



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
HANDELLON KLEYTON DE JESUS SANTOS

PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO CIMENTO COM CAULIM

ESTÂNCIA
2023

HANDELLON KLEYTON DE JESUS SANTOS

PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO CIMENTO COM CAULIM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Sergipe campus Estância, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira

ESTÂNCIA

2023

Santos, Handellon Kleyton de Jesus.
S237p Produção de tijolos de solo cimento com caulim. / Handellon Kleyton de
Jesus Santos. - Estância, 2023.
76 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira.

1.Tijolo. 2. Solo cimento. 3. Coloração. I. Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Oliveira, Herbet Alves de. III.
Título.

CDU: 624:666.71

HANDELON KLEYTON DE JESUS SANTOS

PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO CIMENTO COM CAULIM

Trabalho de conclusão de curso (TCC II) apresentado ao Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância, como pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharel em engenharia civil.

Aprovado em: 18 de janeiro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Herbet Alves de Oliveira

Prof. Herbet Alves de Oliveira, Dr.
INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE

Ana Melia Mota dos Santos

Prof. Ana Melia Mota.
INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE

Heni Mirna Cruz Santos

Prof. Heni Mirna Cruz Santos.
INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE

Dedico este trabalho a Deus, pois sem ele nada seria possível e aos meus pais Dilma e Paulo.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Sergipe, campus Estância pelas oportunidades que contribuíram para a minha formação.

A Universidade Federal de Sergipe, campus São Cristóvão, em especial ao LPCM/NUPEG/DFI, pelos ensaios de laboratório de análise química FRX e difratometria de raios X – DRX.

Ao meu orientador Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira por todo apoio e ensinamentos que ajudaram na realização deste trabalho.

A profa. Ma Fernanda Martins Cavalcante de Melo, pelas oportunidades, ensinamentos e conselhos.

A técnica de laboratório de materiais de construção Juci, por auxiliar na execução dos ensaios.

A todos os professores que ajudaram na minha trajetória.

Aos colegas Iury, Ruan e Camila que ajudaram na execução dos ensaios e aos colegas que de alguma maneira ajudaram na minha trajetória.

A minha família por todo apoio.

A todos que por acaso não tenha citado, mas que ajudaram de alguma maneira, muito obrigado.

“Quando tudo parece estar indo contra você,
lembre-se de que o avião decola contra o
vento, não com ele.”

(Henry Ford)

RESUMO

O tijolo de solo cimento é um material de construção produzido com solo, cimento e água. O tijolo traz como vantagens, facilidade de produção, baixo custo dos equipamentos de produção, além da possibilidade de ser produzido no próprio local da obra. Os tijolos produzidos no mercado apresentam cores, amarela, vermelha ou marrom, proveniente do próprio solo. Nesse estudo foi produzido tijolos solo cimento de coloração branca, utilizando caulim da região da Paraíba. A coloração alternativa foi uma inovação no processo de produção do tijolo que poderá atender a outras necessidades de arquitetura. O solo foi aditivado com amido de milho, a fim de melhorar a plasticidade na sua conformação. Os materiais foram ensaiados de acordo com normas vigentes. Inicialmente foram produzidos corpos de prova a partir de três formulações contendo caulim codificadas como A₅, B₁₀, C₂₀, onde o cimento substituiu o caulim respectivamente em porcentagem de 5,10 e 20%, além de 0,2% de amido de milho como aditivo para auxiliar na prensagem, e 8% de água. Em seguida foram produzidos 24 corpos de prova, em três formulações codificadas como D₁₀, E₂₀ e F₄₀ respectivamente em porcentagens (70/10/20), (60/20/20) e (40/40/20) de caulim, areia e cimento. Os corpos de prova foram produzidos por meio de compactação em prensa manual utilizando pressão de 20 MPa. Após cura de 28 dias, os corpos de prova foram caracterizados por meio da resistência mecânica à compressão, absorção de água, massa específica e durabilidade. A análise dos resultados foi realizada através da análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey. Foi produzido um tijolo ecológico de resistência mecânica, cujo resultado apresentou resistência mínima de 5 MPa aos 7 dias superiores ao mínimo de 2 MPa, mínimo exigido por norma e absorção de água menor que 15% bem abaixo dos 20% máximo solicitado pela norma. O tijolo apresentou durabilidade satisfatório, com perda de massa menor do que 5% quando submetido ação de águas.

Palavras-chave: Tijolo. solo cimento. coloração.

ABSTRACT

Soil cement brick is a construction material produced with soil, cement and water. Bricks have advantages such as ease of production, low cost of production equipment, in addition to the possibility of being produced on site. The bricks produced in the market have colors, yellow, red or brown, coming from the soil itself. In this study, white cement soil bricks were produced using kaolin from the Paraíba region. The alternative coloring was an innovation in the brick production process that could meet other architectural needs. The soil was added with corn starch in order to improve plasticity in its conformation. The materials were tested in accordance with current standards. Initially, test specimens were produced from three formulations containing kaolin coded as A₅, B₁₀, C₂₀, where cement replaced kaolin respectively in percentages of 5, 10 and 20%, in addition to 0,2% corn starch as an additive to aid in pressing, and 8% water. Then 24 specimens were produced, in three coded formulations as D₁₀, E₂₀ and F₄₀ respectively in percentages (70/10/20), (60/20/20) and (40/40/20) of kaolin, sand and cement. The specimens were produced by means of compaction in a manual press using a pressure of 20 MPa. After curing for 28 days, the specimens were characterized by means of mechanical resistance to compression, water absorption, specific mass and durability. The analysis of results was performed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test. An ecological brick of mechanical resistance was produced, the result of which was a minimum resistance of 5 MPa at 7 days, higher than the minimum of 2 MPa, the minimum required by the standard, and water absorption of less than 15%, well below the 20% maximum required by the standard. The brick showed satisfactory durability, with a mass loss of less than 5% when subjected to water action.

Keywords: Brick. cement soil. coloring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tijolo de solo cimento	15
Figura 2 - Passagem de instalação elétrica na parede de tijolo solo cimento	16
Figura 3 - Estrutura de uma caulinita	20
Figura 4- Estrutura de uma montmorilonita	21
Figura 5 - Estrutura de uma illita	21
Figura 6 - Estrutura das cloritas	22
Figura 7 - Conformação de tijolos de solo cimento	28
Figura 8 - Tipos de cura	29
Figura 9 - Tijolo vazado de solo-cimento	30
Figura 10 - Tijolo maciço de solo-cimento	31
Figura 11 - Resistência à compressão após ensaio de durabilidade	35
Figura 12 - Metodologia experimental	37
Figura 13 - Materiais utilizados na produção dos corpos de prova	38
Figura 14 - Umidade ótima de compactação do caulim	41
Figura 15 - Produção dos corpos de prova	43
Figura 16 - Etapas do ensaio de absorção de água	44
Figura 17 - Obtenção da massa do corpo de prova submerso	45
Figura 18 - Rompimento do corpo de prova	46
Figura 19 - Corpos de prova imersos em água	47
Figura 20 - Composição mineralógica do caulim	50
Figura 21 - Curvas granulométricas do caulim e da areia	52
Figura 22 - Resistência à compressão após 7 e 28 dias	54
Figura 23 - Resultados da absorção de água e resistência à compressão dos corpos de prova de solo cimento com caulim após 28 dias de cura	55
Figura 24 - Resistência após durabilidade x perda de massa	56
Figura 25 - Resistência à compressão após cura X após ensaio de durabilidade.	58
Figura 26 - Resultados da massa específica	59
Figura 27 - Resistência à compressão, massa específica aparente e absorção de água das formulações com areia	61
Figura 28 - Perda de massa e resistência após ensaio de durabilidade das formulações com areia	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aplicações das argilas	20
Quadro 2 – Faixas granulométricas da areia	26
Quadro 3 - Tipos e dimensões nominais	30
Quadro 4 - Ensaaios de caracterização do cimento	38
Quadro 5 - Ensaaios de caracterização do caulim	39
Quadro 6 - Ensaaios de caracterização da areia	39
Quadro 7 – Corpos de prova produzidos por formulação	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Subgrupo dos argilominerais	22
Tabela 2 - Composição química de caulins utilizados na produção de tijolo solos cimento	23
Tabela 3 - Valores de cimento utilizados na conformação de tijolos solo cimento	24
Tabela 4 - Composição química dos cimentos	25
Tabela 5 - Composição química da areia	27
Tabela 6 - Composição de solo	28
Tabela 7 – Limite de liquidez (LL), Índice de Plasticidade (IP) e Matéria Orgânica (MO)	32
Tabela 8 - Composição mineralógica do solo	33
Tabela 9 - Propriedades do tijolo solo cimento	33
Tabela 10 - Formulações de tijolos de solo cimento produzidas	42
Tabela 11 - Resultados dos ensaios de caracterização do cimento	48
Tabela 12 - Análise química do cimento	49
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de caracterização do caulim	50
Tabela 14 - Análise química do caulim	51
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de caracterização da areia	52
Tabela 16 - Análise química da areia	53
Tabela 17 - Resultado do teste ANOVA 1	55
Tabela 18 - Resultado do teste ANOVA 2	56
Tabela 19 – Resultados do teste ANOVA 3	58
Tabela 20 - Resultados do teste ANOVA 4	60
Tabela 21 - Resultados do teste ANOVA 5	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C. – Antes de Cristo

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

IFS – Instituto Federal de Sergipe

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

ABCERAM- Associação Brasileira de Cerâmica

ANOVA – Análise de Variância

PAST – *Paleontological Statistics*

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

g – Grama

μm – Micrômetro

mm –Milímetro

K – Potássio

H₂O – Água

SiO₂ – Dióxido de silício

Al₂O₃ – Óxido de alumínio

K₂O – Óxido de potássio

Na₂O – Óxido de sódio

Fe₂O₃ – Óxido de ferro (III)

Al₂O₃.3H₂O – Gibisita

SiO₄ – Tetraedro de sílica

Al₂(OH)₆ – Folha de gibsita

X_n(Y₂O₅)(OH)₄ – Caulim

X_B(Y₂O₅) – Mica

X_{2n}(Y₂O₅)₂(OH)₂ - Cloritas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	MATERIAS PRIMAS	19
2.1.1	Argilas	19
2.1.1.1	<i>Caulinita</i>	20
2.1.1.2	<i>Montmorilonita</i>	21
2.1.1.3	<i>Ilitas</i>	21
2.1.1.4	<i>Cloritas</i>	22
2.1.2	Caulim	23
2.1.3	Cimento	23
2.1.4	Amido de milho	26
2.1.5	Areia	26
2.2	CARACTERÍSTICAS DOS TIJOLOS DE SOLO CIMENTO	27
2.2.1	Composição do solo para a produção de tijolo de solo cimento	27
2.2.2	Processo de conformação do tijolo de solo cimento	28
2.2.3	Propriedades tecnológicas	31
2.2.3.1	<i>Índice de Plasticidade e Teor de Matéria Orgânica</i>	31
2.2.3.2	<i>Análise Granulométrica e composição mineralógica</i>	32
2.2.3.3	<i>Absorção de água, resistência à compressão e densidade aparente</i>	33
2.2.3.4	<i>Durabilidade</i>	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	MATERIAIS	38
3.1.1	Cimento	38
3.1.2	Caulim	38
3.1.3	Areia	39
3.1.4	Água	40
3.1.5	Aditivo	40
3.2	MÉTODOS	40

