades, o adobe apresenta também desvantagens: a presença de água pode provocar a desintegração no material e falhas estruturais; apresenta altas taxas de contração/expansão, o que leva ao aparecimento de fissuras, quando o material permanece exposto a condições climáticas variáveis; possui baixa resistência a abrasão; necessita de manutenção frequente.

### 2.3.3. Tijolos solo-cimento ou tijolos prensados com terra estabilizada (BTC)

Comparado à técnica milenar da construção dos adobes, o mesmo não pode se dizer dos tijolos prensados de terra com cimento. Exigindo a prensagem esforços relativamente elevados (aproximadamente de 2 MPa), de acordo com Torgal, Eires e Jalali (2009) só por volta dos anos 50 foi desenvolvida a primeira prensa manual conhecida pelo nome de Cinva-Ram, idealizada na Colômbia. Ela deu origem a inúmeras outras espalhadas por todo o mundo.

A técnica utilizada na produção dos tijolos de solo-cimento é bastante simples, em que após o preparo da mistura de solo, cimento e água nas proporções adequadas, a massa é compactada em prensa que pode ser manual ou hidráulica, conforme demonstrado a seguir.

Processo construtivo: Depósito de solo (jazida); Peneiramento (rejeitar: granulometria maior que 6mm, pedregulhos e raízes); Mistura (homogeneizar: solo + 5 a 10% cimento + 10 a 15% de água); Prensagem; Cura (7 dias em câmara úmida).



Figura 3 - Fábrica de tijolos solo-cimento em Limeira/SP

Fonte: Autoria própria

De acordo com Pisani (2005), pode-se acrescentar que, o tijolo de solo cimento possui matéria-prima abundante em todo o planeta por se tratar da terra crua. A autora ainda ressalta que o produto não precisa ser queimado, o que proporciona economia de energia, além de proporcionar ambientes confortáveis com pouco gasto energético, permitindo conforto térmico e acústico, pelo fato de possuir características isolantes.

Segundo o SEBRAE (2013), “as vantagens do tijolo de solo-cimento vão além das ambientais, servindo também para a economia no processo construtivo e conforto, estética. Estudos realizados em todo o Brasil, (...) tijolos ecológicos trazem para a obra de 20 até 40% de economia com relação à construção convencional”.

Outra vantagem é a redução do uso de argamassas de assentamento e revestimento já que a qualidade e o aspecto final das peças são notadamente superiores, com maior regularidade dimensional e planicidade de suas faces, podendo até ser utilizado em alvenaria aparente, necessitando apenas de uma cobertura impermeabilizante como acabamento (SOUSA, 2006).

Conforme Neto (2010): “hoje, em uma obra convencional, cerca de 1/3 do material vai para o lixo”. Ainda de acordo com o autor, essa técnica construtiva possui outras vantagens, dentre as quais pode-se citar:

- Estrutura – os encaixes e colunas embutidas nos furos distribuem melhor a carga de peso sobre as paredes;
- Redução do uso de madeira para forma de vigas e pilares quase a zero;
- Economia de concreto e argamassa em cerca de 70%;
- Economia de 50% de ferro.

Além de todas, essas vantagens explicitadas, Paliari e De Souza (1999) demonstram em seu trabalho que se torna essencial à elaboração de políticas voltadas para a redução das perdas de materiais. Sejam elas no âmbito de toda a cadeia produtiva ou apenas no âmbito do canteiro de obras, há a necessidade de uma metodologia através de dados confiáveis e representativos; a proposição de alternativas para a redução das mesmas a patamares aceitáveis.

De acordo com a ABCP (1987), a utilização do solo-cimento na construção de habitações de baixo custo (populares) permite uma grande economia, com uma redução de custos que pode chegar até 40% do custo total da obra. Os fatores contribuintes para esse barateamento se dão pelo baixo custo do solo que, nesse caso, é o material empregado em maior quantidade. Contribuem também os fatos de minimizar as despesas com transporte e os gastos com energia. Existe ainda a possibilidade de aproveitamento de mão-de-obra não qualificada, o que reduz ainda mais os custos envolvidos.

Além disto, Ângulo et. al. (2001) descreve que, com a aproximação do conceito de desenvolvimento sustentável e a necessidade de novas relações da população com o meio ambiente, a construção civil deve passar por importantes transformações. Como exemplos destas transformações, podemos citar a redução de desperdício, busca de melhor qualidade de seus produtos, reciclagem de seus resíduos, projetos voltados para sustentabilidade ambiental, aumento da durabilidade de componentes são exemplos de preocupações atuais no campo da pesquisa voltada para a sustentabilidade.

## 2.4. Solo-cimento

Segundo a ABCP (2009), a mistura de solo com o cimento é definida como:

O solo-cimento é o material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água em proporções adequadas. O produto resultante deste processo é um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade. O solo é o componente mais utilizado para a obtenção do solo-cimento. O cimento entra em uma quantidade que varia de 5% a 10% do peso do solo, o suficiente para estabilizá-lo e conferir as propriedades de resistência desejadas para o composto. (ABCP, 2009)

A composição solo-cimento pode ser utilizada tanto nas unidades habitacionais, quanto na pavimentação, o que demonstra sua versatilidade. Acredita-se que o engenheiro H. E. Brook-Brandley (1891), no final do século XIX tenha sido o pioneiro na utilização desta mistura, inicialmente no tratamento de leitos de estradas e pistas para veículos de tração animal, no sul da Inglaterra (PESSOA, 2004).

Nos Estados Unidos este material foi utilizado pela primeira vez em 1915, pelo engenheiro Bert Reno, na pavimentação de uma rua empregando uma mistura de areia de praia, conchas marinhas e cimento Portland (GRANDE, 2003).

No Brasil, Heise (2004) em sua pesquisa cita que as primeiras construções no Brasil com solo cimento foram a construção da pavimentação do aeroporto de Petrolina (PE) e a construção de residências na cidade de Petrópolis (RJ) no início da década de 1940. Durante este mesmo período, o autor menciona que o arquiteto Lucio Costa, utilizou outros sistemas construtivos com solo-cimento, tais como o pau-a-pique e o painel monolítico durante a construção da Vila Operária de João Monlevade (MG).

A partir destas construções, na década de 40, a Associação Brasileira de Cimento Portland juntamente com o extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, por meio de análises da construção da rodovia da estrada Caxambu-Areias, começou a desenvolver estudos sobre o solo-cimento.

Tais exemplos, corroboram a funcionabilidade e durabilidade da técnica construtiva. O significativo estado de conservação nessas edificações, as quais se encontram hoje, atesta claramente a qualidade do material. A partir daí, o uso do solo-cimento foi consideravelmente ampliado devido às vantagens técnicas e econômicas que o material oferece.

#### 2.4.1. Estabilização do solo

Ferraz et al. (2000) relatam em seu trabalho que:

A utilização do solo como material de construção pode-se dar tanto na forma como ele é encontrado (solo natural), ou após a correção de algumas de suas propriedades de engenharia. Para essa correção podem ser empregados diversos métodos, entre os quais se citam a correção granulométrica e a adição de compostos químicos. (FERRAZ et al., 2000).

Corroborando tal afirmação, Batista (1976) afirma que: “A estabilização consiste no tratamento do solo, por um processo mecânico, ou químico, tornando-o estável para os limites de sua utilização, e permanecendo assim, mesmo sob a ação de cargas exteriores e ações climáticas” (BATISTA, 1976).

A determinação da escolha do tipo de estabilização a ser realizada deve julgar o tempo de utilização, a disponibilidade de mão de obra capacitada e o quanto econômica tal técnica será, por isso, a relevância em conhecer os métodos de estabilização de solos disponíveis no mercado.

BLÜCHER (1951) retrata em seus estudos que os principais fatores que afetam a qualidade do solo-cimento são: o tipo de solo, o teor de cimento, o método de mistura e a compactação. Além disto, complementa que, desses fatores, o solo exerce maior influência e, se este for inadequado, pouco se poderá fazer para obter um resultado satisfatório.

A princípio, qualquer tipo de solo pode ser estabilizado com qualquer outro tipo de material, como por exemplo cimento ou cal, entretanto, alguns acabam por se tornar inviáveis economicamente devido ao alto volume de insumos a qual devam ser adicionados à mistura. Vale salientar que, a utilização de solo natural só é viável quando ele esteja em boas condições de qualidade, e que atenda aos quesitos das diretrizes normativas da engenharia.

Além disto, deve-se atentar que:

Como todo material, é indispensável conhecer e caracterizar o solo antes da sua utilização, identificar a natureza e composição do solo, entender o seu comportamento, e estudar as suas propriedades físicas e mecânicas. Ensaio de laboratório tornam possível a determinação de propriedades como composição granulométrica, massa volumétrica, limites de consistência, retração, teor de umidade e grau de compactação. Estas características permitem aferir a adequabilidade e a necessidade de correção da composição do solo para determinado uso na construção, e facilitam a escolha da técnica construtiva mais indicada. (SANTOS, 2012)



## 2.4.2. Cimento

Um dos aditivos mais utilizados para a estabilização dos solos é o cimento Portland, visto que:

A estabilização de solos através da incorporação de aditivo como o cimento, constitui um processo de tratamento com base em reações químicas entre as partículas do solo, a água e os materiais adicionados, resultando alterações no solo e originando um novo material com características diferentes e necessariamente aproximadas do que se pretende para a confecção de materiais para construção civil e rural. (MILANI, 2008)

Segundo Cristelo (2001), o cimento Portland é utilizado como agente estabilizador do solo plástico ou não plástico, com teores de água suficientemente elevados, para não impedir a adequação aos trabalhos com solo-cimento. A utilização do cimento na estabilização de solos tem como objetivo melhorar as características físicas e mecânicas e maior estabilidade relativa à variação do teor de água.

A ABCP (2002) diz que o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes e endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento não se decompõe mais. Por sua vez, Lopes (2002) relata que o cimento Portland é uma substância alcalina, composta, em sua maior parte, de silicatos e aluminatos de cálcio que, por hidrólise, dão origem a compostos cristalinos hidratados e gel.

Diante disto, a relação estabelecida entre o solo e o cimento se dá por meio de:

A reação do cálcio livre liberado durante o processo de hidratação do cimento provoca a agregação do solo-cimento. Uma das mais importantes características do cimento é a condutibilidade elétrica das suas partículas apresentada na mistura de solo-cimento. A presença de cargas elétricas nas partículas de cimento provoca uma atração entre o cimento e as partículas de argila, produzindo agregados. (FERREIRA, 2003)

Senço (2001) relata que a estabilização de solos pode ser simplesmente realizada pela adequada distribuição das diversas porções de diâmetros dos grãos (estabilização granulométrica). A distribuição granulométrica é preenchida na proporção em que os grãos de maior tamanho são preenchidos pelos médios, e estes, por sua vez, pelos miúdos.

## 2.5. Caracterização do solo

De acordo com Vargas (1981), a caracterização dos solos tem grande importância para as obras de engenharia, devendo-se realizar um estudo minucioso com o intuito de identificar o material com o qual irá se trabalhar. Uma vez realizado o estudo sobre o material, o solo deve ser caracterizado em face de suas características, assim, com a definição do problema, inicia-se o dimensionamento. O autor complementa que a classificação dos solos, para fins de engenharia, deve ser feita considerando-se tanto a granulometria como a plasticidade do solo.

No tocante a plasticidade do solo, estuda-se os limites de liquidez e de plasticidade (limites de Atterberg), os quais são valores que representam a trabalhabilidade dos materiais cerâmicos, ou seja, representam a transição entre os estados líquido – plástico – semi-sólido – sólido (CARVALHO, 2004).

O limite de liquidez (LL) determinar o teor em água no qual o solo adquire o comportamento de um líquido, causado pela perda de coesão de suas partículas; e o limite de plasticidade (LP) é o valor de umidade na qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido. A relação entre estes índices é denominada de índice de plasticidade (IP). Os limites de Atterberg descrevem o estado físico do solo e como este reage em contato com a água.

Segantini (2000) apresenta as faixas de granulometria do solo consideradas ideais para a composição do solo-cimento, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Faixas granulométricas consideradas ideais para solo-cimento

Fonte: SEGANTINI, 2000

| Autores      | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) | Silte + Argila (%) | LL (%) |
|--------------|-----------|-----------|------------|--------------------|--------|
| CINVA (1963) | 45-80     | -         | -          | 20-25              | -      |
| ICPA (1973)  | 60-80     | 10-20     | 5-10       | -                  | -      |
| MAC (1975)   | 40-70     | < 30      | 20-30      | -                  | -      |
| CEPED (1984) | 45-90     | -         | < 20       | 10-55              | 45-50  |
| PCA (1969)   | 65        | -         | -          | 10-35              | -      |

Ainda de acordo com Segantini (2000), os solos mais adequados para a fabricação de solo-cimento são os que possuem as características geotécnicas com porcentagem de 10 a 50% passando na peneira ABNT 0,075mm (nº 200), limite de liquidez  $\leq 45\%$  e índice de plasticidade  $\leq 18\%$ .