3.2.1	Procedimento para preparação das formulações e conformação dos corpos de prova de tijolo de solo cimento	40
3.2.2	Ensaio dos corpos de prova de solo cimento após cura aos 28 dias	43
3.2.2.1	<i>Ensaio de Absorção de água</i>	43
3.2.2.2	<i>Ensaio de Massa específica aparente seca</i>	45
3.2.2.3	<i>Resistência à compressão após 7 e 28 dias de cura</i>	45
3.2.2.4	<i>Ensaio de durabilidade</i>	46
3.2.3	Tratamento e análise dos dados	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS	48
4.1.1	Cimento	48
4.1.2	Caulim	49
4.1.3	Areia	51
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE SOLO CIMENTO COM CAULIM APÓS CURA DE 7 E 28 DIAS	54
4.2.1	Resistência mecânica e absorção de água	54
4.2.2	Durabilidade	56
4.2.3	Massa específica	59
4.3	RESULTADOS DOS CORPOS DE PROVA COM A INCORPORAÇÃO DE AREIA	60
4.3.1	Resistência à compressão, massa específica aparente e absorção de água	60
4.3.2	Durabilidade	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
5.1	CONCLUSÕES	64
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural que vem sendo utilizado há mais de 5 mil anos, sendo aplicado na construção civil, desde a fundação até o telhado (SILVA, 2019). Segundo Santos *et al.* (2020), tem-se registro do uso de solo compactado na construção da muralha da China em 1046 a.C., já Lima (2010) destaca a construção de templos na Babilônia, tornando-se assim o mais antigo método de construção popular.

Estima-se que em torno de 50 % dos resíduos sólidos oriundos da atividade humana sejam da construção civil (SANTOS *et al.*, 2020). Assim, existe a necessidade de estudos objetivando o desenvolvimento de materiais e técnicas que venham reduzir esses resíduos, contribuindo assim para a redução dos impactos ambientais. Nesse viés, a meta para a Engenharia Civil neste novo século são as chamadas construções ecologicamente viáveis, tendo como foco a redução e o reaproveitamento dos resíduos e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis (LIMA, 2010).

Uma opção para as construções sustentáveis é o uso do solo, pois além de ser um recurso abundante na natureza, é reutilizável (SANTOS *et al.*, 2020). Um material de construção onde o solo é a matéria prima principal é o tijolo de solo cimento (Figura 1), cuja produção é realizada por meio do uso do solo, cimento e água e pode-se também fazer o uso de aditivos, cuja mistura passa pelo processo de compactação (MIRANDA, 2019). Segundo Lima (2010), os tijolos de solo cimento vem se destacando no Brasil desde a década de 1930 com a regulamentação pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Esse tipo de tijolo possui algumas vantagens em comparação com o tijolo de argila queimada, como contribuição para o meio ambiente está: a redução do desmatamento, devido a não necessidade de queima em forno a lenha (SALA, 2006). Já em relação ao processo construtivo é auto encaixável e dispensa acabamento (RODRIGUES; HOLANDA, 2013).



Figura 1 - Tijolo de solo cimento (NASCIMENTO *et al.*, 2021)

Nem todo solo pode ser utilizado na produção de tijolo de solo cimento, sendo assim, é necessário a caracterização física e química com o objetivo de atender os requisitos básicos (SILVA, 2019). Os tijolos de solo cimento pode ser conformados por meio de prensas manuais ou automáticas (PISANI, 2006). Assim é possível produzir tijolos de qualidade que tem diversas aplicações em uma obra, sendo principalmente na construção de paredes, mas podem ser aplicados em outras partes da edificação desde a fundação até coberturas e lajes (SEGANTINI; WADA, 2011).

Em relação ao custo, é estimado que o uso de tijolos de solo cimento na obra pode representar uma redução de 30 % a 40 % no custo final, uma das causas pode ser a redução de perdas, o solo cimento pode ser reaproveitado quando quebrado, como solo, bastando apenas triturar os pedaços e em seguida reutilizar na produção de novos tijolos (SEGANTINI; WADA, 2011).

O consumo de cimento também pode influenciar no custo final, pois o solo entra em maior volume em relação ao cimento (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2008; CAMPOS; NASCIMENTO; BRITO, 2019). Segundo Miranda (2019), os tijolos de solo cimento ainda permitem a passagem mais facilmente de tubulações (Figura 2).



Figura 2 - Passagem de instalação elétrica na parede de tijolo solo cimento (SILVA, 2019).

No Brasil, muitas pesquisas foram realizadas com a adição de matérias primas alternativas ou resíduos no processo produtivo do tijolo de solo cimento, a fim de melhorar suas propriedades e incentivar o seu uso. Segundo Miranda (2019), foram incrementadas cédulas de dinheiro sem valor, fibras e as cinzas de bagaço de cana, resíduo de cerâmica moída ou oriundos de construções e demolições, cinza de casca de arroz e muitos outros foram estudados. Outro

material estudado em adição ao solo cimento é o caulim, segundo Anjos (2011) o caulim calcinado (metacaulinita) é utilizado desde a década de 1960 na Engenharia Civil para a produção de concreto de alto desempenho em razão da boa resistência mecânica e durabilidade necessárias em algumas obras especiais.

Trabalhos como o de Mendonça *et al.* (2017) e (2021) estudaram a incorporação de resíduo de caulim na produção de tijolo solo cimento. Ambos apontaram resultados satisfatórios em relação a resistência a compressão, pois, atenderam as normas vigentes. No entanto, na literatura não foi observado estudos em relação a mudança de coloração dos tijolos de solo cimento, o que poderia ser uma alternativa para a decoração de paredes, nem tão pouco pesquisas realizadas com o caulim propriamente dito.

Portanto este estudo visa contribuir para produção de tijolos de solo cimento branco que atendam a resistência mecânica, absorção de água e durabilidade conforme prescreve as normas vigentes.

1.1 JUSTIFICATIVA

O tijolo de solo cimento é produzido utilizando solos argilo- arenosos nas colorações vermelho, amarela e marrom. Esse tipo de tijolo é utilizado na construção civil devido a não necessidade de acabamento, o que evidencia as suas cores originais. Não se tem relatos na literatura da produção de tijolo de coloração branca, o que poderia ser uma alternativa inovadora de decoração.

Não foi observado na literatura o uso apenas de caulim. Nesse trabalho, buscou-se produzir um tijolo de solo cimento alternativo para decoração de coloração branca, resistente e durável.

1.2 OBJETIVOS

Nos tópicos seguintes serão apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Produzir tijolos de solo cimento com caulim que atendam as características das normas vigentes: resistência Mecânica, baixa absorção de água e elevada durabilidade.

1.2.2 Objetivos específicos

- Explorar a literatura acadêmica acerca da produção de tijolos de solo cimento;
- Realizar ensaios de caracterização física e química dos materiais componentes do tijolo de solo cimento;
- Determinar formulações, com variações dos percentuais de incorporação do caulim e areia na produção dos corpos de prova de tijolo de solo cimento;
- Produzir corpos de prova de tijolo de solo cimento em formato cilíndrico, com diferentes formulações;
- Realizar ensaios de resistência à compressão, massa específica aparente, absorção de água e durabilidade dos corpos de prova produzidos;
- Analisar a influência da areia nas propriedades dos tijolos de solo cimento com caulim;
- Relacionar os resultados experimentais encontrados com a literatura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com o objeto de estudo, este tópico mencionará alguns artigos científicos da mesma linha de pesquisa, com o objetivo de validar o embasamento teórico deste trabalho na forma de uma revisão bibliográfica, a fim de analisar e comparar resultados de ensaios de acordo com as normas técnicas brasileiras e das diversas literaturas.

2.1 MATERIAS PRIMAS

Os tópicos que serão apresentados a seguir, abordarão as matérias primas que normalmente são utilizadas na produção de tijolos de solo cimento.

2.1.1 Argilas

A argila é definida como um material de origem natural, formado por minerais de grãos finos, geralmente plástico com teores de água apropriados, endurece quando seco ou queimado, é composta por filossilicatos, mas pode conter outros materiais que também dão ao material plasticidade (GUGGENHEIM; MARTIN, 1995).

Segundo Santos (1975), a argila pode ser composta por uma parcela de argilominerais ou por uma mistura de argilominerais como ilitas, caulinitas, montmorilonita e cloritas, os quais são compostos quimicamente ligados por silicatos hidratados de alumínio, ferro e teor de alcalinos e alcalinos - terrosos, podendo conter ainda, pirita, dolomita, frações de quartzo, mica, calcita e matéria orgânica. Sua granulometria caracteriza-se por frações geralmente com tamanho menor que 2 μm . São empregadas na indústria do papel, metalúrgica, de petróleo, de borrachas e plásticos.

Segundo a ABCERAM (Associação Brasileira de Cerâmica, 2022), os argilominerais são os responsáveis pela composição mineralógica do solo. Esses solos são formados a partir da decomposição devido ao intemperismo de rochas feldspáticas. Os solos quando úmido são responsáveis por algumas propriedades mecânicas das argilas, essas propriedades podem ser plasticidade e resistência mecânica. Essas características contribuem para garantir a

conformação do tijolo de solo cimento. A seguir será apresentada no Quadro 1 os tipos de argila e sua aplicabilidade.

Argila	Aplicação
Argilas que contém argilominerais illita, de camadas mistas illita-montmorilonita e clorita montmorilonita, caulinita, pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro.	Cerâmica vermelha
Argilas caulínicas, baixos teores alcalinos, alcalinos-terrosos e de ferro podendo conter gibsita $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$.	Materiais refratários
Argilas com semelhança com as que são aplicadas para materiais refratários com restrição para o ferro e em alguns casos gibsita.	Cerâmica branca

Quadro 1 - Aplicações das argilas (ABCERAM, 2022).

As argilas são classificadas em função do argilomineral presente. Portanto, serão apresentados os argilominerais que constituem as argilas.

2.1.1.1 Caulinita

Segundo Santos (1975), a caulinita pode ser definida como sendo um argilomineral formado por camadas 1:1, sendo que cada camada é composta de uma folha de tetraedros SiO_4 e uma folha de octaedros $Al_2(OH)_6$. As camadas são unidas por oxigênio, resultando em uma estrutura polar. Matos Neto (2013), acrescenta ainda que a caulinita tem como característica no estado puro, baixa plasticidade e resistência mecânica e é o principal componente do caulim. Na Figura 3 está representada a estrutura de uma caulinita.

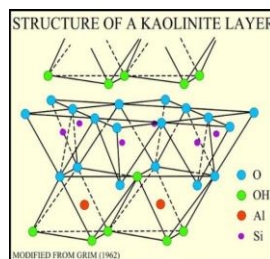


Figura 3 - Estrutura de uma caulinita (POPPE *et al.*, 2001).

2.1.1.2 Montmorilonita

A montmorilonita possui duas folhas de silicato tetraédricas nas extremidades e no meio uma folha octaédrica, a junção entre as folhas acontece por meio de oxigênio (SANTOS, 1975). Matos Neto (2013), acrescenta ainda que montmorilonita acima de 3%, torna a argila muito plástica podendo ocasionar a formação de trincas no processo de secagem. Na Figura 4 é apresentada a estrutura de uma montmorilonita.

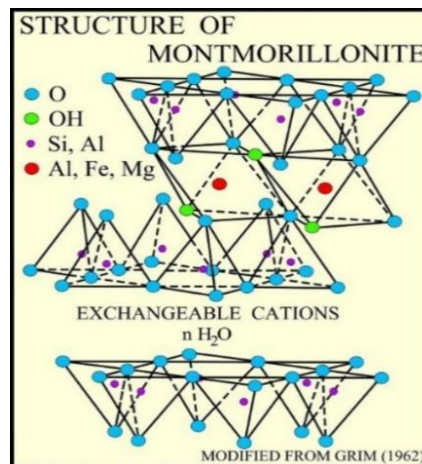


Figura 4- Estrutura de uma montmorilonita (POPPE *et al.*, 2001).

2.1.1.3 Ilitas

A estrutura tem semelhança com a da montmorilonita, mas difere em relação a substituição de alumínio por silício, que no caso da ilita é maior, consequentemente, a estrutura cristalina possui maior carga, sendo o potássio o cátion neutralizante (SANTOS, 1975). Na Figura 5 é apresentada a estrutura de uma ilita.

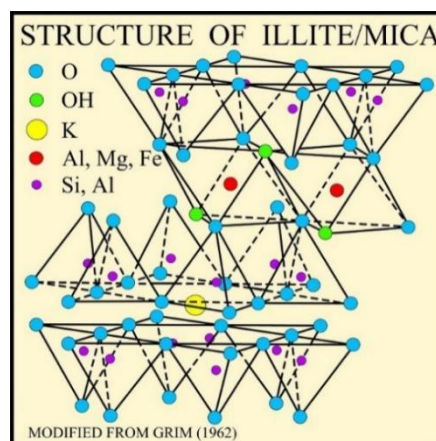


Figura 5 - Estrutura de uma ilita (POPPE *et al.*, 2001).

2.1.1.4 Cloritas

As cloritas, são argilominerais 2:1, tendo uma estrutura do tipo mica, ou seja, duas camadas de silicato e uma camada central de gipsita e estrutura do tipo brucita ou hidróxido de magnésio. (SANTOS, 1975). Na Figura 6 é apresentada a estrutura de uma clorita.

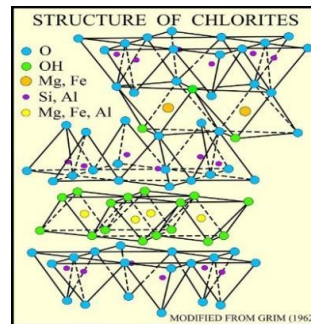


Figura 6 - Estrutura das cloritas (POPPE *et al.*, 2001).

Barba (1997) apud Oliveira (2017), afirma que os interestratificados são os argilominerais mais comuns e sua classificação é conforme subgrupo e espécie mineralógica. A Tabela 1 apresenta a classificação mais comum.

Tabela 1- Subgrupo dos argilominerais.

Subgrupo	Espécie química	Minerais mais comuns
Caulim $X_n(Y_2O_5)(OH)_4$	Caulinita	Nacrita $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ Dikita $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ Livesita $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ Halloysita $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$
Mica $X_B(Y_2O_5)$	Montimorilonitas	Montimorillonitas $(Al_{1,51}Fe_{0,07}Mg_{0,60})Al_{0,28}Si_{3,72}O_{10}$ Beidelita $(Al_{1,46}Fe_{0,50}Mg_{0,08})Al_{0,36}Si_{3,64}O_{10}(OH)_2Na_{0,40}$ Nontronita $1,67Mg_{0,33}(Si_4O_{10})(OH)_2Na_{0,33}$ e $Fe_{2,22}(AlSi_3O_{10})(OH)_2Na_{0,33}$ Hectorita $Mg_{2,67}Li_{0,33}(Si_4O_{10})(F, OH)2Na_{0,33}$ Saponita $Mg_3(Al_{0,33}Si_{3,67})O_{10}(OH)_2Na_{0,33}$
	Ilitas	Grande variedade de minerais
Cloritas $X_{2n}(Y_2O_5)_2(OH)_2$	Cloritas	Clorita $[Mg_2(Al, Fe(III)(OH)_6)][Mg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2]$

Fonte: Barba, 1997 apud Oliveira, 2017, p.16.

2.1.2 Caulim

O caulim é uma argila com pouca ou nenhuma plasticidade de aspecto macio e branco, formado em grande parte pelo mineral caulinita, um silicato de alumínio de formulação $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Sua formação tem origem na alteração do feldspato e moscovita. Os depósitos de caulim possuem duas classificações, são eles primário e secundário, a primeira se refere quando o caulim é o resultado do intemperismo residual ou alterações hidrotermais, já o secundário tem sua origem sedimentar (MURRAY, 2002).

Esse mineral possui muitas aplicações na indústria do papel, inseticidas, pesticidas, cimentos, borracha, plástico, todos esses processos geram muitos resíduos, apenas 30 % são aproveitados na extração (DA ROCHA *et al.*, 2008). Portanto, pesquisas devem ser realizadas a respeito do uso do caulim em outros segmentos.

Na Tabela 2, é apresentada a composição química dos resíduos de caulim utilizados na conformação de tijolos de solo cimento. Pode-se observar que o Caulim é constituído de majoritariamente de SiO_2 , que se estiver presente na forma de quartzo livre, diminui a plasticidade do solo e por sua vez prejudica a compactação. A composição apresenta ainda Al_2O_3 , originados do argilomineral caulinita e traços de K_2O e Fe_2O_3 proveniente do feldspato.

Tabela 2 - Composição química de caulins utilizados na produção de tijolo solos cimento (%)

Referências	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3
Mota <i>et al.</i> (2006)	76,01	16,38	6,71	0,30	0,70
Rezende <i>et al.</i> (2008)	77,56	16,09	0,42	0,04	0,16
Anjos (2011)	66,25	26,19	6,38	-	0,85

Fonte: O autor, 2022.

2.1.3 Cimento

O nome cimento, tem origem na palavra em latim *Caementum*, palavra essa, usada pelos antigos romanos para descrever a mistura de cal e terras diatomáceas do Golfo Pérsico em 5000 a.C. (RAMEZANIANPOUR, 2014). Posteriormente, os gregos (1600 a.C.) e romanos (79 d.C.) começaram a utilizar materiais vulcânicos (ZAMPIERI, 1989). O cimento pode ser definido tecnicamente como sendo um aglomerante hidráulico, ou ainda mistura de clínquer moído mais o sulfato de cálcio, que tem a função de retardar as reações do C_3A (aluminato tricálcico).

Podendo também possuir em sua composição outras substâncias, definindo assim os diferentes tipos de cimento (GRANDE, 2003).

Os cimentos hidráulicos, podem ser classificados como cimentos naturais, Portland e cimentos aluminosos. O cimento Portland é assim conhecido, devido a semelhança no estado endurecido com a pedra de Portland, um tipo de calcário. O processo de produção do cimento Portland inicia com a mistura da matéria prima obedecendo certa proporção, seguido da etapa de queima em forno rotativo a uma temperatura de 1.450 °C. Dentro do forno o material passa pelo processo de sintetização e fundição parcial, esse processo faz com que o material ganhe forma de esferas com cerca de 5 a 25 mm de diâmetro, conhecidas como clínqueres. Após essa etapa, o sulfato de cálcio é adicionado ao clínquer, já resfriado, por fim o material é moído, originando assim o cimento Portland (NEVILLE, 2016; MEHTA; MONTEIRO, 2006).

O processo de estabilização de solos com cimento é a técnica mais usada na produção de tijolos solo cimento (GÓIS, 2012). O cimento em contato com a água hidrata e adquire resistência mecânica. No processo de hidratação, os grãos de cimento se aglutinam formando um esqueleto resistente. O processo de hidratação é formado por duas fases que conferem a pega e o endurecimento. A pega do cimento é subdividida em tempo de início de pega e tempo de final de pega, que compreende o processo no qual a pasta de cimento Portland começa a perder trabalhabilidade (BAUER, 2008).

De acordo com a Tabela 3, a partir dos valores obtidos de acordo com a literatura, percebe-se que a porcentagem de cimento utilizado na conformação dos tijolos solo cimento varia em média de 4% a 12%, o que é suficiente para estabilização do solo (BHAIRAPPANAVAR; LIU; SHAKOOR, 2021), ou seja, garantir resistência e durabilidade conforme prescrito nas normas.

Tabela 3 - Valores de cimento utilizados na conformação de tijolos solo cimento (Continua).

Referência	Tipo de solo	Tipo de construção	Cimento (%)
Moriarty, Svare e Therkildsen (1975)	Arenoso	Paredes internas	≥ 5
Moriarty, Svare e Therkildsen (1975)	Arenoso	Paredes externas	≥ 7
Reddy, Lal e Rao (2007)	Argiloso	-	4-8
Nagaraj <i>et al.</i> (2014)	Arenoso	-	4-8
Donkor e Obonyo (2016)	Arenoso	-	8

(Continuação)

Referência	Tipo de solo	Tipo de construção	Cimento (%)
Dao <i>et al.</i> (2018)	Argiloso	-	2-12
Sekhar e Nayak (2018)	Arenoso	-	2-8
Sekhar e Nayak (2018)	Siltoso	-	6-12
Vilela <i>et al.</i> (2020)	Siltoso	-	10
Bhairappanavar, Liu e Shakoar (2021)	Arenoso	-	8-12
Kasinikota e Tripura (2021)	Arenoso	-	10

Fonte: O autor, 2022.

Na Tabela 4, é apresentada a composição química dos cimentos. O cimento é constituído basicamente por calcário que fornece o CaO e argila que fornece a SiO₂, e demais óxidos. A combinação de todos garantem as propriedades aglomerantes e resistência mecânica após hidratados (BAUER, 2008).

Tabela 4 - Composição química dos cimentos (%)

Referência	Tipo de cimento	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Mattana, Pereira e Costa (2013)	CPII F	60,26	18,44	4,33	2,59	3,08	0,11	0,82
Mattana, Pereira e Costa (2013)	CPII Z	51,77	23,75	7,26	2,92	2,80	0,14	1,01
Mattana, Pereira e Costa (2013)	CPIV	41,00	31,58	11,31	3,41	2,54	0,19	1,31
Romano <i>et al.</i> (2016)	CPI	65,5	19,7	5,3	3,4	2,23	< 0,1	0,64
Anjos <i>et al.</i> (2016)	CPII F - 32	68,68	14,71	4,41	2,35	5,48	-	1,26
Souza, Medeiros e Hoppe (2018)	CPV – ARI RS	55,40	20,10	4,80	3,50	2,80	-	1,0
Borges, Neto e Mendonça (2021)	CPV - ARI	64,6	17,0	6,9	2,7	3,4	-	1,3
Borges, Neto e Mendonça (2021)	CPIV – 32 RS	45,7	29,1	9,8	1,9	3,0	-	1,8
Borges, Neto e Mendonça (2021)	CPIII – 40 RS	59,1	21,2	6,6	3,2	3,2	-	0,6
Borges, Neto e Mendonça (2021)	CPII E - 32	62,3	12,9	4,2	2,8	3,4	-	1,0

Fonte: O autor, 2022.