Para isto, algumas instituições, como por exemplo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criaram uma série de normas, diretrizes e ensaios básicos, com o objetivo de identificar e classificar os solos, conforme a seguir:

NBR 6457 - Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;

NBR 6459 - Determinação do limite de liquidez dos solos;

NBR 6508 - Determinação da massa específica dos grãos de solo;

NBR 7180 - Determinação do limite de plasticidade dos solos; e

NBR 7181 - Análise granulométrica dos solos.

As propriedades mecânicas dos solos, de maneira geral, apresentam melhorias quando misturados com cimento e submetidos aos processos de compactação. Existem, porém, limitações ao uso de determinados solos, geralmente vinculadas à trabalhabilidade e ao consumo de cimento. Por isso, os ensaios citados são de suma importância para o desenvolvimento do estudo da mistura solo-cimento.

## 2.6. Análise ambiental dos resíduos sólidos

O primeiro país o qual percebeu a necessidade e urgência de regulamentar sobre as questões ambientais por meio dos poderes públicos foram os Estados Unidos, na década de 1960. O país promoveu a intervenção regulamentadora no meio ambiente, através da “Avaliação dos Impactos Ambientais” (AIA).

No Brasil, a política ambiental brasileira teve início uma década após, como resultado das ações de movimentos sociais nacionais e de pressões vindas de outros países. Outro fator que contribuiu para a abertura das políticas ambientais no Brasil, foi o fato do país ter participado da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente realizada em Estocolmo, em 1972, no qual o objetivo da reunião era o de encorajar as ações governamentais e as organizações internacionais à promover a proteção e o aprimoramento do meio ambiente.

Um ano após a Conferência de Estocolmo, foi criada no Brasil a Secretaria Especial de Meio Ambiente (Sema), órgão especializado no trato de assuntos ambientais sob a coordenação do Ministério do Interior.

Entretanto, apenas em 1981, a Lei Federal 6.938 criou o Sistema Nacional de Meio Ambiente, integrado por um órgão colegiado: o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Essa lei estabeleceu os objetivos, princípios, diretrizes, instrumentos, atribuições e instituições da política ambiental nacional. De acordo com esta lei, o objetivo principal desta política era: “a preservação ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições para o desenvolvimento socioeconômico, os interesses da segurança nacional e a proteção da dignidade da vida humana”.

Mesmo com uma legislação específica e um órgão governamental existentes, durante um bom tempo não se havia colocado em prática a gestão ambiental brasileira. Até que em 1998, foi decretado a Lei Federal nº 9.605, conhecida como “Lei de Crimes Ambientais”, e posteriormente publicou-se o Decreto Federal nº 6.514 (2008), os quais foram previstas as sanções aos crimes de cunho ambiental.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos existe há quase uma década, e apesar do governo tentar adotar medidas com o intuito de minimizar o impacto gerado por meio dos resíduos no meio ambiente, ainda há um grande caminho para se trilhar.

Conforme o Panorama de Resíduos Sólidos 2018/2019, produzido pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE), comprovou-se que em 2018 o Brasil gerou 79 milhões de toneladas de resíduos, dos quais 92% destes foram coletados.

Um estudo realizado por Silva (2017), apontou que o Brasil gera em torno de 160 mil toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos, e que cerca de 40% desse montante são passíveis de reaproveitamento e reciclagem. Entretanto, apenas 13% desses resíduos são encaminhados para a reciclagem.

Apesar do cenário parecer promissor, não basta apenas coletar e direcionar para os aterros, deve-se haver uma boa gestão e administração de toda a cadeia de gerenciamento dos resíduos, já que um dos principais componentes da poluição ambiental são provenientes da má destinação destes resíduos. Em condições adequadas, estes dejetos podem ser reaproveitados, promovendo assim um reaproveitamento da matéria prima e poupando as fontes primárias de recursos naturais.

Como exemplo, Nagalli (2014) traz uma metodologia a qual pode ser adotada para a otimização do gerenciamento dos resíduos:

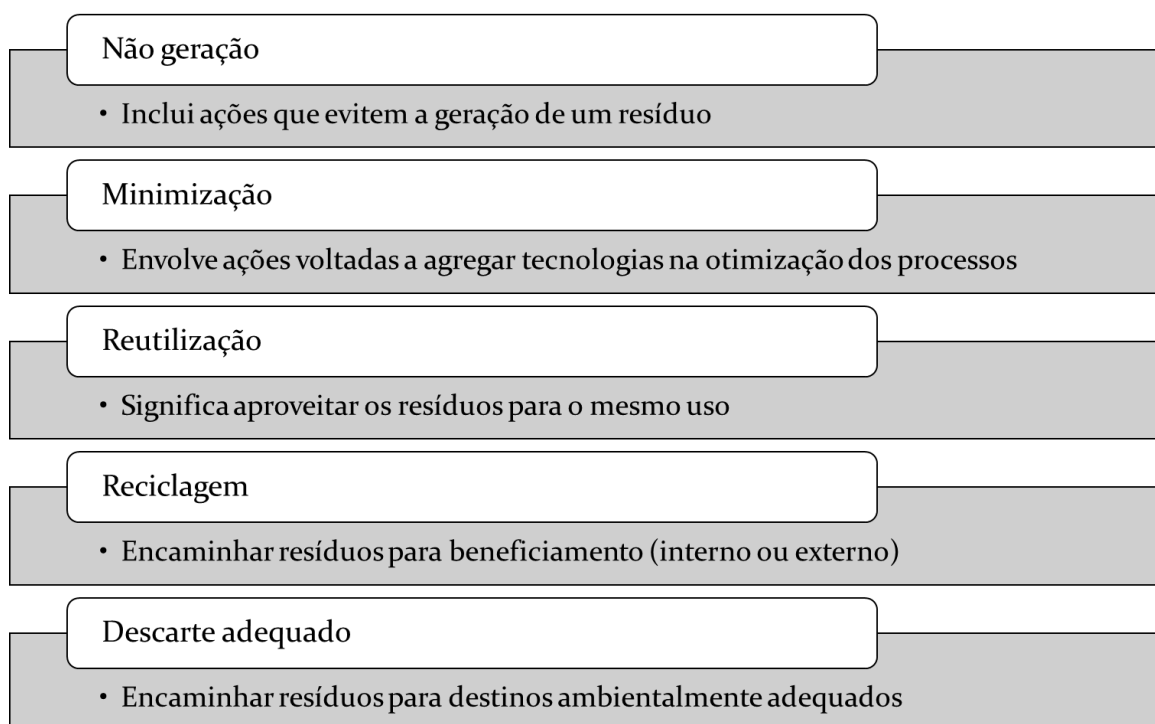


Figura 4 - Hierarquia do gerenciamento dos Resíduos  
Fonte: Adaptado de NAGALLI (2014)

Além da preocupação à nível populacional, no meio industrial, o qual detém um grande percentual destes resíduos, visando as boas práticas com o meio ambiente e com a redução de custos, viram uma grande oportunidade de reutilizar a matéria prima, para a produção de seus produtos.

Perante tais dificuldades, surgiu-se a necessidade de alterar a forma com os resíduos eram vistos, começando pela necessidade de reduzir a sua produção. Criou-se assim um novo conceito, adotados na Conferência da Terra realizada no Rio de Janeiro em 1992, bem como no 5º Programa Europeu para o Ambiente e Desenvolvimento de 1993, denominado de política dos 3 R's (Reduzir, Reciclar e Reutilizar). Tal metodologia visa uma alternativa não apenas viável, mas também necessária para a consolidação de uma comunidade sustentável.

A reciclagem apresenta as mais diversas vantagens, dentre elas: redução de energia nos processos produtivos daquela matéria, redução do volume de resíduos a serem descartados nos aterros, um menor impacto ambiental e preservação dos recursos naturais e geração de empregos.

Na tentativa de normatizar parte da cadeia de processo da reciclagem, os resíduos devem ser separados e classificados, e no Brasil existe uma norma, na qual classifica tais resíduos de acordo com suas propriedades físicas, químicas e risco de contaminação. De acordo com a NBR 10004/2004, os resíduos podem ser classificados quanto ao grau de periculosidade e quanto a reatividade, conforme a seguir:

Resíduo Classe I – Perigoso: São resíduos que, em função de suas propriedades físico-químicas e infectocontagiosas, podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente. Incluem os materiais inflamáveis, corrosivos, radioativos, tóxicos e patogênicos;

Resíduo Classe II A – Não perigosos, não inerte: São aqueles de baixa periculosidade, mas ainda oferecem capacidade de reação química em certos meios. Podem ser combustíveis, biodegradáveis e/ou solúveis em água.

Resíduos Classe II B – Não perigosos, inertes: São aqueles que tem baixa capacidade de reação, podem ser dispostos em aterros sanitários ou reciclados, pois não sofrem qualquer tipo de alteração em sua composição com o passar do tempo. Exemplo de resíduos: entulhos, sucata de ferro e aço.

Além da classificação dos resíduos e risco ambiental, com a finalidade de reciclar tais materiais, deve-se também analisar a sua disponibilidade e transporte como fatores economicamente determinantes.

## 2.7. Contextualização dos resíduos de vidro

Os tijolos de solo-cimento já são por si só uma forma de construção sustentável, entretanto com o intuito de inovar e conseguir uma reutilização dos materiais, os quais seriam descartados, pode-se realizar estudos sobre o reaproveitamento destes materiais na incorporação da construção e torná-la mais eficiente, em termos sustentáveis.

O vidro foi o primeiro resíduo a ser idealizado para ser incorporado, pois não necessita de nenhum tratamento especial para ser aplicado. Também foi levado em consideração, que seria uma maneira de também se economizar no processo de reciclagem da região e ser reaproveitado de forma direta.

Outro ponto favorável pela opção da escolha do resíduo do vidro, é que o mesmo é classificado de acordo com a NBR 10004/04, como resíduo classe II B, ou seja, é um resíduo não perigoso e inerte, o que tende a não provocar uma reação com o solo-cimento.

Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos (ABRELPE, 2019), em 2018 foram coletados no Brasil cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, destes cerca de 43,3 milhões de toneladas foram dispostas em aterros sanitários e 29,5 milhões de toneladas sendo dispostas em locais inadequados sejam em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

O vidro demora cerca de 5 mil anos para se decompor, mas em contrapartida pode ser reciclado infinitas vezes. A reciclagem do material no Brasil movimenta aproximadamente R\$ 120 milhões por ano, de acordo com o levantamento realizado ano passado pela Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO).

Ainda segundo a Associação, o resíduo do vidro não se perde no processo de reciclagem e pode ser 100% reaproveitado, sem perder a qualidade. “As empresas que produzem o componente, geralmente, optam por usar 40% do caco de vidro em uma nova embalagem e 60% de composto virgem”, afirma Stefan David (ABIVIDRO, 2020).



A população juntamente com a economia mundial vem crescendo de forma exponencial e isso acarreta um impacto no consumo de materiais. Diante disto, a geração de resíduos também acompanha tal crescimento, e o grande desafio para as prefeituras municipais é lidar com manejo dos descartes destes materiais.

O vidro é um desses resíduos gerados que em grande parte não tem destinação adequada. Segundo números divulgados pela ABRAVIDRO (2020), a indústria de vidro produz cerca de aproximadamente 2 milhões de toneladas de vidro por ano, sendo gerado por uma única empresa cerca de 8 toneladas de vidro por mês.

Dentro deste contexto, segundo dados do Ministério do Desenvolvimento Regional, o município de Itajubá coleta cerca de 3,5 toneladas de resíduos de vidro ao longo do ano. Grande parte deste recolhimento, se dá pela coleta seletiva existente na região, o que facilita o manejo destes resíduos e contribui para que empresas da cidade e de outros locais reutilizem tal matéria prima e contribuam conscientemente para que estes não acabem indevidamente indo para aterro sanitário.

Conforme Sousa Neto (2014) constantemente são realizadas novas pesquisas que buscam desenvolver destinos viáveis para o resíduo de vidro, o que faz com que a sua manufatura seja mais sustentável. Além disso, o grande aumento dos resíduos os quais são levados para aterros sanitários motivam uma busca contínua de soluções ecologicamente sustentáveis e corretas.

Segundo a ABRAVIDRO (2020), atualmente a produção de vidro utiliza 47% de matéria-prima oriunda de reciclagem, este valor representa a reciclagem de vidros empregados principalmente em recipientes como garrafas.

Assim sendo, os resíduos de vidro é o terceiro material com maior potencial de reciclagem, ficando atrás apenas dos resíduos de plástico e derivados do papel.

## 2.8. Critérios para a escolha do solo

A ABCP (2009) afirma que praticamente qualquer tipo de solo pode ser utilizado para a confecção da mistura solo-cimento, excluindo apenas aqueles que contêm matéria orgânica em sua composição (solo de cor preta). Ainda complementa que: “...os solos mais apropriados são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%.”

Segundo Segantini (2000):

A existência de grãos de areia grossa e pedregulhos é benéfica, pois são materiais inertes e têm apenas a função de enchimento. Isso favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerar os grãos menores. Os solos devem ter, no entanto, um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento deve-se à coesão da fração fina compactada. (SEGANTINI, 2000)

Além disto, existe consenso de que, para ser viável tecnicamente, o solo deve apresentar LL entre 45% e 50% (CEPED, 1984). A experiência tem demonstrado que quando os solos possuem um teor de silte mais argila inferior a 20%, não se consegue uma resistência inicial que propicie a sua compactação. Os critérios para a seleção dos melhores solos não têm variado muito.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Materiais

##### 3.1.1. Solo

Foi utilizado um solo argiloso proveniente do município de Itajubá/MG, classificação A-6, segundo a AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e classificação CL de acordo com a Classificação Unificada dos Solos ou The Unified Soil Classification System (USCS). Antes de utilizado o solo foi seco ao ar, destorroado em um misturador planetário e peneirado em peneira para areia comum.



Figura 5 - Misturador planetário

Fonte: SAHARA (2020)

##### 3.1.2. Cimento Portland

Utilizou-se o cimento Portland, composto com Filer, CPII-F-32, facilmente encontrado no comércio local e que apresenta características compatíveis para elaboração de tijolos modulares de solo-cimento.

### 3.1.3. Água

A água utilizada no processo de fabricação era potável, fornecida pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). A água manuseada encontrou-se de acordo com a norma ABNT NBR 10833/12, segundo a qual, a água para a fabricação de solo-cimento deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento.

### 3.1.4. Resíduos de vidro

Os resíduos de vidro utilizados foram provenientes do Aterro Sanitário da Prefeitura Municipal de Itajubá/MG, e separados pelo tipo de coloração/tipo. Esta separação seu deu com o intuito de avaliar se a qualidade do resíduo influenciaria nos resultados.



Figura 6 - Resíduos de vidro

Fonte: Autoria Própria

Os resíduos coletados encontravam-se em estado extremamente sujos e com os devidos rótulos. A fim de garantir apenas a coleta do material necessário, os resíduos foram lavados, realizada a remoção das embalagens e secos ao sol, para que a umidade também não fosse um problema após a confecção dos tijolos.

Posteriormente a isto, os resíduos foram processados e transformados em resíduos puros, para seguir com o procedimento de moagem, com o intuito de uniformizar a granulometria dos resíduos com os insumos utilizados.

### 3.2. Métodos

O desenvolvimento desta pesquisa baseou-se na metodologia apresentada na figura 7:

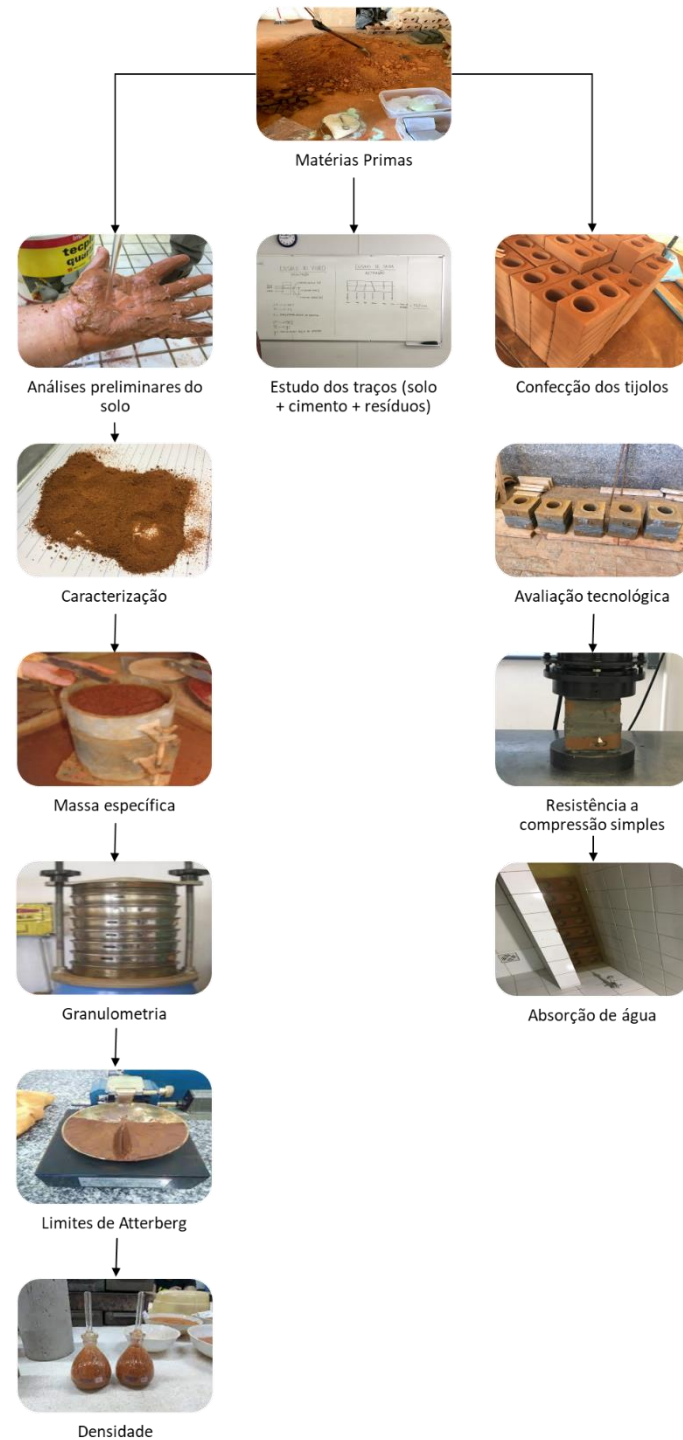


Figura 7 - Fluxograma das etapas desenvolvidas nesta pesquisa

Fonte: Autoria própria

### 3.2.1. Análises Preliminares do solo

Com o intuito de se certificar em campo de que os solos escolhidos atendem as necessidades dos ensaios, um estudo realizado pela Universidade Metodista de Piracicaba (2011), comprovou que deve-se usar os sentidos humanos (visão, audição, paladar, olfato e tato) para recolher as primeiras informações de uma amostra de terra, como um treinamento que pode economizar tempo para decisões no canteiro de obra.

Tais análises preliminares são fáceis de se realizar, já que podemos utilizar como material básico, o próprio solo encontrado na obra. Entretanto para se chegar a uma maior precisão é necessário confirmar os resultados com a repetição dos ensaios laboratoriais.

#### 3.2.1.1. Exame visual

Objetivo: Observar a cor e a composição da amostra (o tamanho dos grãos).

Procedimento prático: Examinar uma amostra em estado seco e observar os componentes a uma vista simples para apreciar seus aspectos arenosos e argilosos. Nesse exame a fração fina (argilas e limo) que é composta por partículas inferiores a 0,08mm, não é perceptível a olho nú. Os solos com cores negras e brancas, não servem para construção dos adobes. Já as vermelhas e castanhas são adequadas para a utilização, em especial a amarelo-claro, as quais são as ideais para tal finalidade.

#### 3.2.1.2. Exame de odor

Objetivo: Detectar a presença de material orgânico na amostra.

Procedimento prático: Cheirar a amostra. A amostra contém elementos orgânicos se tiver um odor de humus (mofo). Este odor se amplifica se aquece-se ou umidifica a amostra. Este tipo de terra não é conveniente para a construção.

### 3.2.1.3. Exame de mordida

Objetivo: Identificar o grão de maior proporção na amostra.

Procedimento prático: Morder uma pitada da amostra entre os dentes. A terra é arenosa se provoca uma sensação desagradável, abrasiva entre os dentes. A terra é argilosa se sentimos uma sensação lisa e farinhosa entre os dentes. Atenção: deve-se cuidar da qualidade higiênica das amostras.

### 3.2.1.4. Exame tátil

Objetivo: Identificar a composição granulométrica do material (a tração fina).

Procedimento prático: Tritura-se a amostra entre os dedos e a palma da mão. A terra é arenosa se apresenta uma sensação de rugosidade e não se observa nenhuma coesão. A terra é limosa se tiver uma ligeira impressão de rugosidade e a amostra úmida apresenta uma plasticidade média. A terra é argilosa se em estado seco apresenta torrões que resistem a compressão e em estado úmido se convertem em massa plástica e colante.

### 3.2.1.5. Exame de água corrente

Objetivo: Identificar a proporção de finos na amostra.

Procedimento prático: Lavar as mãos após esfregá-las com terra ligeiramente úmida. A terra é arenosa se o enxágue das mãos é fácil. A terra é limosa se parecer polvilhenta e as mãos não são difíceis de enxaguar. A terra é argilosa se parecer esponjosa e é muito difícil de enxaguar as mãos.



### 3.2.1.6. Exame de aderência

Objetivo: Observar a quantidade de argila na amostra.

Procedimento prático: Toma-se uma porção de terra úmida que não se adere aos dedos e se corta com uma espátula. A terra é bem argilosa se a espátula penetra facilmente e a terra se adere na espátula. A terra é medianamente argilosa se a espátula penetra sem grande dificuldade e a terra se adere quando retira a espátula. A terra é pouco argilosa se a espátula penetra e se retira com facilidade mesmo quando manchado pela terra.

### 3.2.2. Características físico-mecânicas do solo

De acordo com Barbosa (2003), é importante a análise da composição granulométrica. A plasticidade o limite de liquidez não deve ser excessivo, de preferência menor que 40-45%. No caso, para os tijolos de solo-cimento, o ideal é que o solo tenha de 10% a 20% de argila, 10% a 20% de silte e 40% a 70% de areia.

Além destas características, complementarmente, o Banco Nacional da Habitação (1985) recomenda que o solo deverá apresentar os seguintes limites de Atterberg: “LL (limite de liquidez)  $\leq$  45% e IP (índice de plasticidade)  $\leq$  18%, pois solos com índices de plasticidade e limites de liquidez elevados são mais difíceis estabilizar” (BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO, 1985). Contudo, a plasticidade é necessária para transmitir aos blocos produzidos a coesão suficiente para que possam ser manuseados (ABCP, 1985).

Caso o solo não estiver dentro dessas porcentagens, é feita uma correção granulométrica. É comum misturar areia a solos muito argiloso e com os limites de liquidez e plasticidade altos. Assim, no momento da produção dos blocos, é feito o peneiramento para a obtenção da granulometria ideal.

### 3.2.3. Dosagem do solo com cimento

A fim de se adquirir uma maior estabilização dos componentes construídos com terra, deve-se adicionar estabilizantes químicos. Estabilizar um solo significa a ele misturar produtos que melhorem suas propriedades, inclusive sob a ação da água. Um dos melhores estabilizantes conhecidos é o cimento. Este trabalha reagindo quimicamente não só com a água, formando agentes cimentícios, mas também com as partículas finas do solo.

O cimento é utilizado normalmente em combinação com a compactação do solo, sendo por isso perfeitamente indicado para estruturas em tijolos solo cimento. O cimento atua como agente da união entre as partículas de areia e pedregulhos, preenchendo os espaços vazios destes materiais. É recomendável usar solos com pouco conteúdo de argila (máx. 20%).

Tabela 2 - Tabela para dosagem dos tijolos solo cimento

| CIMENTO (Unid.) | SOLO (Unid.) | ÁGUA (Unid.) | % CIMENTO (Vol.) | SOLO ARENOSO (Teor) |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|---------------------|
| 1               | 10           | 1            | 10               | > 45 %              |
| 1               | 12           | 1,5          | 8                | > 50 %              |
| 1               | 15           | 2            | 6                | > 55 %              |
| 1               | 20           | 2            | 5                | > 60 %              |

Fonte: Taveira (2014)

### 3.2.4. Moagem dos resíduos de vidro

Após o procedimento de limpeza, os resíduos de vidro foram reduzidos em pequenos fragmentos mecanicamente, a fim de se obter partículas menores dos materiais, para que se procedesse com a moagem deles.

Para garantir a compatibilidade da granulometria dos resíduos com a do solo utilizado, foi-se utilizado um moinho planetário. O moinho planetário, mostrado na Figura 7, deve seu nome para o movimento planeta como de seus frascos, em que:

Estas são dispostas sobre um meio de rotação do disco de suporte e um mecanismo de acionamento especial os faz girar em torno do seu próprio eixo. A força centrífuga produzida pelos frascos rotativos em torno de si próprio faz com que os meios de moagem no caso as esferas gerem impacto e atrito entre elas e ao material. As aplicações servem desde a preparação de amostras até a geração de produtos muito finos. (SURYANARAYANA, 2001).



Figura 8 - Moinho planetário

Fonte: Torrey (2020)

A moagem dos fragmentos de vidro foi realizada no Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (LPCM), localizado na Universidade Federal de Itajubá, utilizando o moinho planetário, com frascos cerâmicos.