Segundo Neves *et al.* (2022), vários tipos de cimento podem ser utilizados como componente da mistura para a produção de tijolos de solo cimento, devendo apenas atender aos requisitos normativos, já Souza, Segantini e Pereira (2008), recomendam o CP II Z-32, pois atende melhor os requisitos normativos para a produção dos tijolos de solo cimento, além do tipo CP II, ser de fácil aquisição.

2.1.4 Amido de milho

O amido é sintetizado pelas plantas, possui a função de armazenar energia, possui como componentes principais a amilopectina altamente ramificada e moléculas de amilose principalmente lineares, outros constituintes menores, como proteínas, lipídios e fosfatos, também estão presentes no grânulo de amido (XU *et al.*, 2022).

O amido de milho, além de contribuir para as propriedades de textura de muitos alimentos, têm muitas aplicações industriais como espessante, estabilizador coloidal, agentes gelificante, de volume e de retenção de água, além de aplicação como adesivo, o tamanho médio dos grânulos de amido de milho varia de 1 a 7 μm para grânulos pequenos e de 15 a 20 μm para grânulos grandes (SINGH *et al.*, 2003).

2.1.5 Areia

A areia são partículas cuja origem se dá pela degradação das rochas, são divididos em grânulos e são compostos de dióxido de silício. O processo de formação da areia acontece por meio da erosão da rocha pela água e vento. Na construção civil, possui muitas aplicações como: no concreto, argamassa, aterros e fabricação de vidros (UFSC, 2020).

A classificação da areia está relacionada ao tamanho de seus grãos, segundo Bauer (2008), a areia pode ser classificada de acordo com a faixa granulométrica apresentada no Quadro 2:

Tipo de areia	Diâmetro (mm)
Areia fina	0,15 – 0,6
Areia média	0,6 – 2,4
Areia grossa	2,4 – 4,8

Quadro 2 – Faixas granulométricas da areia (BAUER, 2008).

A areia fina e média são as mais utilizadas na produção de tijolos solo cimento, pois é um material inerte que regula a plasticidade do solo (REDDY; LAL; RAO, 2007). Na Tabela 5, é apresentada a composição química da areia. A areia é composta principalmente de sílica (SiO_2), devido ao mineral quartzo, podendo conter impurezas como ferro, argila entre outros (QUEIROZ; MONTEIRO; VIEIRA, 2010).

Tabela 5 - Composição química da areia (%)

Referência	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	ZrO ₂
Vieira <i>et al.</i> (2006)	86,66	7,53	0,82	1,90	-	0,31	0,45	0,67	0,04
Queiroz, Monteiro e Vieira (2010)	60,82	20,47	4,60	2,21	-	1,63	0,64	-	0,24
Souza <i>et al.</i> (2014)	96,13	3,48	0,13	0,06	0,02	0,18	-	-	-

Fonte: O autor, 2022.

2.2 CARACTERÍSTICAS DOS TIJOLOS DE SOLO CIMENTO

Nos tópicos seguintes serão apresentadas as características do solo utilizado na conformação de tijolos solo cimento, bem como características dos tijolos de solo cimento com base em pesquisa na literatura.

2.2.1 Composição do solo para a produção de tijolo de solo cimento

O solo é o material que entra em maior proporção na conformação de tijolos de solo cimento. A sua escolha deve ser pensada objetivando a economia do estabilizante, no caso cimento (NEVES; CARNEIRO; COSTA, 2001). Na composição do tijolo solo cimento é comum o uso de solos com teor de areia entre 45% e 50% (ABCP, 2009). Segundo a ABCP (2000), solos que possuem maior quantidade de areia podem ajudar na economia de cimento em relação aos solos argilosos e siltosos. Outro fator que deve ser observado é se o solo possui frações de argila e silte, o que pode provocar fissuras e trincas ou diminuir a resistência do tijolo. Apesar disso, a argila e o silte melhoram a trabalhabilidade na conformação e a resistência inicial depois de prensado. O teor de argila + silte deve oscilar de 40-70% (OUEDRAOGO *et al.*, 2020; SILVA, 2005).

A argila promove maior coesão na mistura após a umidificação e conformação dos tijolos, facilitando assim a desmoldagem. Já no caso se o solo escolhido não atender às especificações, é possível ainda, misturar dois ou mais solos a fim de que se possa chegar a um solo adequado (ABCP, 2000). Como visto na literatura, na produção de tijolos de solo cimento é necessário conhecer sua composição, pois será determinante para obter um produto de elevada resistência mecânica e de durabilidade comprovada. Portanto, com o objetivo de entender melhor os solos utilizados na conformação de tijolos de solo cimento. Na Tabela 6 é apresentada uma relação da composição dos solos utilizados.

Tabela 6 - Composição de solo (%)

Referências	Argila	Silte	Areia	Outros
Segantini e Wada (2011)	21,8	20,2	57,7	-
Rodrigues e Holanda (2013)	22,4	28,4	49,2	-
Oliveira, Amaral e Schneider (2014)	60	15	25	-
Jordan <i>et al.</i> (2019)	11,5-65,5	2,5-18,1	16,4-86	-
Kongkajun <i>et al.</i> (2020)	8,8	59,2	32	-
Vilela <i>et al.</i> (2020)	52	16	32	-
Ouedraogo <i>et al.</i> (2020)	22,5-32	38,5-40	28-37	2
Akinyemi, Orogbade e Okoro (2021)	53	44	3	-
Hany <i>et al.</i> (2021)	5,59	12,11	77,09	5,22

Fonte: O autor, 2022.

A partir do levantamento com base na literatura apresentada na Tabela 6, pode-se concluir, que a composição do solo utilizado na conformação de tijolos de solo cimento, possuem teor de argila entre 5 e 70%, silte entre 2% e 60%, areia entre 3% e 90%, podendo conter ou não outros materiais em sua composição.

2.2.2 Processo de conformação do tijolo de solo cimento

O processo de conformação dos tijolos de solo cimento de acordo com a literatura é apresentado na Figura 7.

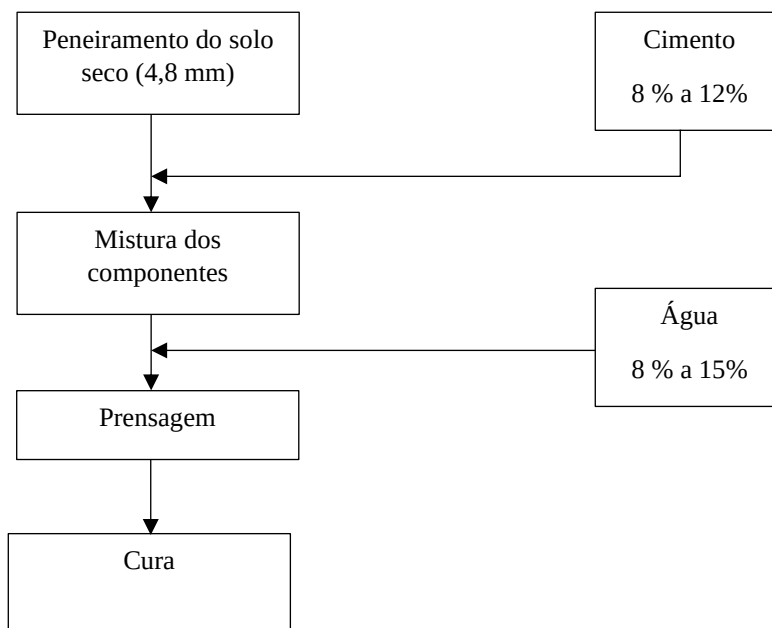


Figura 7 - Conformação de tijolos de solo cimento (REIS; NEGREIROS; CANETOMI, 2016; ABCP, 2000; BHAIAPPANAVAR; LIU; SHAKOOR, 2021).

O processo inicia pela secagem do solo, seguido de peneiramento na peneira 4,8 mm (ABCP, 2000). O solo deve ser pesado ou dosado em volume e misturado ao cimento. Em seguida incorpora-se água em porcentagens de 8 a 15% (BHAIRAPPANAVAR; LIU; SHAKOOR, 2021). Recomenda-se umidificar o solo e peneirar a mistura de solo cimento para ajuste de granulometria (ABCP, 2000).

O tijolo é então conformado em prensas manuais ou automáticas. Após, os tijolos são levados para cura que pode ser ao ar, por molhagem durante o dia ou em câmara climatizada o qual acelera o processo de reações do cimento. O processo de cura adotado pode influenciar na resistência à compressão. De acordo com a Figura 8, a resistência aumenta exponencialmente nos primeiros 7 dias de cura, atingindo a valores mínimos prescritos nas Normas $> 2\text{MPa}$, sendo que se o tijolo for umidificado nos primeiros 7 dias, a resistência poderá aumentar até 100% em relação a cura ao ar. Após 7 dias o aumento não é expressivo e tende a estabilização.

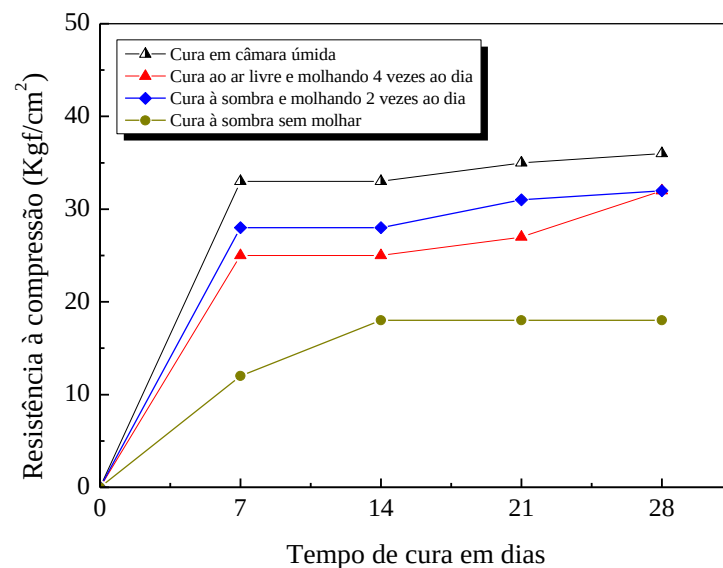


Figura 8 - Tipos de cura (CEPED, 1999 apud SILVA, 2005, p.25).

Os mesmos são submetidos aos processos de caracterização a fim de que se possa estudar as propriedades dos tijolos produzidos. Alguns dos ensaios que podem ser realizados são: resistência à compressão, absorção de água, durabilidade sob ação de águas por molhagem e secagem seguido de escovação e massa específica aparente.

Os solos utilizados são testados, a fim de determinar se são adequados para a utilização na conformação. Esses ensaios costumam ser: índice de plasticidade, teor de matéria orgânica, análise granulométrica e análise da composição mineralógica.

Além disso podem ainda ser utilizados aditivos e impermeabilizantes e outros componentes objetivando melhorar as propriedades dos tijolos como agregado miúdo e fibras (PISANI, 2006).

Com relação as dimensões dos tijolos de solo cimento, cada face é determinada a partir da média de três medidas, duas nas extremidades e uma no centro dos tijolos, tendo como precisão 0,5 mm (MARQUES; MENDES, 2020; ABNT NBR 8491:2012). O Quadro 3, apresenta a classificação do tijolo de acordo com suas dimensões.