Figura 9 - Peneiramento dos resíduos de vidro

Fonte: Autoria própria

Após realizado a moagem, foi-se utilizado a peneira ABNT nº 8 (2,38 mm), já que todo o solo utilizado foi passado pela mesma granulometria, e ensacados para posterior utilização.

### 3.2.5. Caracterização física do solo

As caracterizações do solo utilizado nesta pesquisa foram baseadas na características físico-mecânicas, granulometria dos materiais e nos limites de Atterberg (limite de liquidez e plasticidade). Os ensaios das características do solo foram realizados no Laboratório de Geotecnia (LGTEC) da UNIFEI.

A análise dos limites de liquidez e plasticidade são importantes porque estão diretamente relacionados à trabalhabilidade dos materiais e a variação de volume e absorção de água. Foram seguidos todos os procedimentos propostos pelas normas ABNT NBR 6459/16 e NBR 7180/16.

Estes ensaios permitem a análise com que o solo pode ser utilizado, classificando qualitativamente e mensurando as características mecânicas, de permeabilidade e trabalhabilidade do solo, por meio da variação de volume e absorção de água.

Além disto, o ensaio de compactação do solo auxilia no entendimento da relação da resistência do solo, permeabilidade e da absorção de água. A partir deste ensaio é possível obter a relação entre o peso específico seco e a umidade ótima de compactação, por meio do ensaio preconizado na norma ABNT NBR 7182/16.

### 3.3. Fabricação dos tijolos de solo-cimento

O processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento, seguiu-se a norma ABNT NBR 10833 (ABNT, 2012), e conforme Silva (2013), os passos para se realizar a confecção dos mesmos são:

- a. Preparação do solo: peneiramento do solo e quebra de torrões
- b. Preparo da mistura: espalha-se o cimento ao solo preparado misturando bem até a obtenção de uma coloração uniforme. Feito isso, adiciona-se água, aos poucos, sempre misturando até obtenção da umidade desejada.
- c. Moldagem dos tijolos
- d. Cura e armazenamento: Os tijolos são cobertos com lona plástica.

De acordo com estudos elaborados por Neves (2011), o traço para que se atinja os requisitos mínimos que atenda às recomendações da norma ABNT NBR 10833, seria o de 11:1, ou seja, 11 partes de solo para 1 parte de cimento. Conforme análise da imagem, podemos constatar que quanto maior que quanto menor a proporção de solo/cimento, ou seja, menor utilização de solo na fabricação, maior a resistência a compressão e menor a absorção de água.

Entretanto, a fim de garantir melhores resultados e garantir a melhor qualidade dos tijolos confeccionados, escolheu-se um traço o qual considera-se de boa resistência para fabricação dos tijolos, sendo este 7:1, conforme ilustrado na figura 10.

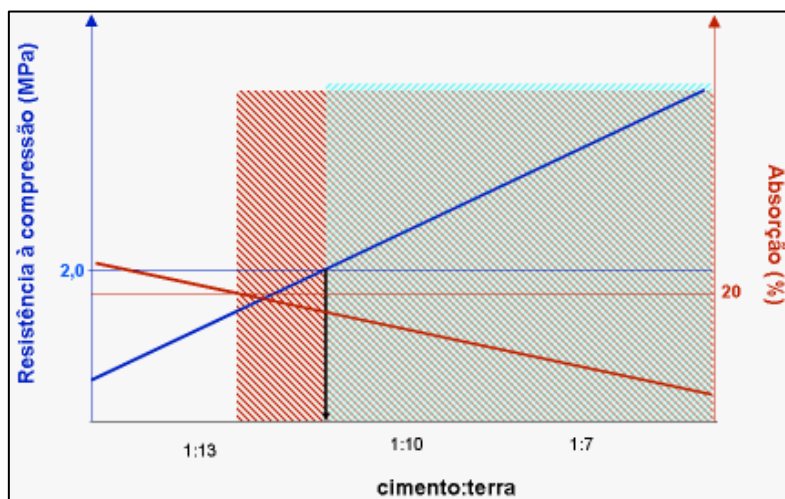


Figura 10 - Exemplo de interpolação de resultados para definir a dosagem dos tijolos solo-cimento

Fonte: Neves (2011)

Para avaliar as propriedades dos tijolos incorporados com os resíduos de vidro, foram moldados tijolos com diferentes proporções de resíduos, descritos conforme tabela a seguir:

Tabela 3 - Teores de solo e resíduo de vidro na fração “solo + resíduo de vidro”

| Traço | Composição da porção solo + resíduos de vidro (em pó) |           |                           |
|-------|---|-----------|---------------------------|
| 1:7   | SC  | Cimento + | 100% solo                 |
|       | SC6R  |           | 94% solo + 6% de resíduo  |
|       | SC8R  |           | 92% solo + 8% de resíduo  |
|       | SC10R   |           | 90% solo + 10% de resíduo |

Fonte: Autoria própria

Durante sete dias esses tijolos foram submetidos a umidificação abundante e coberto com lona para evitar a perda de umidade e favorecer a cura do cimento. Após esse período foram retirados aleatoriamente do lote fabricado 10 tijolos tradicionais e 10 com cada tipo de adição de resíduo, para submetê-los aos ensaios de resistência a compressão e absorção de água.

Passados os períodos de 7, 14 e 28 dias foram retirados da mesma forma, sob a mesma quantidade de tijolos, para realização dos mesmos ensaios. Isso foi feito para se avaliar a diferença da resistência dos tijolos ao longo do tempo e o incremento nessa resistência.

### 3.4. Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão e absorção de água dos tijolos, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LABMAT), localizado na UNIFEI.

A verificação de resistência à compressão foi baseada na norma para tijolos de solo- cimento para alvenaria não estrutural – ABNT NBR 8492/12. Foram rompidos sete tijolos, conforme recomendado pela norma, para cada traço no sétimo, décimo quarto e vigésimo oitavo dia após sua fabricação.

Os setes corpos-de-prova foram preparados cortando-se o tijolo, ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão, em seguida, foi superposto, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland, pré-contraída, onde foi deixada em repouso de aproximadamente de 30 min e aguardado aproximadamente 12 horas antes de proceder com a preparação

Após este tempo, foi coberta a superfície do tijolo com uma camada de pasta de cimento. Logo que a pasta começou a endurecer, retirou-se o corpo-de-prova da bancada e com o auxílio de jornal molhado sobre a superfície, foi-se prensado com a finalidade de dar um acabamento, aplainando na superfície e retirou-se o excesso da pasta, o que se repetiu para o outro lado, após o período de descanso de 12 horas.

Finalmente, após o descanso de secagem da pasta, os corpos de prova foram imersos em água por um período de 6 horas, a fim de se preparar a amostra para o ensaio.



Figura 11 - Tijolos cortados ao meio, superposto com a pasta de cimento e capeados

Fonte: Autoria própria

### 3.5. Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado para analisar o comportamento do tijolo perante exposição à umidade durante um determinado período. Baseou-se também na ABNT NBR 8492/12, a qual consiste em imergir os tijolos em um tanque com água durante um período de 1 dia.

O ensaio se propõe a realizar a secagem dos tijolos em uma estufa, a fim de se obter uma estrutura seca, para após a secagem, colocar os tijolos em um tanque de água por um período de 24 horas.

Após o processo de imersão, os blocos são secados com um pano umedecido, para se realizar a pesagem. Anotado os devidos valores de massas, é realizado o cálculo com o intuito de descobrir o quanto de água o tijolo absorveu.



## 4. Resultados

### 4.1. Análises preliminares do solo

A fim de se garantir uma boa amostra para realizar a confecção dos tijolos, realizou-se uma análise prévia do solo, as quais os resultados são apresentados a seguir:

Tabela 4 - Resultados das análises preliminares

| <b>Exame</b>  | <b>Resultado</b>  | <b>Observações</b>  |
|---------------|---|---|
| Visual        | Marrom alaranjado   | Grãos finos com pequenas porções amontoadas                   |
| Odor          | Cheiro perceptível, entretanto, moderado                                      | -   |
| Mordida       | Muita abrasividade, pouca sensação lisa e farinhosa                           | Solo arenoso com uma baixa porcentagem argilosa               |
| Tátil         | Sensação rugosa perceptível, pouca presença de torrões                        | Mais arenoso do que limoso                                    |
| Água corrente | Pouco fácil de sair das mãos  | Porções iniciais saíram com facilidade                        |
| Aderência     | Inicialmente penetrou com dificuldade, após a inserção, entrou com facilidade | Solo pouco argiloso; solo grudado na espátula após a inserção |

Fonte: Autoria Própria

## 4.2. Análises laboratoriais do solo

O material foi preparado para os ensaios seguindo as orientações da ABNT NBR 6457 (ABNT, 2016). Na tabela 5 são apresentados os resultados da caracterização do solo.

Tabela 5 - Características do solo

| Ensaio  | Norma              | Resultado |
|---|--------------------|-----------|
| Densidade real (g/cm <sup>3</sup> )                 | ME 093 (DNER,1994) | 2,55      |
| Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) | NBR 7182, 2016     | 1,82      |
| Umidade ótima (%)                                   | NBR 7182, 2016     | 13        |
| Limite de Liquidez (%)                              | NBR 6459, 2016     | 27        |
| Limite de Plasticidade (%)                          | NBR 7180, 2016     | 17        |
| Índice de plasticidade (%)                          | NBR 7180, 2016     | 10        |

Fonte: Autoria Própria

A granulometria foi realizada conforme a ABNT NBR 7181 (ABNT, 2016). A curva granulométrica é apresentada na figura 12.

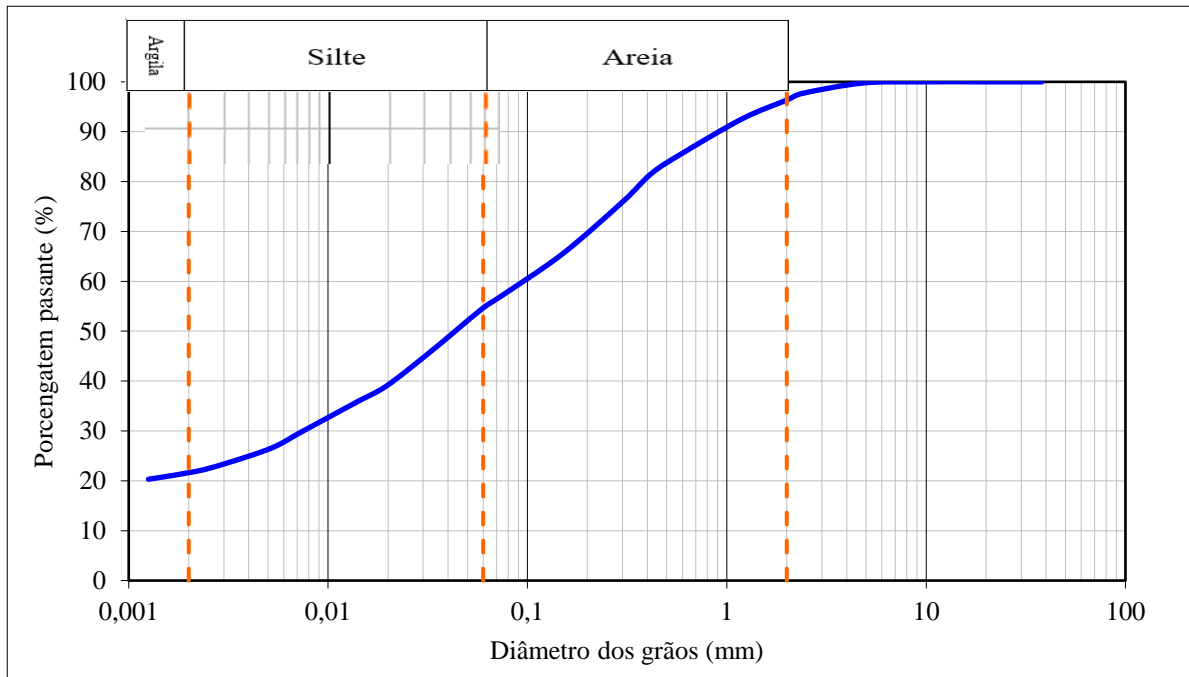


Figura 12 - Curva granulométrica

Fonte: Autoria Própria

A curva granulométrica apresenta a composição do solo nas seguintes proporções: 42% de areia, 22% de argila e 33% de silte. O solo apresenta uma aproximação razoável das proporções recomendadas e se caracteriza como solo adequado para confecção de tijolos de adobe. Martinez (1979) define a composição ideal para tijolos solo-cimento um material com 20% de argila e 40% a 55% de areia.

### 4.3. Resistência à compressão

Conforme descrito no item 3.4 desta pesquisa, os tijolos tradicionais, ou seja, sem a adição dos resíduos e os com a adição, foram ensaiados conforme as orientações da ABNT NBR 8492 (ABNT, 2013) e os resultados obtidos estão apresentados nas figuras 13 a 21, seguindo a ordem de numeração dos tijolos ensaiados.

#### 4.3.1. Resistência à compressão nos tijolos com idade de 7 dias

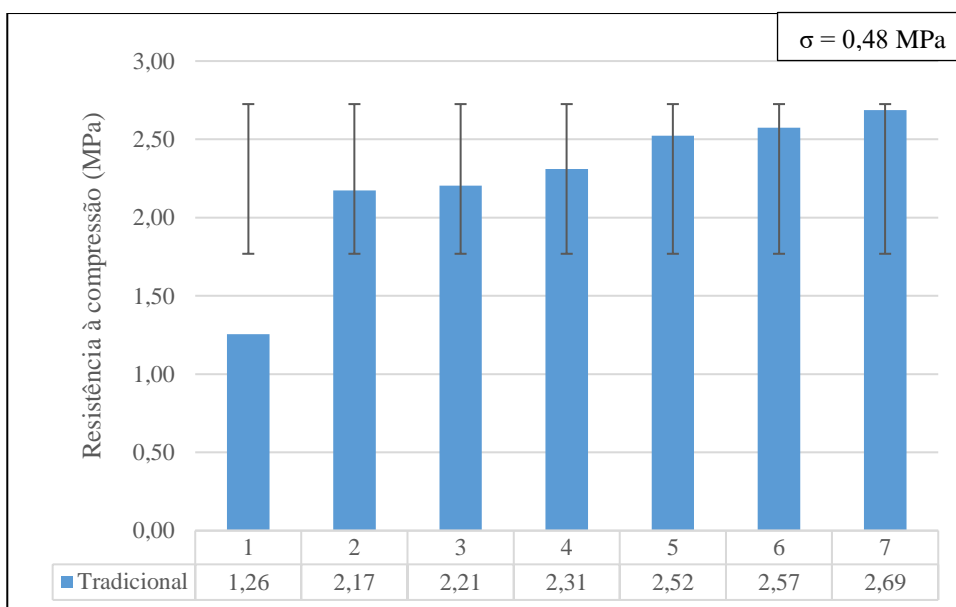


Figura 13 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova sem a adição dos resíduos após 7 dias

Fonte: Autoria própria

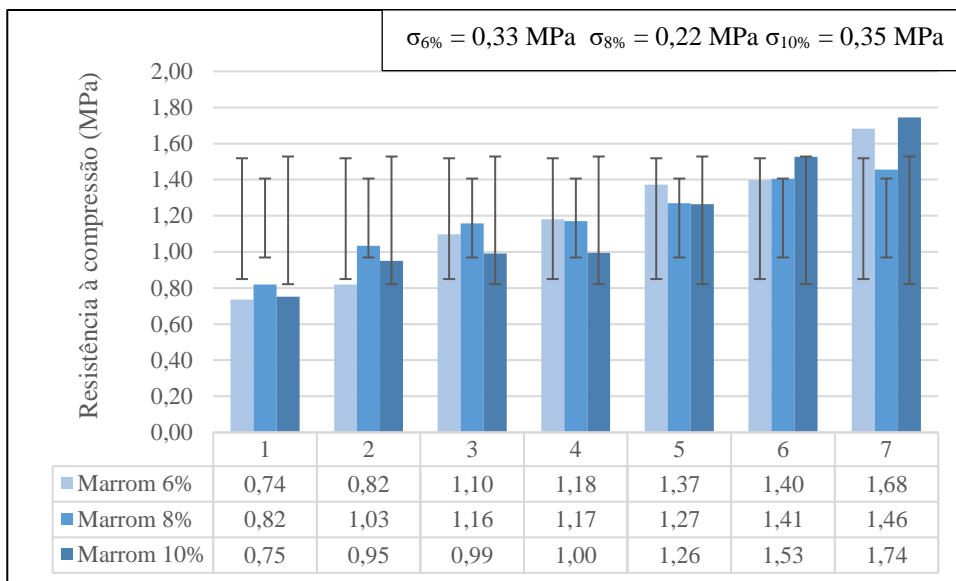


Figura 14 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor marrom após 7 dias

Fonte: Autoria própria

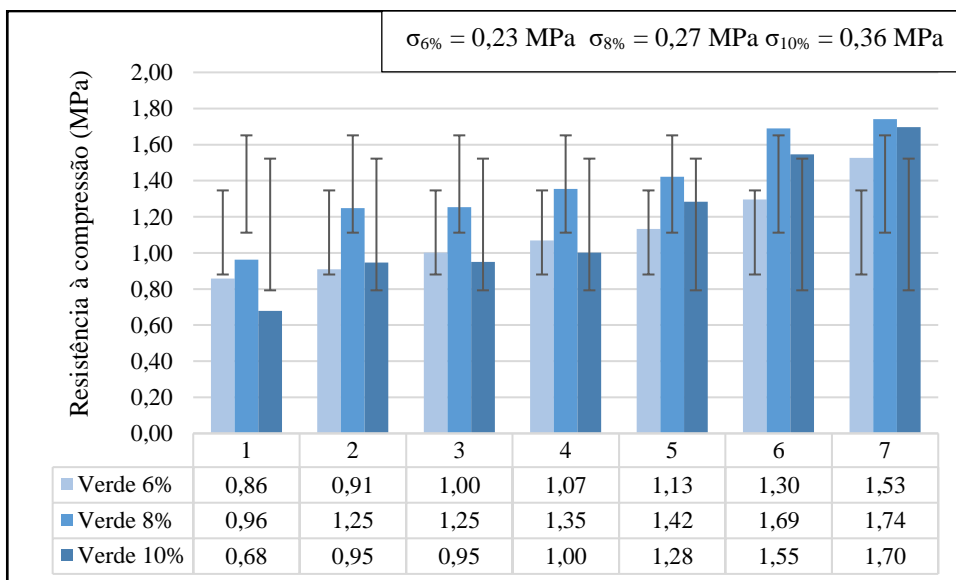


Figura 15 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 7 dias

Fonte: Autoria própria

Conforme demonstrado nos resultados dos ensaios realizados durante a primeira semana, pôde-se constatar que os tijolos sem a adição de resíduos já apresentavam valores satisfatórios para atender os requisitos mínimos da resistência à compressão da ABNT NBR 8491 (ABNT, 2013), a qual recomenda uma resistência média mínima de 2,0 MPa após os sete primeiros dias de confecção dos tijolos.

Entretanto, quando se observa os valores dos resultados dos tijolos com a adição dos resíduos na primeira semana, é possível observar que os resultados apresentados não acompanharam o desempenho dos tijolos sem os resíduos.

Apesar disso, resolveu-se prosseguir com a aceitação dos lotes, já que os tijolos sem adição dos resíduos atenderam os requisitos da norma e prosseguiu-se aguardando a chegada da nova data de rompimento dos tijolos, com o intuito de averiguar se os tijolos com a adição dos resíduos apresentavam alguma melhora em seus resultados perante ao ensaio da resistência à compressão.

#### 4.3.2. Resistência à compressão nos tijolos com idade de 14 dias

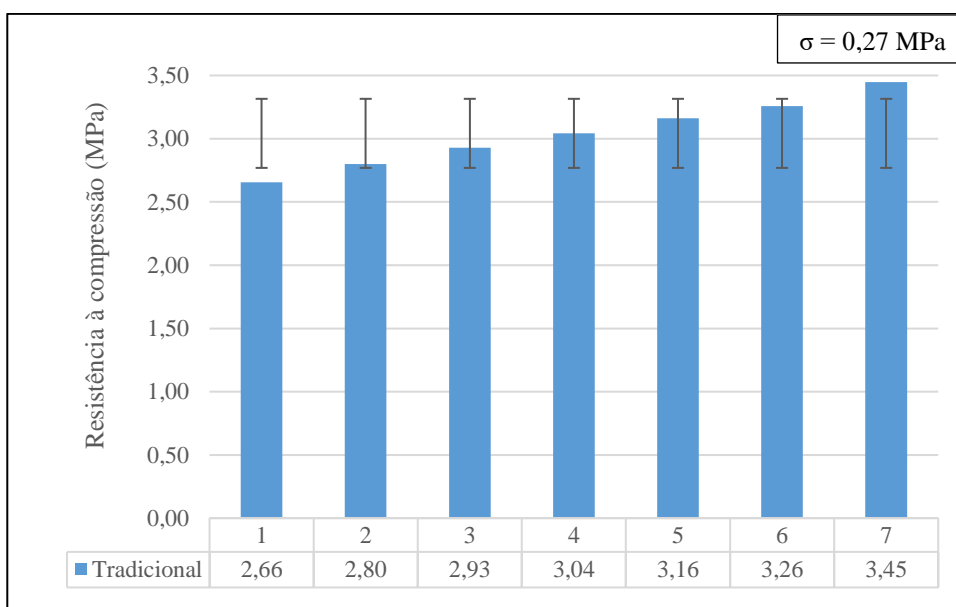


Figura 16 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova sem a adição dos resíduos após 14 dias

Fonte: Autoria própria

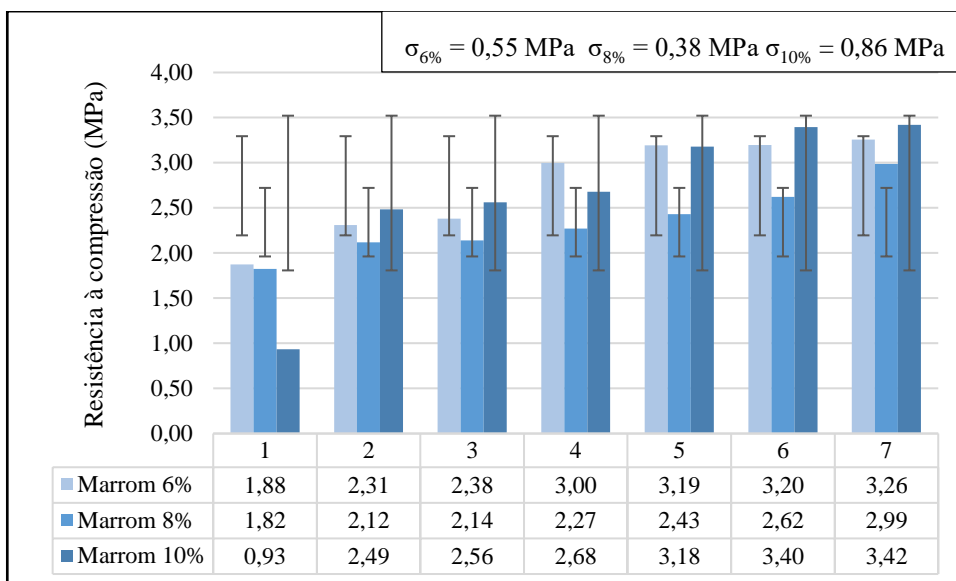


Figura 17 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor marrom após 14 dias

Fonte: Autoria própria

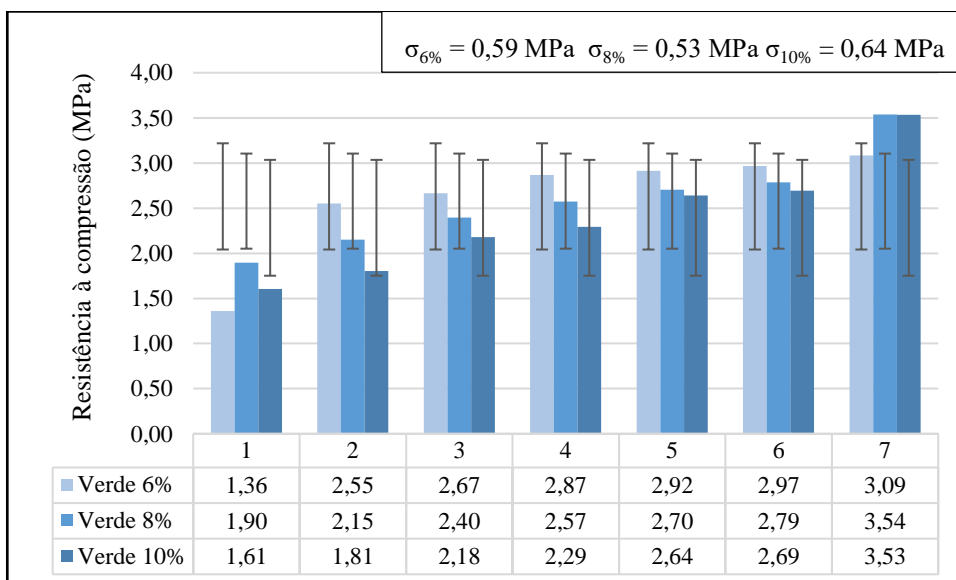


Figura 18 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 14 dias

Fonte: Autoria própria

Conforme os dias se passaram, quase todos os tijolos, sem e com a adição dos resíduos, apresentaram um avanço em relação a resistência à compressão. Analisando os resultados apresentados nas figuras 16, 17 e 18, pode-se constatar que a maioria dos tijolos com a idade de 14 dias, já poderiam ser utilizados para execução de alvenaria atendendo os requisitos estipulados pelas normas no tocante a resistência à compressão.