Tipos	Comprimento	Largura	Altura
A	200	100	50
B	240	120	70

Quadro 3 - Tipos e dimensões nominais (mm) (ABNT NBR 8491:2012).

No caso de tijolos vazados, as distâncias dos furos devem seguir o apresentado na Figura 9.

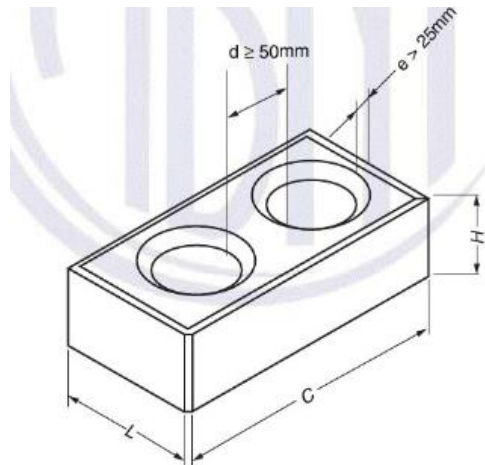


Figura 9 - Tijolo vazado de solo-cimento (ABNT NBR 8491:2012).

Os tijolos também podem ser produzidos no formato maciço, a NBR 8491:2012 também determina suas dimensões conforme Figura 10.

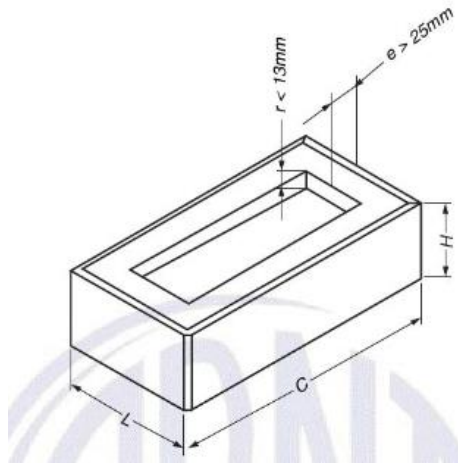


Figura 10 - Tijolo maciço de solo-cimento (ABNT NBR 8491:2012).

2.2.3 Propriedades tecnológicas

As propriedades tecnológicas do solo utilizado e dos tijolos de solo cimento são apresentados nos tópicos seguintes.

2.2.3.1 Índice de Plasticidade e Teor de Matéria Orgânica

Existe uma diversidade de solos, e cada um deles pode apresentar ou não material orgânico. Deve-se ficar atento ao teor de matéria orgânica, escolhendo assim solos em que esse componente seja ausente (SILVA, 2005). Caso o solo utilizado possua tal composição, a hidratação do cimento pode ser afetada negativamente e, além disso, dificultar a estabilização do solo (ABCP, 2000).

Na Tabela 7, são apresentados os resultados de acordo com a literatura do limite de liquidez (LL), índice de plasticidade (IP) e teor de matéria orgânica (MO) ideais para produção de tijolos. Segundo a ABCP (2000) e a ABNT NBR 10833:2013 – Fabricação de tijolo e bloco de solo – cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento, o limite de liquidez (LL) deve ser menor ou igual a 45%, já em relação ao índice de plasticidade (IP), deve ser menor ou igual a 18%. Esses valores são obtidos de acordo com a ABNT NBR 6459:2017 – Solo – Determinação do limite de liquidez, para o LL, ABNT NBR 7180:2016 – Solo – Determinação do limite de plasticidade, para o IP e ASTM D 4318:2017 – *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*, para LL, LP e IP.

Tabela 7 – Limite de liquidez (LL), Índice de Plasticidade (IP) e Matéria Orgânica (MO)

Referências	LL (%)	IP (%)	MO (%)
ABCP (2000)	≤ 45	≤ 18	-
Lima (2010)	20,8	8,2	-
Segantini e Wada (2011)	27,7	9,4	-
Akinyemi, Omoniyi e Adeyemo (2016)	30,5	-	-
Zak <i>et al.</i> (2016)	32	14,7	-
Silva (2019)	34	14,0	-
Ouedraogo <i>et al.</i> (2020)	-	15-21	-
Vilela <i>et al.</i> (2020)	30,63	9,90	-
Hany <i>et al.</i> (2021)	-	-	0,9
Jose e Kasthurba (2021)	41,5	14,3	-

Fonte: O autor, 2022.

A partir do levantamento com base na literatura apresentados na Tabela 7, pode-se concluir, que os solos utilizados na conformação de tijolos solo cimento possuem limite de liquidez (LL) entre 20 % e 45%, índice de plasticidade entre 8% e 21% e teor de matéria orgânica menor que 1%.

2.2.3.2 Análise Granulométrica e composição mineralógica

Na escolha do solo, a granulometria é um ponto importante a ser analisado. O solo deve apresentar características como ser facilmente desagregável e manter uma proporção em relação ao tamanho entre os grãos (SILVA, 2005). Segundo a ABCP (2000) e a ABNT NBR 10833:2013, os solos recomendados para a conformação de tijolos solo cimento, se caracterizam por ter 100% passando na peneira de 4,8 mm e de 10% a 50%, passando na peneira de 0,075 mm.

Em relação a mineralogia, existe uma certa diversidade no solo. Segundo Góis (2012) sua composição e propriedades físicas são determinantes para seu comportamento, o autor ainda detalha a composição de cada um: a areia é formada em maior parte por quartzo e feldspato, os siltes são compostos por partículas finas de quartzo e alguns fragmentos de outros minerais e as argilas são compostas por partículas microscópicas de mica, argilominerais e outros minerais. De acordo com a Tabela 8, os solos utilizados na produção dos tijolos solo cimento apresentam na sua maioria a caulinita, e Ilita além do quartzo e como contaminantes feldspatos.

Tabela 8 - Composição mineralógica do solo

Referência	E	K	I	G	V	M	C	F	Q	J
Lima (2010)	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
Amaral <i>et al.</i> (2013)	-	X	X	X	-	X	-	-	X	X
Siqueira <i>et al.</i> (2016)	-	X	-	X	-	X	-	-	X	X
Zak <i>et al.</i> (2016)	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-
Ouedraogo <i>et al.</i> (2020)	-	X	X	X	-	-	X	X	X	-
Vilela <i>et al.</i> (2020)	-	X	-	-	-	-	-	X	X	X

Legenda: E: Esmeclita; K: Kaolinita; I: ilita; G: goethita; V: vermiculita; M: mica; C: calcita; F: feldspato; Q: quartzo; J: gibsitita.

Fonte: O autor, 2022.

2.2.3.3 Absorção de água, resistência à compressão e densidade aparente

Na Tabela 9 são apresentados os valores retirados da literatura de densidade aparente, absorção de água e resistência à compressão. A absorção de acordo com a ABNT NBR 8491:2012 – Tijolo de solo cimento - Requisitos, deve ser menor do que 20%.

Tabela 9 - Propriedades do tijolo solo cimento

Referências	Densidade Aparente (g/cm ³)	Absorção de Água (%)	Resistência à Compressão (MPa)
Amaral <i>et al.</i> (2013)	1,97-1,99	8,4-9	4,2-4,8
Rodrigues e Holanda (2013)	1,90-1,95	19-22	4,5-5
Siqueira e Holanda (2013)	1,95 – 1,97	17,5 - 22	5-6
Siqueira <i>et al.</i> (2016)	1,78-1,87	7-18	2,8-4,8
Leonel <i>et al.</i> (2017)	-	14-18	2,2-3,2
Cristina <i>et al.</i> (2018)	-	9,70-10,35	0,30-1,55
França <i>et al.</i> (2018)	-	13-17	3,2-4,3
Jordan <i>et al.</i> (2019)	-	17,39-19,04	1,27-1,88
Barros <i>et al.</i> (2020)	-	-	2,5-7
Kongkajun <i>et al.</i> (2020)	1,84-1,94	10-12	10-13
Vilela <i>et al.</i> (2020)	1,67-1,77	15,5-17	2,42-3,38

Fonte: O autor, 2022.

Em relação a resistência à compressão o ideal aos 7 dias de cura para tijolos utilizados em alvenaria de vedação é de no mínimo 2 MPa (SEGANTINI; WADA, 2011; ABNT NBR 8491:2012), o que pode ser confirmado na maioria dos trabalhos apresentados na Tabela 9.

O solo também pode influenciar na resistência dos tijolos de solo cimento, no estudo de Reddy, Lal e Rao (2007), foi observado que a resistência a compressão de corpos de prova de solo cimento aumentou com a fração de argila até certo ponto, assim que o valor de pico é atingido, à medida que a fração de argila é aumentada foi percebido uma queda de resistência. Referente aos valores encontrados na literatura, apresentados na Tabela 9, em relação a densidade aparente, os resultados em grande parte, encontram-se dentro da faixa recomendada para densidade de tijolos, entre 1540 kg/m³ a 1950 kg/m³ (JOSHI *et al.*, 2019).

É observado que quanto maior a densidade, maior é a resistência à compressão e menor a absorção de água, o contrário ocorre com a diminuição da densidade (KHOUDJA *et al.*, 2021).

2.2.3.4 Durabilidade

A durabilidade é a capacidade que um determinado material possui de resistir a ações físicas e químicas do ambiente, independente de ações mecânicas e variações volumétricas térmicas (LIMA, 2010). A fração de argila presente na composição dos tijolos de solo cimento pode influenciar na durabilidade, como concluíram Reddy, Lal e Rao (2007). Em seus estudos observaram que tijolos de solo cimento com teores de argila até 16% apresentam maior durabilidade.

Pode-se perceber na literatura que o ensaio de durabilidade sob ação de águas por molhagem e secagem seguido de escovação, tem influência na resistência à compressão de tijolos solo cimento. No estudo de França *et al.* (2018), após medir a resistência à compressão de corpos de prova de solo cimento com incorporação de resíduos calcários do processamento do mármore, os autores submeteram os corpos de prova a cura de 28 dias e em seguida realizaram o ensaio de resistência à compressão, como resultado, confirmaram um aumento da resistência de corpos de prova após o ensaio de durabilidade. Nesse estudo, os autores encontraram antes do ensaio de durabilidade valores de 3,2 a 4,3 MPa de resistência à compressão, já após o ensaio de durabilidade encontraram valores de 5,2 a 6,8 MPa (Figura 11).

Os autores concluíram que esse fenômeno pode ser explicado pela melhor hidratação das partículas de cimento no processo cíclico de molhagem e secagem contribuindo assim no aumento da resistência.