A média dos tijolos sem a adição dos resíduos ficou em 3,04 MPa (30,4 kgf/cm<sup>2</sup>), superando o requisito mínimo médio da norma. Já os com a adição dos resíduos na tonalidade marrom nas proporções de 6%, 8% e 10% apresentaram médias respectivamente de 2,74 MPa (27,4 kgf/cm<sup>2</sup>), 2,34 MPa (23,4 kgf/cm<sup>2</sup>) e 2,66 MPa (26,6 kgf/cm<sup>2</sup>). E os com a adição dos resíduos na cor verde nas proporções de 6%, 8% e 10% apresentaram médias respectivamente de 2,63 MPa (26,3 kgf/cm<sup>2</sup>), 2,58 MPa (25,8 kgf/cm<sup>2</sup>) e 2,39 MPa (23,9 kgf/cm<sup>2</sup>).

Diante disto, pode-se constatar que todas as médias superaram os valores mínimos sugeridos na norma, após o décimo quarto dia de confecção. Além disto, vale ressaltar como demonstrado nas figuras 17 e 18, que alguns dos tijolos com adição de resíduos, apresentaram valores individuais abaixo do que a ABNT NBR 8491 (ABNT, 2013) preconiza em seu item 5.2: “A amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 8492 não pode apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor que 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>), nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm<sup>2</sup>), com idade mínima de sete dias.”.

Entretanto, como no meio de cada lote, apenas uma amostra, menos de um terço da metade, não atendeu a recomendação da norma, decidiu-se pela aceitação do lote, respaldado pelo o que complementa a norma no seu item 7.2.1, item “b”: “O lote deve ser rejeitado se mais da metade dos resultados da amostra não satisfizer as exigências individuais quanto à resistência à compressão e à absorção de água.”.

### 4.3.3. Resistência à compressão nos tijolos com idade de 28 dias

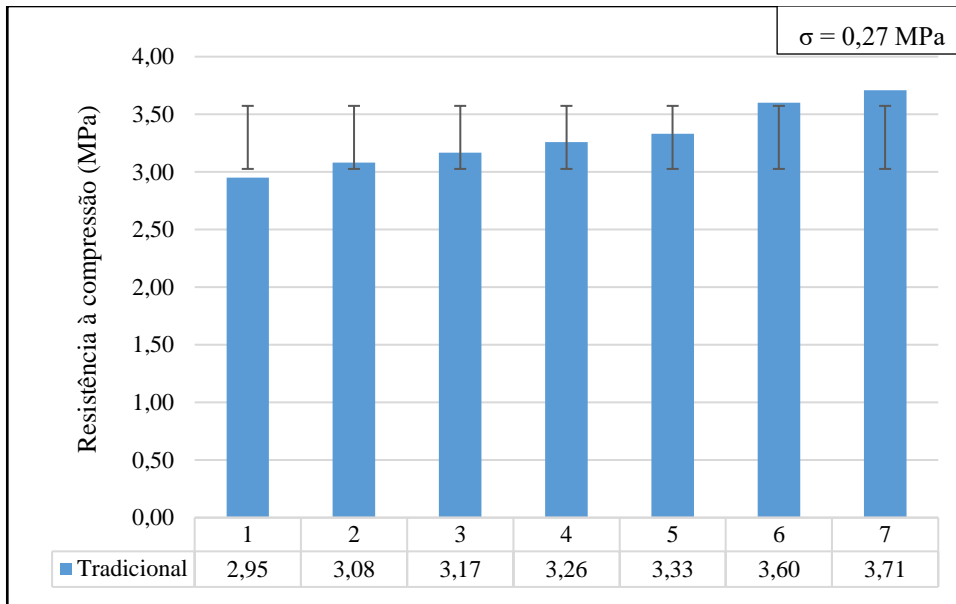


Figura 19 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova sem a adição dos resíduos após 28 dias

Fonte: Autoria própria

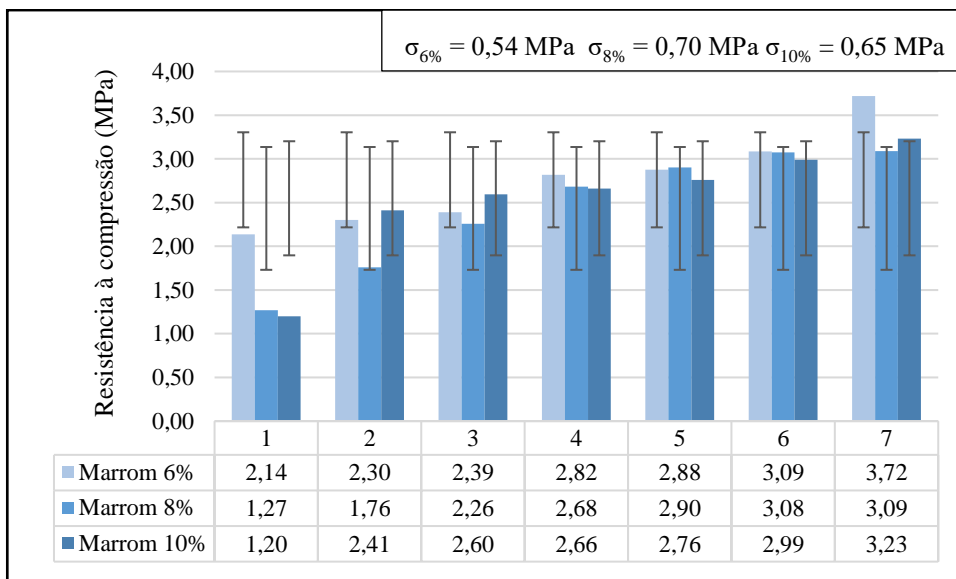


Figura 20 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor marrom após 28 dias

Fonte: Autoria própria



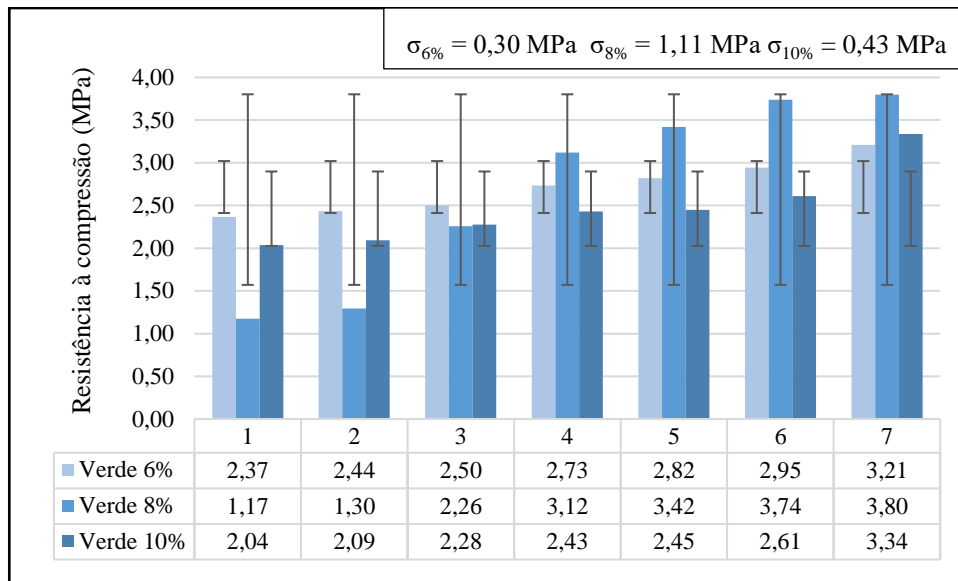


Figura 21 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias

Fonte: Autoria própria

Optou-se por prosseguir com os ensaios até a idade dos 28 dias, para ver como os tijolos se comportariam ao longo do tempo. Diante das figuras 19 a 21, é possível constatar que mesmo se passando os quatorze dias, os tijolos tendem a adquirirem resistência à compressão e melhorarem suas características neste sentido.

A média dos tijolos sem os resíduos ficou em 3,30 MPa (33,0 kgf/cm<sup>2</sup>), já os tijolos com a adição dos resíduos na cor marrom nas proporções de 6%, 8% e 10% ficaram, respectivamente, em 2,76 MPa (27,6 kgf/cm<sup>2</sup>), 2,43 MPa (24,3 kgf/cm<sup>2</sup>) e 2,55 MPa (25,5 kgf/cm<sup>2</sup>), e os tijolos com a adição na cor verde, nas mesmas proporções, ficaram, respectivamente em 2,72 MPa (27,2 kgf/cm<sup>2</sup>), 2,69 MPa (26,9 kgf/cm<sup>2</sup>) e 2,46 MPa (24,6 kgf/cm<sup>2</sup>).

Assim sendo, os resultados apresentados demonstram que os tijolos sem e com a adição dos resíduos atendem as recomendações das normas, e, portanto, podem ser utilizados nas obras da construção civil no tocante à resistência a compressão.

#### 4.4. Ensaio de absorção de água

A determinação da absorção de água dos tijolos foi realizada seguindo os procedimentos normatizados descritos no item 5.3 da ABNT NBR 8492 (2013). Na realização destes ensaios foram utilizados 3 tijolos de cada traço, com idades de 7, 14 e 28 dias.

##### 4.4.1. Absorção de água nos tijolos com idade de 7 dias

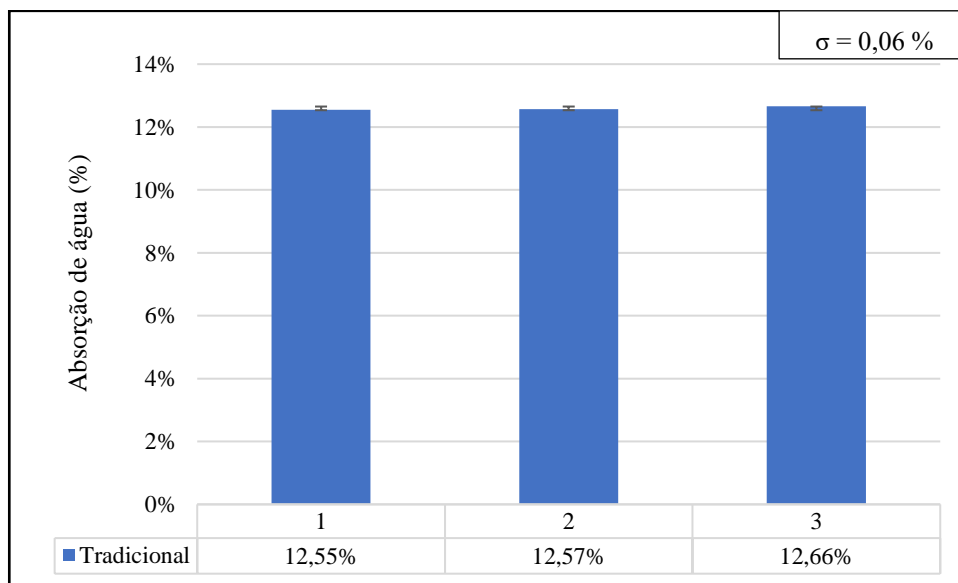


Figura 22 – Resultados do ensaio de absorção de água para os tijolos sem adição dos resíduos após 7 dias

Fonte: Autoria própria

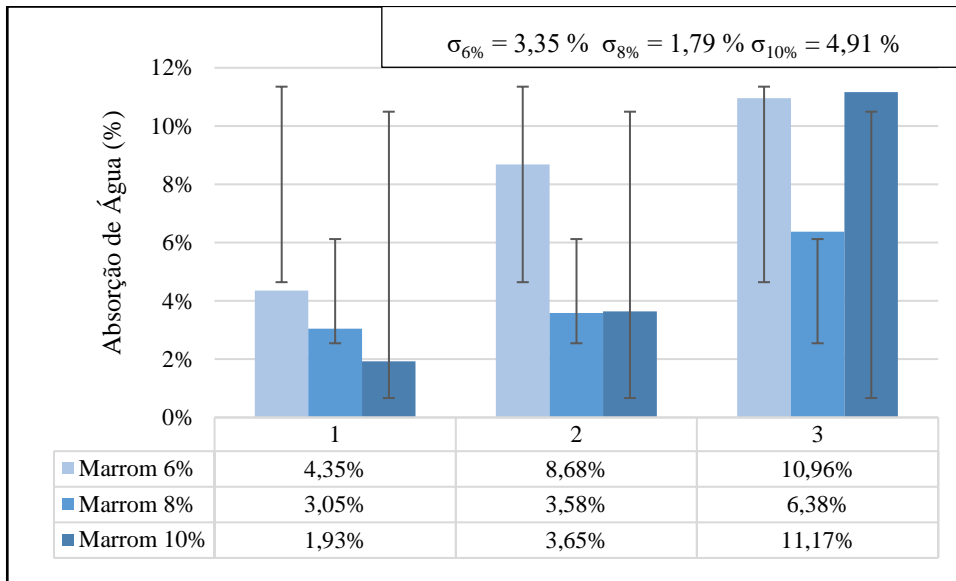


Figura 23 – Resultados do ensaio de absorção de água para os tijolos com adição dos resíduos na cor marrom após 7 dias

Fonte: Autoria própria

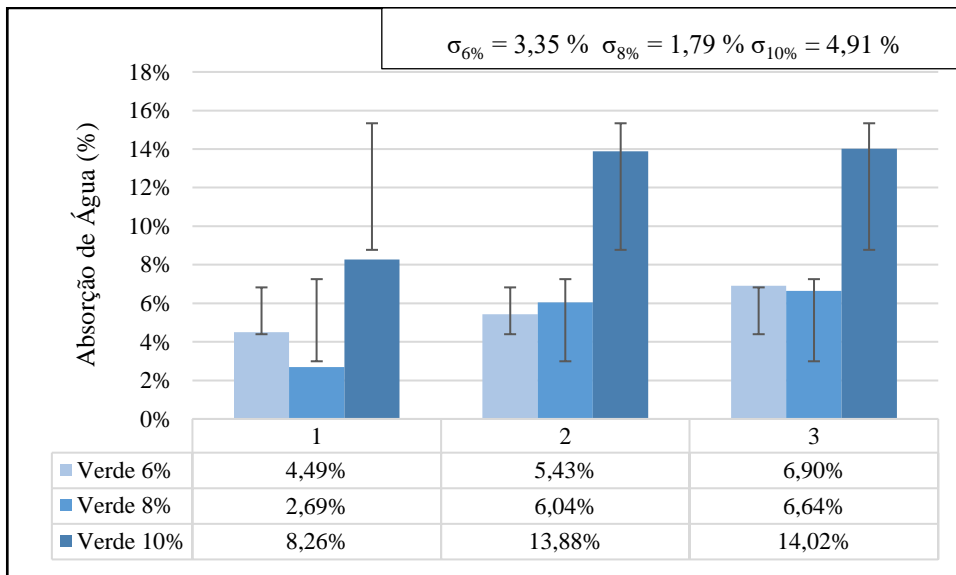


Figura 24 – Resultados do ensaio de absorção de água para os tijolos com adição dos resíduos na cor verde após 7 dias

Fonte: Autoria própria

Diante dos resultados dos ensaios de absorção de água nos tijolos pode-se concluir que a média para os tijolos sem a adição dos resíduos, na primeira semana, ficou em 12,59%. Já para os tijolos com a adição dos resíduos na cor marrom nas proporções 6%, 8% e 10% ficaram, respectivamente, em 8,00%, 4,33% e 5,58%. E para os com adição dos resíduos na cor verde, nas mesmas proporções, ficaram respectivamente, em 5,61%, 5,12% e 12,05%.

Os resultados apresentados nas figuras de 22 à 24 demonstram que os tijolos com idade de 7 dias atenderam os quesitos mínimos da ABNT NBR 8491 (2013), que retrata em seu item 5.3 que “A amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 8492 não pode apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20% nem valores individuais superiores a 22%, com idade mínima de sete dias.”.

#### 4.4.2. Absorção de água nos tijolos com idade de 14 dias

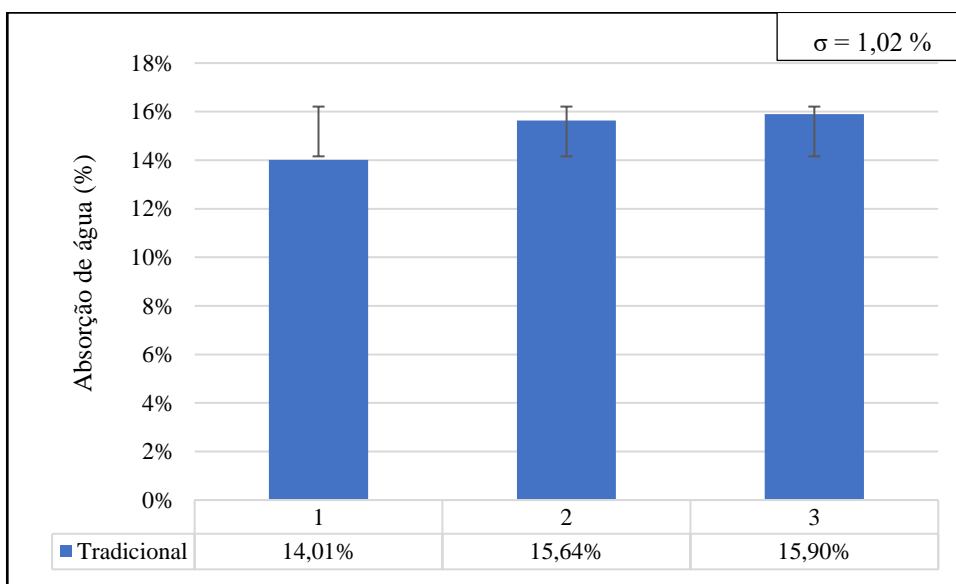


Figura 25 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova sem adição dos resíduos após 14 dias

Fonte: Autoria própria

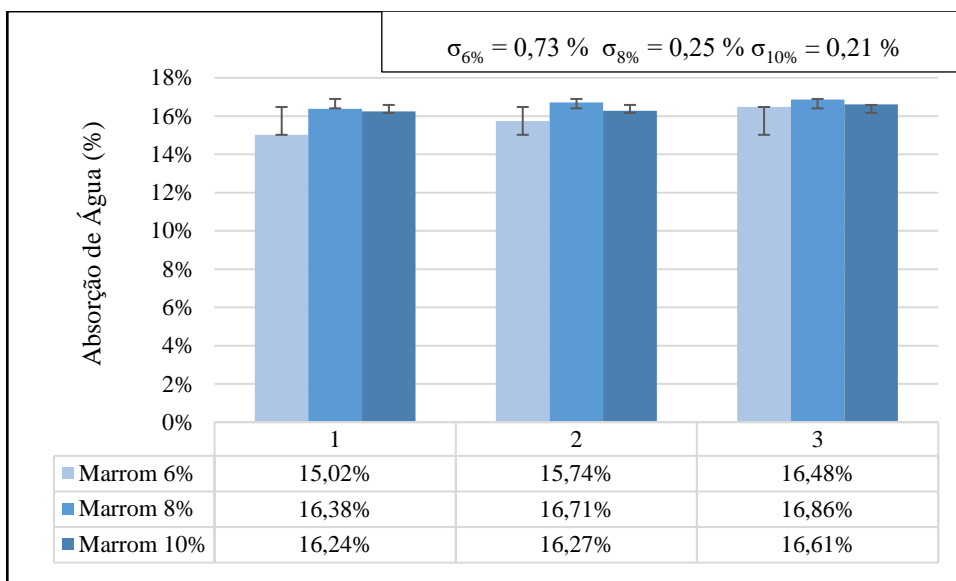


Figura 26 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor marrom após 14 dias

Fonte: Autorial própria

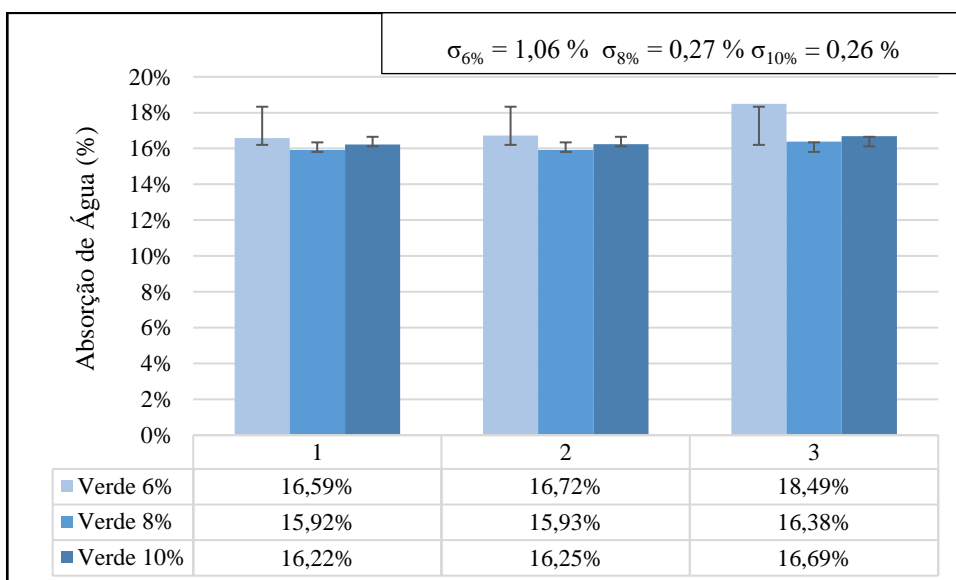


Figura 27 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 14 dias

Fonte: Autorial própria

Analisando os resultados dos ensaios realizado aos quatorze dias nos tijolos pode-se concluir que a média para os tijolos sem a adição dos resíduos, ficou em 15,18%. Os tijolos com a adição dos resíduos na tonalidade marrom nas proporções 6%, 8% e 10% ficaram, respectivamente, em 15,75%, 16,65% e 16,37%. E para os com adição dos resíduos na cor verde, nas mesmas proporções, ficaram respectivamente, em 17,27%, 16,08% e 16,39%.

Diante dos dados coletados, conclui-se que todos os tijolos, com e sem adição de resíduos, após o período de quatorze dias, atenderam os valores recomendados pela norma.

#### 4.4.3. Absorção de água nos tijolos com idade de 28 dias

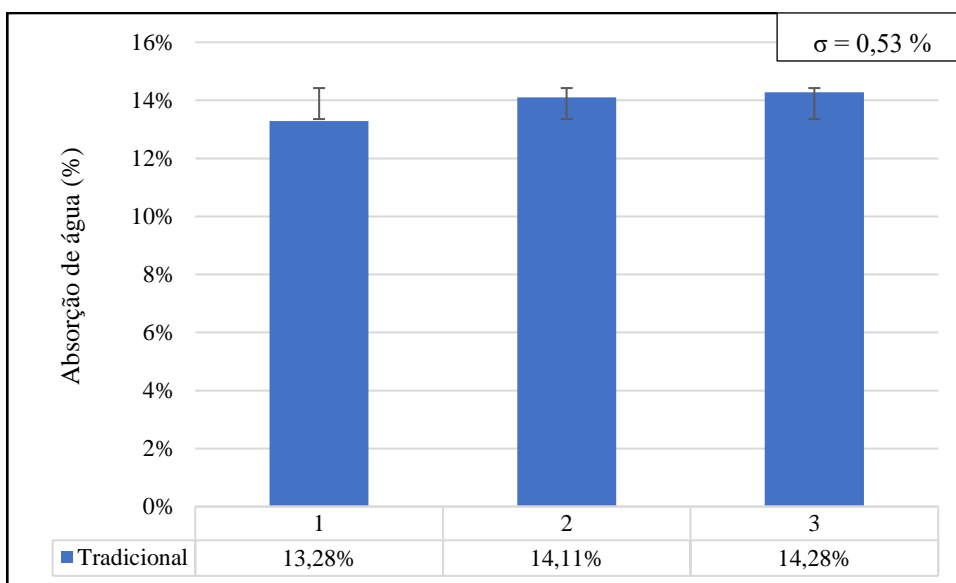


Figura 28 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova sem adição dos resíduos após 28 dias

Fonte: Autoria própria

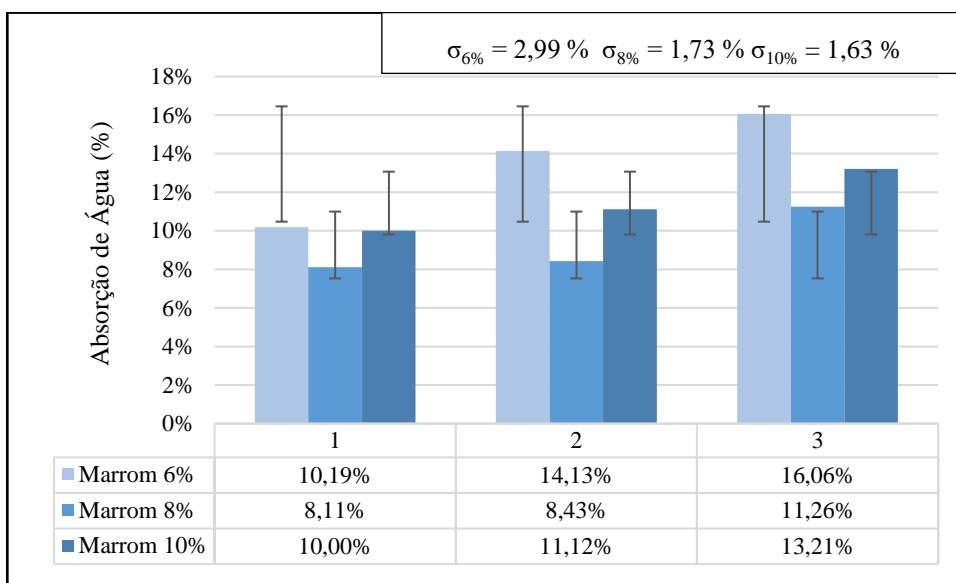


Figura 29 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor marrom após 28 dias