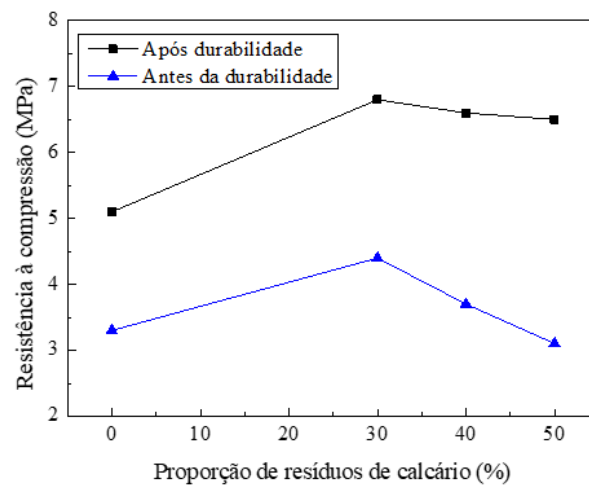


Figura 11 - Resistência à compressão após ensaio de durabilidade (FRANÇA *et al.*, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho trata-se de uma pesquisa experimental objetivando a produção de tijolos de solo cimento branco a partir do caulim. Inicialmente foi realizada a exploração do estado da arte do processo de produção de tijolos de solo cimento, foi utilizado os periódicos CAPES, Google Acadêmico, livros, objetivado assim, obter o máximo de informações sobre o processo de produção de tijolos de solo cimento e as matérias primas utilizadas neste estudo.

Foi realizada a caracterização do caulim, cimento e areia utilizados na produção dos corpos de prova, no laboratório de solos do Instituto Federal de Sergipe (IFS), campus Estância. Posteriormente, foi produzido os corpos de prova por meio da dosagem dos materiais em massa e prensagem com o auxílio de uma prensa manual. Os corpos de prova, passaram por ensaios objetivando sua caracterização a fim de conhecer as características físicas e químicas do material produzido, foram utilizados 4 corpos de prova de cada formulação para cada ensaio realizado.

Como a formulação que melhor atendeu aos requisitos normativos foi a formulação com 20% de cimento, foi adicionado 10 %, 20 % e 40 % de areia nesta formulação, objetivando estudar a influência desta matéria prima nas propriedades tecnológicas do tijolo de solo cimento com caulim. Nos tópicos seguintes serão apresentados os materiais e os métodos utilizados neste estudo, bem como os ensaios de caracterização. A Figura 12 esquematiza em formato de fluxograma a metodologia experimental utilizada neste estudo.

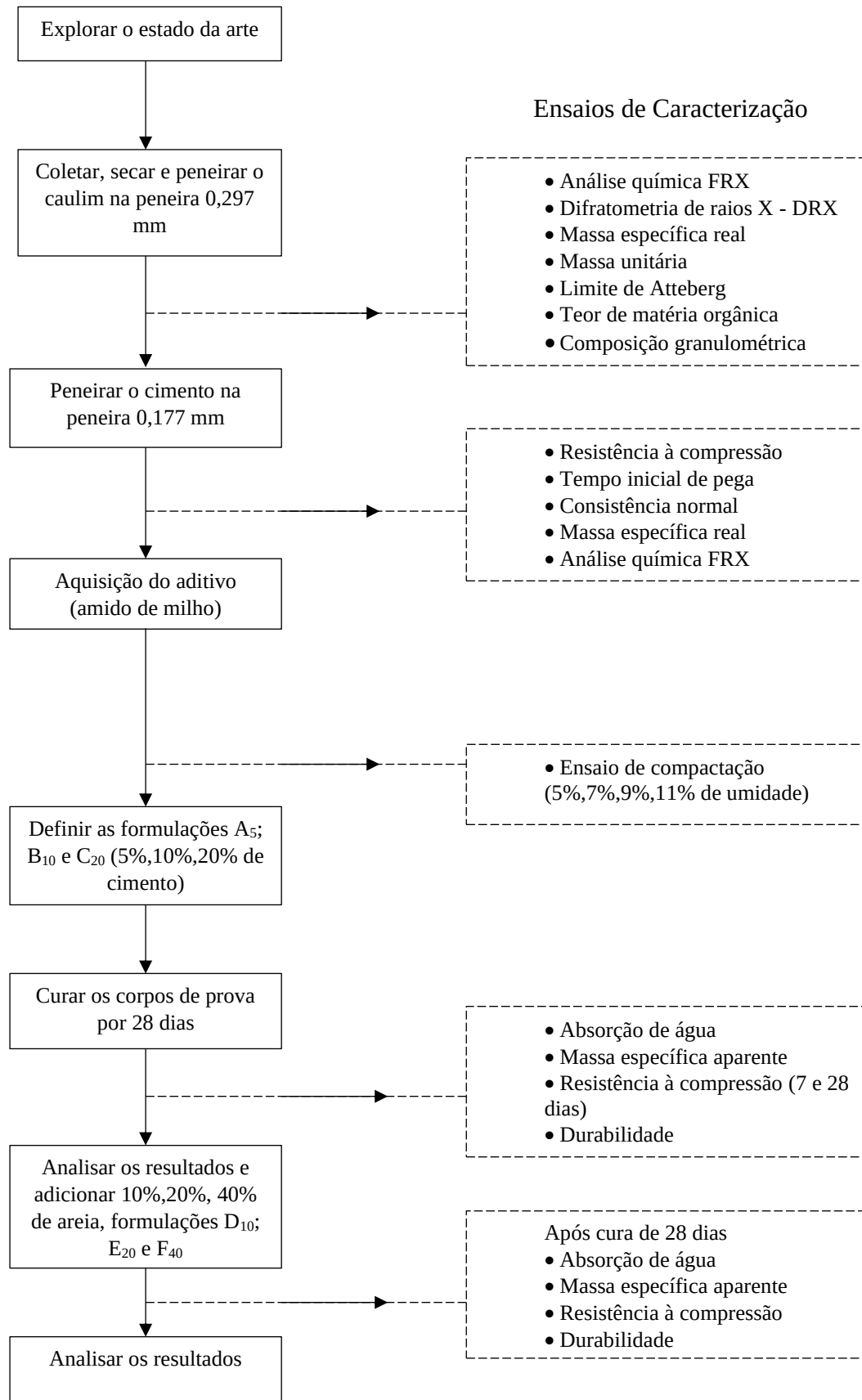


Figura 12 - Metodologia experimental (O autor, 2022).

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados (Figura 13), e os ensaios de caracterização que foram realizados nesta pesquisa são descritos a seguir:



Figura 13 - Materiais utilizados na produção dos corpos de prova (O autor, 2022).

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o CP II F – 32 (Cimento Portland Composto Fíler). Os ensaios de caracterização do cimento realizados são apresentados no Quadro 4:

Ensaio	Norma
Resistência à compressão	ABNT NBR 7215:2019
Consistência normal	ABNT NBR 16606:2018
Tempo de início de pega	ABNT NBR 16607:2018
Massa específica real	ASTM D 854-02:2002
Análise química FRX	-

Quadro 4 - Ensaio de caracterização do cimento (O autor, 2022).

3.1.2 Caulim

O caulim utilizado é proveniente do estado da Paraíba, foi seco em estufa e peneirado em peneira de abertura 0,297 mm. No Quadro 5 são apresentados os ensaios que foram realizados na caracterização do caulim.

Ensaio	Norma
Análise química FRX	-
Difratometria de raios X-DRX	-
Massa específica real	ASTM D 854-02:2002
Massa unitária	ABNT NBR 16972:2021
Limite de liquidez	ABNT NBR 6459:2017
Limite de Atterberg	ASTM D 4318:2017
Teor de matéria orgânica	ASTM D 2974:2020
Composição granulométrica	ABNT NBR 7181:2018

Quadro 5 - Ensaio de caracterização do caulim (O autor, 2022).

Para a caracterização das fases cristalinas, foi utilizada a difratometria de raios X de acordo com os padrões do banco de dados do ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*). O programa utilizado foi o *software Match*. Para a identificação dos padrões de difração, foi utilizado um equipamento Rigaku D-MAX 100 por meio de radiação Cu K α 1 ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$) em modo de varredura contínua, com intervalo regular de 5 a 70° em velocidade de varredura de 1°/ min. (CELIK, 2010).

3.1.3 Areia

A areia utilizada neste estudo foi proveniente do IFS – Campus Estância, foi utilizada a areia fina e média, pois são as mais utilizadas na produção de tijolos de solo cimento (REDDY; LAL; RAO, 2007). A areia foi seca em estufa, em seguida foi passada na peneira de 1,18 mm para a utilização na produção dos corpos de prova. Foram pesadas em balança digital com precisão de 0,01g, quantidades de 10%, 20% e 40% de areia na formulação de 20% de cimento, que atendeu melhor aos requisitos normativos. A areia foi submetida aos ensaios apresentados no Quadro 6:

Ensaio	Norma
Análise química FRX	-
Massa específica real	ASTM D 854-02:2002
Composição granulométrica	ABNT NBR 7181:2018
Massa unitária	ABNT NBR 16972:2021

Quadro 6 - Ensaio de caracterização da areia (O autor, 2022).

3.1.4 Água

A água que foi utilizada na confecção dos corpos de prova de solo cimento é proveniente do serviço público de distribuição de água potável do município de Estância – SE, fornecida pela empresa Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). A água potável é recomendada para a produção de tijolos de solo cimento (ABCP, 2000).

3.1.5 Aditivo

Um amido de milho da marca Maizena, foi utilizado nesta pesquisa como aditivo com o objetivo de melhorar a plasticidade do caulim para assim serem melhor conformados. Foi medido em massa com o auxílio de uma balança digital com precisão de 0,01 g e adicionado na mistura em uma proporção de 0,2%, calculado com base em um corpo de prova de 180 g para a produção de tijolos de solo cimento.

3.2 MÉTODOS

Os procedimentos de dosagem e confecção dos tijolos de solo cimento com caulim são apresentados a seguir.

3.2.1 Procedimento para preparação das formulações e conformação dos corpos de prova de tijolo de solo cimento

Inicialmente, foi realizado o ensaio de levantamento da curva de compactação Proctor com o caulim, utilizando norma ABNT NBR 12023:2012 – Solo-cimento – Ensaio de compactação. Primeiramente, foi pesado com o auxílio de uma balança digital da marca DIGIMET, modelo KN – 500, com precisão 0,01 g e 200 g de caulim. Foi adicionada com o auxílio de um borrifador a água na amostra referente a umidade desejada (5%, 7%, 9%, 11%). A amostra de 200 g, já com a umidade foi misturada e passada na peneira de 1,18 mm. Após esse procedimento, foi pesado corpos de prova de massa 7 g cada, de dimensões 20 mm de diâmetro e 9 mm espessura, formato cilíndricos e conformados em uma prensa manual de marca MARCON com uma carga de 1,5 ton. e determinada a densidade úmida. O procedimento foi repetido para cada porcentagem de umidade até a densidade diminuir, o que ocorreu com 11%

de umidade. Por fim foi determinada a densidade aparente seco pela equação (1) e plotado o gráfico da Figura 14. A umidade de conformação ideal do caulim obtida foi de 8%, o que corresponde a densidade aparente após secagem de 2,01 g/cm³.

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Onde:

d: densidade aparente seco (g/cm³);

m: massa do corpo de prova seco em estufa (g);

v: volume do corpo de prova (cm³).