Fonte: Autoria própria

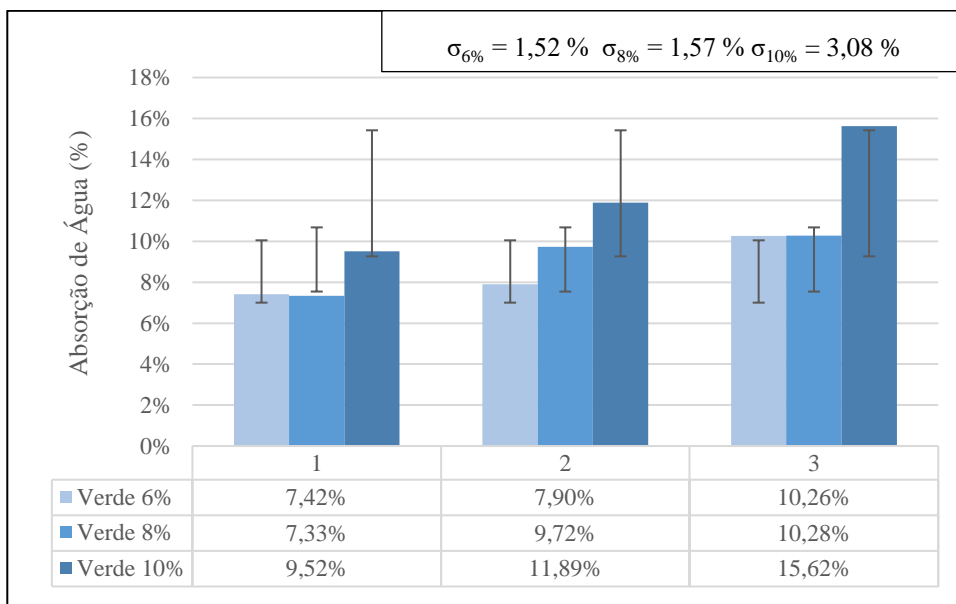


Figura 30 – Resultados do ensaio da resistência à compressão para os corpos de prova com adição dos resíduos na cor verde após 28 dias

Fonte: Autoria própria

Concluindo-se os ensaios realizados, no vigésimo oitavo dia, pode-se atestar que a média para os tijolos sem a adição dos resíduos, resultou em 13,89%. Os tijolos com a adição dos resíduos na tonalidade marrom nas proporções 6%, 8% e 10% ficaram, respectivamente, em 13,46%, 9,26% e 11,44%. E para os com adição dos resíduos na cor verde, nas mesmas proporções, resultou-se respectivamente, em 8,52%, 9,11% e 12,34%.

Após a conclusão dos ensaios e realização das devidas conferências dos dados coletados, concluiu-se que todos os tijolos, com e sem adição de resíduos, após o vigésimo oitavo dia, atenderam os valores recomendados pela norma.

## 5. Conclusões

O estudo pôde demonstrar que o solo utilizado na fabricação dos tijolos solo-cimento, é considerado um dos melhores para esta finalidade, visto que contém aproximadamente 42% de areia, 22% de argila e 33% de silte, permitindo sua utilização direta para a confecção dos tijolos, sem a necessidade de acrescentar aditivos para melhoria da qualidade da mistura.

Diante dos resultados obtidos, pode-se constatar que os tijolos com e sem a adição dos resíduos atenderam as recomendações das normas nos quesitos referentes à resistência a compressão e absorção de água.

Na primeira semana, apenas os tijolos sem adição dos resíduos atenderam aos valores dos ensaios recomendados na norma. Entretanto, vale salientar que os com a adição dos resíduos nas proporções de 6%, 8% e 10%, em ambas as tonalidades, apesar de cumprir com o ensaio de absorção de água, não atenderam os valores mínimos no ensaio de resistência a compressão. Mesmo diante disso, decidiu-se optar pela aceitação do lote e prosseguir com os ensaios até a próxima data.



Após os quatorze dias de confecção dos tijolos, com a realização dos ensaios, pode-se constatar que 94% dos tijolos atenderam aos quesitos recomendados pela norma. Apesar de alguns tijolos não conseguirem atingir o valor mínimo no teste de resistência a compressão, por representarem uma pequena parcela da amostra, decidiu-se optar pela aceitação do lote. Sendo assim, respaldado pela norma, os tijolos com a idade de quatorze dias se qualificaram para utilização em termos construtivos.

Mesmo diante do sucesso dos dados obtidos ao fim dos ensaios realizados no décimo quarto dia, e atendendo os quesitos proposto em norma, optou-se por prosseguir por mais quatorze dias, a fim de se garantir a uma maior confiabilidade e estabilidade dos dados.

Diante da realização dos ensaios no vigésimo oitavo dia, pode-se concluir que todos os tijolos atenderam aos requisitos propostos em normas.

Além disto, apesar da inserção dos resíduos reduzir a qualidade do tijolo no tocante a resistência a compressão, os tornaram menos suscetíveis a absorção de água, provando-se, que a adição dos resíduos de vidro para a composição da mistura de solo-cimento é benéfica, no sentido da economia de material a ser utilizado na confecção dos tijolos, além do reaproveitamento do material que seria descartado.

## 6. Sugestões para trabalhos futuros

A seguir serão apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar a incorporação de resíduos de vidro em diferentes proporções na mistura solo-cimento para confecção dos tijolos;
- Realizar análise microscópica da mistura dos agregados nos tijolos solo-cimento com e sem a inserção dos resíduos, a fim de avaliar a interação dos resíduos de vidro com a mistura solo-cimento;
- Realizar um estudo econômico sobre a viabilidade da produção dos tijolos com resíduos de vidro;
- Reduzir o consumo de cimento nas misturas solo-cimento;
- Construir protótipos em alvenaria utilizando os tijolos solo-cimento incorporados com os resíduos de vidro, a fim de verificar as condições de construção e o estudo sobre o conforto térmico e acústico;

## 7. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6457: **Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização**. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6459 – **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7180 – **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7181 – **Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR- 7182: **Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR 8491 – **Tijolo maciço de solo-cimento**. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR 8492 – **Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e absorção d'água**. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR 10833 – **Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ.

BARBOSA, NORMANDO PERAZZO; MATTONE, ROBERTO; MESBAH, A. **Blocos de concreto de terra: uma opção interessante para a sustentabilidade da construção**. 44º Congresso Brasileiro Do Concreto. Belo Horizonte–Minas Gerais. **Anais...** João Pessoa: 2002

BARBOSA, Normando Perazzo. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: FORMOSO, Carlos Torres; INO, Akemi (Comp.). **Inovação, Gestão da Qualidade &**

**Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional.** Porto Alegre: Isbn, 2003. p. 12-39. (Coletânea Habitare - vol 2).

BATISTA, C. F. N. **Ensaio Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis.** Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1976.

BERALDO, A.L. PEREIRA, M.A.dos R. **Bambu de corpo e alma.** Canal 6. Bauru, SP, 233 p. 2008.

BLÜCHER, E. **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários – volume I.** São Paulo, 1951.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é - o que não é.** Petrópolis, RJ: Vozes, 2017.

CARVALHO, R. M. **Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados.** Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. Aveiro, Portugal, 2012.

CSILLAG, D. **Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos.** São Paulo, 2007, p.117.

CYTRYN, S. **Soil construction: its principles and application for housing.** State of Israel – Ministry of Labor – House Division. The Weizmann Science Press of Israel. Jerusalem. 1957

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS - DNER-ME 093/94: **Solos – Determinação da Densidade real – Método de Ensaio.** DNER, 1994.

FERRAZ, R. L.; BELICANTA, A.; GUTIERREZ, N. H. M. **Estudo comparativo de alguns métodos de dosagens de misturas solo-cimento.** Editora EDUEM, UEM, Maringá, PR. 2000.

FERREIRA, R. C.; FALEIRO, H. T; FREIRE, W. J. **Desempenho físico-mecânico de solo argiloso estabilizado com cal e silicato de sódio visando aplicação em construção rural.** Campinas/SP: Revista de Pesquisa Agropecuária Tropical, 35 (3), 2005.

FERREIRA, S. R. SILVA, A. C. **Estudo das propriedades mecânicas de adobe com adição de fibras de vegetais de coco verde.** In: Encontro nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção. Feira de Santana: ENARC. 2009.

FREIRE, W. J. **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

GIL, A. C.. **Como elaborar Projetos de Pesquisa.** 4<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas. 2002. 175p.

HEISE, Andre Falleiros. **Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solocimento em taipa de pilão.** 2004. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, 2004.

HERNANDES, Ricardo; VILAR, Orêncio Monje. **Utilização de resíduo de construção e demolição nas obras de ampliação e rebaixamento da calha do rio Tietê.** Anais.. São Carlos: EESC-USP/ABMS, 2004.

HERNANDEZ, R. *et al.* **Cartilha de pruebas de campo para seleccion de tierras en la fabricación de adobes.** México: Conescal, 1983.

LARSSON, N. **An overview of Green Building Rating System and Labeling Systems.** In: **I Conferência Lation Americana de Construcción Sostenible claSC'04**, Entac 04. São Paulo - Brasil: [s.n], 2004.

JOURDA, Françoise-hélène. **Pequeno manual do projeto sustentável.** São Paulo: Itinerário Editorial Ltda., 2013. 96 p.

LENGEN, J. VAN. **Manual do arquiteto descalço.** [s.l: s.n.].

MACHADO, G. (2014). **Portal Resíduos Sólidos - Reciclagem de Resíduos Sólidos da Construção Civil.** Disponível em: <http://www.portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-residuos-solidos-da-construcaocivil/>

MARTINEZ, E. A. (Coord.). **Manual para la construccion das viviendas con adobe.** 1979. Mostafa, M. & Uddin, N. (2016). Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. Case Studies in Construction Materials, 5, 53-63. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509516300420>

- MINKE, Gernot. **Manual de Cosntruccion en tierra**. Montevideo: Editora Nordan-Comunidad, 2001.
- MILANEZ, Á. “**Casa de Terra - As técnicas de Estabilização do Solo a Serviço do Homem do Campo**”. Serviço Especial de Saúde Pública/ Ministério da Saúde. Rio de Janeiro, 1958.
- MILANI, A. P. S. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica**. Tese de Doutorado. Campinas/SP: UNICAMP, 2008.
- MOTTA, A. L. T. S.; MACHADO, J. M.; SCOVINO, P. F. **O resgate do adobe e sua adequação a necessidade de construções contemporâneas**. In: 2º Congresso Nacional da Construção, 2004, Cidade do Porto. CONSTRUÇÃO 2004, 2004.
- NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em <<http://www.redproterra.org>>. Acessado em 12/04/2020.
- OLIVEIRA, L.B. **Arquitetura e Sustentabilidade: perspectivas, dificuldades e propostas. Dissertação de Mestrado**. Brasília: UnB, 2003.
- OLIVEIRA, M. M. **Como Fazer Projetos**. [s.l.] Elsevier Brasil, 2013.
- PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento**. aedificandi, p. 17, 2005.
- RAMOS, L. M.; GÁMEZ, D. R.; COSSÍO, F. V. **Arquitectura y Construcción com Tierra**. Tradición e Innovación. Boceguillas: Maireia, 2002.
- ROCHA, M. P. da. **Proposta de indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos de construção e demolição**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia, 106p., 2012.
- SANTOS, M. N. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica em Matrizes de Terra**. PUC – Relatório de iniciação científica, Rio de Janeiro, 2012.
- SEBRAE. **Como montar uma fábrica de tijolos ecológicos**. [s.l: s.n.].

SEGANTINI, A. A. S. (2000). **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP**, Tese de Doutorado, Campinas, SP, FEAGRI, UNICAMP, 176p.

SELIH, J. **Environmental management systems and constrution SME: a case study for Slovenia. Civil Engineering and Management**, v.13, n.3, September 2007, p.217-226p.

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

SURYANARAYANA, Challapalli 2001. **Mechanical Alloying and Milling**. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642599000109>>. Acesso em: 12 mai. 2020

TAVEIRA, Eduardo Salmar Nogueira e (Org.). **Produção de tijolos de solo-cimento**. Piracicaba: Núcleo de Estudos e Programas em Educação Popular, 2014. 68 p.

TERZAGHI, K.; PECK, R.B. **Mecânica dos solos na prática da engenharia**. Rio de Janeiro, Sedegra, 1961.

TORGAL, F. Pacheco; EIRES, Rute M. G.; JALALI, Said. **Construção em terra**. Minho: Tecminho, 2009. 187 p.

TORREY. **Torrey Hills Mixing Equipament**. Disponível em: <<http://www.threerollmill.com/planetaryballmills.html>>. Acesso em: 19 abr. 2020.

VARGAS, Milton (org.). **História da Técnica e da Tecnologia no Brasil**. São Paulo, Editora da Universidade Estadual Paulista, Centro de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994.