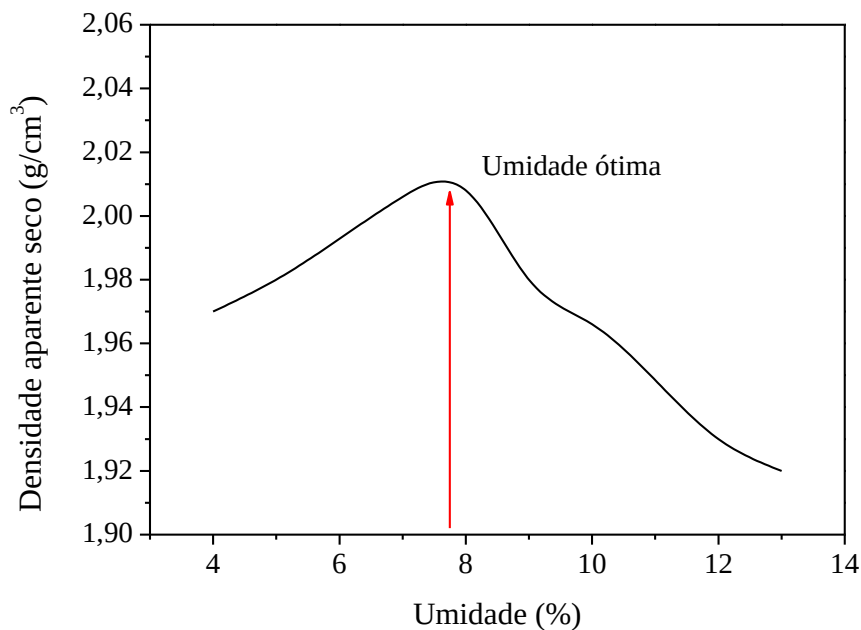


Figura 14 - Umidade ótima de compactação do caulim (O autor, 2022).

Após a determinação destes parâmetros, foram definidas as formulações apresentadas na Tabela 10. Foram elaboradas formulações mantendo-se o caulim como base e adicionado 5 %, 10 % e 20 % de cimento em substituição ao caulim os quais foram codificados em A₅, B₁₀, C₂₀. Em seguida a partir da formulação com 20% de cimento, foi adicionado 10%, 20% e 40% de areia em substituição ao caulim as quais foram codificadas em D₁₀, E₂₀, F₄₀. Foram então conformados corpos de prova cilíndricos 60 mm de diâmetro e 20 mm de espessura em prensa manual já mencionada com pressão de compactação de 20 MPa, o equivalente a 6 ton. na prensa

manual utilizada, a qual foi suficiente para produzir tijolos resistentes (UZOEGBO, 2016). Foi utilizado ainda 0,2% de amido de milho de marca MAIZENA, como aditivo conforme Tabela 10, testados previamente para melhorar a plasticidade. Os componentes utilizados (caulim, cimento e areia), foram devidamente peneirados em peneiras de abertura 0,297 mm, 0,177 mm e 1,18 mm, respectivamente. A mistura foi realizada de maneira manual com o auxílio de uma espátula e a água foi adicionada por meio de um borrifador. Por fim, a mistura foi peneirada em peneira de abertura 1,18 mm, separada em porções de 180g (Quadro 7) e prensadas.

Tabela 10 - Formulações de tijolos de solo cimento produzidas

Formulação	Cimento (%)	Caulim (%)	Areia (%)	Aditivo (%)	Água (%)
A ₅	5	95	-	0,2	8
B ₁₀	10	90	-	0,2	8
C ₂₀	20	80	-	0,2	8
D ₁₀	20	70	10	0,2	8
E ₂₀	20	60	20	0,2	8
F ₄₀	20	40	40	0,2	8

Fonte: O autor, 2022.

Ensaio tecnológico	Quant. corpos de prova	Peso 1 corpo de prova (g)
Resistência à compressão	4	180
Resistência à compressão (7 dias de cura) *	4	
Absorção de água	4	
Massa específica aparente		
Durabilidade		

*Apenas as formulações A₅ – C₂₀.

Quadro 7 – Corpos de prova produzidos por formulação (O autor, 2022).

A Figura 15, ilustra o processo de produção dos corpos de prova.



Figura 15 - Produção dos corpos de prova.

Legenda: a) Materiais após mistura; b) Mistura após passagem na peneira de 1,18 mm; c) Mistura dosada para cada corpo de prova; d) Prensagem; e) Corpo de prova após prensagem; f) Corpo de prova

Fonte: O autor, 2022.

3.2.2 Ensaios dos corpos de prova de solo cimento após cura aos 28 dias

Após a cura a sombra sem molhar, pois é o que apresenta a menor resistência (Ver Figura 8, p.29), sendo assim, essa cura foi adotada objetivando verificar se na pior situação a resistência mínima estabelecida por norma é atendida, por um período de 28 dias, foram separados 4 corpos de prova de cada formulação produzida para cada ensaio apresentado nos tópicos seguintes.

3.2.2.1 Ensaio de Absorção de água

Em relação a absorção de água, o ensaio seguiu as prescrições da ABNT NBR 15270 – 2:2017 - Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria, Parte 2: Métodos de ensaios. A norma citada define a Equação (2), para o cálculo da absorção de água.

$$AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

AA: absorção de água (%);

m_u : massa do corpo de prova úmido (g).

m_s : massa do corpo de prova seco em estufa (g);

A ABNT NBR 15270-2:2017, apresenta duas técnicas para a obtenção do valor da massa do corpo de prova úmido, uma é deixar os corpos de prova imerso em água em temperatura ambiente, por um período de 24 h e a outra é deixar os corpos de prova imerso em água em ebulição, por um período de 2h. A segunda técnica mencionada foi utilizada neste estudo, devido ser uma técnica mais rápida e chegar nos mesmos resultados.

Foram separados 4 corpos de prova, após 28 dias de cura, colocados em estufa por um período de 24 h, em seguida os corpos de prova foram colocados no dessecador (Figura 16a). A etapa seguinte consistiu em obter a massa do corpo de prova seco em estufa, com o auxílio de uma balança digital com precisão de 0,01 g e colocar os corpos de prova em um balde metálico onde foi fervido a água com o auxílio de um ebulidor por um período de 2h (Figura 16b). Após esse período, os corpos de prova foram esfriados colocando-se aos poucos água em temperatura ambiente, em seguida foi tirado o excesso de água de cada corpo de prova (Figura 16c) e por fim a obtenção da massa do corpo de prova úmido (Figura 16d)



Figura 16 - Etapas do ensaio de absorção de água.

Legenda: a) Corpos de prova no dessecador; b) Corpos de prova submerso em água em ebulição; c) Retirada do excesso de água; d) Obtenção da massa do corpo de prova úmido

Fonte: O autor, 2022.

3.2.2.2 Ensaio de Massa específica aparente seca

Os corpos de prova usados no ensaio de absorção de água, foram também usados neste ensaio de acordo com ABNT NBR 16917:2021. Nas Figuras 16 e 17, são apresentadas fotos do ensaio. Os resultados foram calculados por meio da Equação (3).

$$Mea = \frac{m_s}{(m_U - m_I)} \quad (3)$$

Onde:

Mea: massa específica aparente seca(g/cm³);

m_s: massa do corpo de prova seco em estufa (g);

m_U: massa do corpo de prova na condição saturada superfície seca (g);

m_I: massa do corpo de prova submerso em água na condição saturada superfície seca (g).



Figura 17 - Obtenção da massa do corpo de prova submerso (O autor, 2022).

3.2.2.3 Resistência à compressão após 7 e 28 dias de cura

Foram separados 4 corpos de prova de cada formulação, os quais foram submetidos a ruptura em prensa hidráulica Pavitest HD-200T da marca Contenco (Figura 18). A Equação (4), foi utilizada no cálculo da resistência. O ensaio seguiu a norma ABNT NBR 8492:2012 – Tijolo de solo cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água: Método de ensaio.

$$R = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Onde:

R: resistência à compressão (MPa);

F: carga aplicada (N);

A: área transversal do corpo de prova (mm²).



Figura 18 - Rompimento do corpo de prova (O autor, 2022).

3.2.2.4 Ensaio de durabilidade

O procedimento utilizado para se determinar a durabilidade consistiu basicamente em pesar 4 corpos de prova de cada formulação, em seguida foram imergidos em água por um período de 5h (Figura 19). Após foi tirado o excesso de água com um pano e colocados em estufa. Após um período de 24h, os corpos de prova foram retirados da estufa, escovados com o auxílio de uma escova com cerdas em aço, pesados e por último foram imergidos em água durante um período de 5h. O procedimento foi repetido até completar cinco ciclos de molhagem e secagem, adaptando a norma ABNT NBR 13554:2012 – Solo cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem – Método de ensaio, que adota seis ciclos. Após o ensaio, foi calculado a perda de massa dos corpos de prova como determina a ABNT NBR 13554:2012, além disso foi determinada a resistência à compressão, a fim de compará-lo com o resultado obtido antes do procedimento, com isso foi verificado o efeito do ensaio nessa propriedade. Para o cálculo da perda de massa foi utilizada a Equação 6.

$$P_m = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

P_m : perda de massa dos corpos de prova (%);

m_i : massa inicial do corpo de prova (g);

m_f : massa seca final dos corpos de prova (g).

Os corpos de prova analisados foram submetidos a ensaio de resistência a compressão conforme descrito em 3.2.3.3.



Figura 19 - Corpos de prova imersos em água (O autor, 2022).

3.2.3 Tratamento e análise dos dados

Os resultados dos ensaios em laboratório foram analisados por meio do método estatístico ONE WAY ANOVA, cuja técnica consiste na análise de variância entre os grupos de resultados, com significância de 95% ($p < 0,05$). A análise de variância busca comparar a variação resultante de fontes específicas com a variação entre indivíduos que deveriam ser semelhantes. Em particular, a ANOVA testa se várias populações têm a mesma média, comparando a diferença entre as médias das amostras com a variação que existe dentro das amostras. Para esta pesquisa, o aplicativo utilizado foi o programa Microsoft Excel 2019, que foi responsável por determinar os valores (p-valor) entre os resultados nas diferentes condições das amostras (WALPOLE *et al.*, 2009). Também foi avaliado se existe diferença significativa entre as formulações estudadas através do teste de Tukey, utilizando o programa *Paleontological Statistics* (PAST).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir de ensaios de caracterização, tanto das matérias primas utilizadas na produção dos tijolos de solo cimento com caulim, como dos corpos de prova produzidos, serão apresentadas nos tópicos seguintes.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

Nos tópicos que seguem, serão apresentados, os resultados dos ensaios das matérias primas caracterizadas.

4.1.1 Cimento

Na Tabela 11, são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização, para o cimento Portland CP II F – 32. O valor do tempo de início de pega, atende ao mínimo estabelecido pela ABNT NBR 16697:2018, já em relação aos valores de resistência à compressão aos 3 e 7 dias de cura, foram inferiores aos requisitos mínimos. O cimento utilizado na pesquisa, era um cimento envelhecido, o que pode explicar a resistência ser inferior a recomendada por norma. A consistência normal e a massa específica real foram similares a outros trabalhos (SOARES, 2021; PIRES *et al.*, 2021; FREITAS, 2022).

Com relação a composição mineralógica o cimento anidro é formado principalmente pelas fases silicáticas, alita e larnita (NOBRE *et al.*, 2022).

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de caracterização do cimento

Ensaio	Unidade	Resultado	Requisitos normativos
Análise química FRX	-	Tabela 12	
Consistência normal	%	31	-
Tempo de início de pega	min	160	≥ 60
Massa específica real	g/cm ³	2,91	-
RC- 3 dias	MPa	6,57	≥10
RC- 7 dias	MPa	16,47	≥ 20,0

Legenda: RC- Resistência a compressão (MPa)

Fonte: O autor (2022).

De acordo com a análise química do cimento Portland utilizado neste estudo (Tabela 12), o cimento é composto majoritariamente por CaO, responsável pela formação das fases cristalinas, seguido de SiO₂, Fe₂O₃, SO₂, K₂O e TiO₂, semelhante ao encontrado por outros autores (MATTANA; PEREIRA; COSTA, 2013; ROMANO *et al.*, 2016; ANJOS *et al.*, 2016; SOUZA, MEDEIROS; HOPPE FILHO, 2018; BORGES; NETO; MENDONÇA, 2021).

Tabela 12 - Análise química do cimento

Composto químico	(%)
SiO ₂	8,60
CaO	81,20
Fe ₂ O ₃	5,30
K ₂ O	1,40
TiO ₂	0,36
SO ₂	2,30
Total	100,00

Fonte: O autor (2022).

4.1.2 Caulim

Na Tabela 13, são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização do caulim.

De acordo com o índice de plasticidade (IP), o valor encontrado é baixo (4,97%), inferior ao valor preconizado pela ABCP (2000) que é $\leq 18\%$, e muito abaixo dos índices de plasticidade de solos normalmente utilizados na conformação de tijolos de solo cimento (LIMA, 2010; SEGANTINI; WADA, 2010; ZAK *et al.*, 2016; SILVA, 2019; VILELA *et al.*, 2020). Assim foi utilizado como aditivo, o amido de milho, para corrigir a plasticidade.

O valor encontrado para a matéria orgânica foi de 0,6 % (Tabela 13), esse resultado é semelhante ao encontrado por Hany *et al.*, (2021). É preferível que o teor de matéria orgânica seja menor que 1%, pois tal composição afeta negativamente a estabilização do solo (ABCP, 2000). Portanto, conclui-se que o teor de matéria orgânica encontrado para o caulim, está de acordo com o recomendado pela literatura. Já os resultados de massa unitária e massa específica real obtidos são similares a outros trabalhos (SIMÕES; ANONI; ANDRADE; TRIGO, 2022; ARRUDA JÚNIOR; BARATA, 2022; BATISTA *et al.*, 2022).

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de caracterização do caulim

Ensaio	Unidade	Resultado
Análise química FRX	(%)	Tabela 14
Difratometria de raios X-DRX	(%)	Figura 16
Massa específica real	g/cm ³	2,61
Massa unitária no estado Solto	g/cm ³	0,829
Massa Unitária Compactado	g/cm ³	0,989
Limite de liquidez	(%)	33
Limite de Plasticidade	(%)	28,03
Índice de Plasticidade	(%)	4,97
Teor de matéria orgânica	(%)	0,6
Composição granulométrica		Figura 17

Fonte: O autor (2022).

Para a caracterização e quantificação das fases cristalinas, foi utilizada a difratometria de raios X de acordo com os padrões do banco de dados do ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*). O programa utilizado foi o *software Match*. Para a identificação dos padrões de difração, foi utilizado um equipamento Rigaku D-MAX 100 por meio de radiação Cu K α 1 ($\lambda=1,5418$ Å) em modo de varredura contínua, com intervalo regular de 5 a 70° em velocidade de varredura de 1°/ min. (CELIK, 2010).

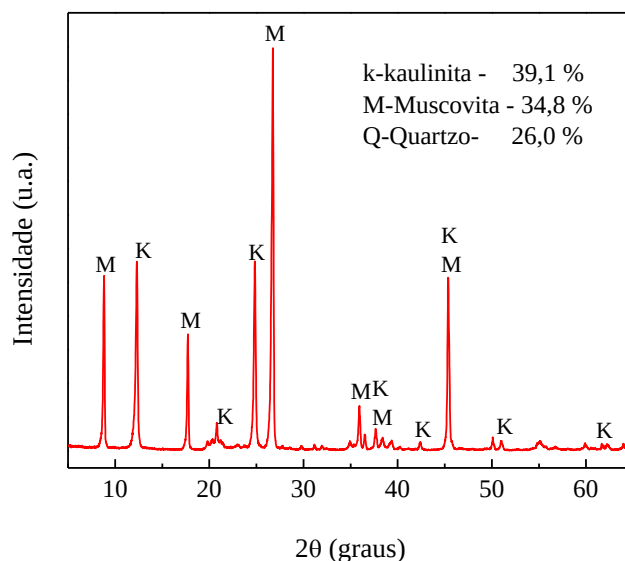


Figura 20 - Composição mineralógica do caulim (O autor, 2022).

A partir do resultado apresentado na Figura 20, pode-se dizer que o caulim utilizado neste estudo é formado por 39,1 % de caulinita, 34,8% de muscovita e 26,0% de quartzo similar a outros trabalhos (WILSON; SANTOS; SANTOS, 1998). Deve-se ficar atento a presença de montmorilonita na argila, pois teores acima de 3 %, torna a argila muito plástica podendo ocasionar a formação de trincas no processo de secagem (MATOS NETO, 2013).

Foi realizado a análise química do caulim, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 14:

Tabela 14 - Análise química do caulim

Composto químico	(%)
SiO ₂	55,10
Al ₂ O ₃	27,00
Fe ₂ O ₃	2,90
K ₂ O	13,80
Total	100

Fonte: O autor (2022).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 14, o caulim é composto em grande parte por sílica (SiO₂), que se estiver presente na forma de quartzo livre, diminui a plasticidade do solo prejudicando a compactação, seguido de óxido de alumínio e óxido de potássio proveniente da muscovita conforme Mota *et al.* (2006), Anjos (2011) e Rezende *et al.* (2008), apresentados na Tabela 2.

4.1.3 Areia

Na Tabela 15, são apresentados os resultados de caracterização, para a areia. Pode-se observar que a massa específica real e a massa unitária, os resultados são semelhantes aos encontrados por outros autores (SIMÕES; ANONI; ANDRADE; TRIGO, 2022; FAQUIM, 2021; BATISTA *et al.*, 2022).

Tabela 15 - Resultados dos ensaios de caracterização da areia

Ensaio	Unidade	Resultado
Análise química FRX	(%)	Tabela 16
Massa específica real	g/cm ³	2,65
Composição granulométrica		Figura 17
Massa unitária no estado solto	g/cm ³	1,52
Massa unitária no estado compactado	g/cm ³	1,62

Fonte: O autor (2022).

Na Figura 21 é apresentada as composições granulométricas do caulim e areia

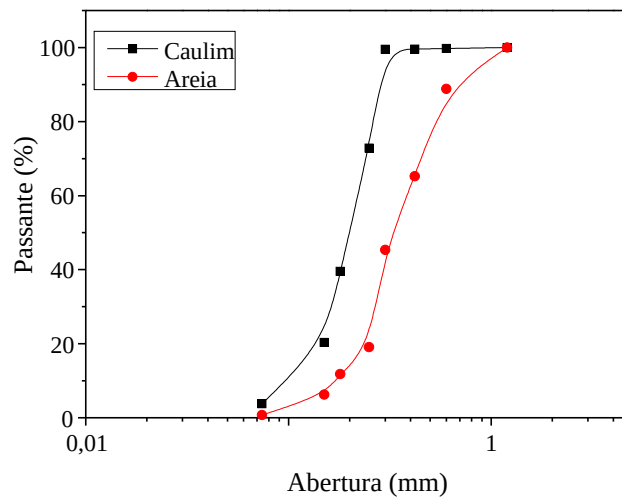


Figura 21 - Curvas granulométricas do caulim e da areia (O autor, 2022).

Segundo a ABCP (2000) e a ABNT NBR 10833:2013, os solos recomendados para a conformação de tijolos solo cimento, se caracterizam por ter 100% passando na peneira de 4,8 mm e de 10% a 50%, passando na peneira de 0,075 mm.

Na abertura 4,8 e 0,074mm tanto o caulim como areia passaram 100%. Portanto o solo ficou mais fino que o normal antes da granulação para compactação. (OLIVEIRA *et al.*, 2022; RODRIGUES *et al.*, 2022).

Com relação ao coeficiente de curvatura (C_c), dada pela Equação (7).

$$C_c = D_{30}^2 / D_{60} \cdot D_{10} \quad (7)$$

E o coeficiente de uniformidade (C_u), dada pela Equação (8).

$$C_u = D_{60}/D_{10} \quad (8)$$

Em que os valores de D_{60} , D_{30} e D_{10} , são referentes a abertura em que passam respectivamente 60 %, 30 % e 10 % do material analisado.

Os solos são classificados como uniformes ($C_u < 5$), desuniformes ($C_u > 15$) e mediamente uniformes ($5 < C_u < 15$). Ainda pode ser classificado em relação a descontinuidade granulométrica, ou seja, pode ser classificado como bem graduado ($1 < C_c < 3$) e mal graduado ($C_c < 1$; $C_c > 3$) (CAPUTO, 1988).

Considerando a classificação apresentada, os valores encontrados para o coeficiente de uniformidade (C_u) e coeficiente de curvatura (C_c) foram: Caulim ($C_u = 2,3$; $C_c = 1,26$) e Areia ($C_u = 2,11$; $C_c = 1,15$), o que classifica ambos os solos como sendo solo uniforme bem graduado. Para a areia a dimensão máxima característica (DMC) foi de 1,2 mm e o módulo de finura (MF) foi de 1,60, o que a classifica como sendo uma areia fina. Quanto mais fino um solo é, maior é a área a ser envolvida pelo aglomerante, solos bem graduados contribuem para a economia de cimento, além disso os grãos do solo são mais bem acomodados, pois os espaços vazios entre os grãos maiores, são preenchidos pelos grãos menores (ANJOS, 2011).

A partir da Tabela 16, pode-se observar que, a areia é composta principalmente de sílica (SiO_2), semelhante ao encontrado por outros autores (VIEIRA *et al.*, 2006; QUEIROZ; MONTEIRO; VIEIRA, 2010; SOUZA *et al.*, 2014).

Tabela 16 - Análise química da areia

Composto químico	(%)
CaO	1,17
SiO ₂	97,87
Al ₂ O ₃	0,17
Fe ₂ O ₃	0,29
SO ₃	0,17
MgO	0,30
K ₂ O	0,03
Total	100

Fonte: O autor (2022).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE SOLO CIMENTO COM CAULIM APÓS CURA DE 7 E 28 DIAS

Nos próximos tópicos, os resultados da caracterização dos corpos de prova de solo cimento com caulim após cura a sombra sem molhar com duração de 7 e 28 dias, serão apresentados e analisados.

4.2.1 Resistência mecânica e absorção de água

Na Figura 22, são apresentados os resultados de resistência à compressão após 7 e 28 dias de cura ao ar. Pode-se observar que todas as formulações os valores apresentados atingiram o mínimo estabelecido por norma (min 2 MPa aos 7 dias de cura). A norma ainda preconiza que os valores de resistência individuais não devem ser inferiores a 1,7 MPa. Adicionalmente, pode-se observar aumento de 100% na resistência à compressão com o aumento do teor de cimento de 5% (7MPa) para 20% (14MPa), após 28 dias de cura, resultados semelhantes ao encontrado por (SOUZA *et al*, 2021).

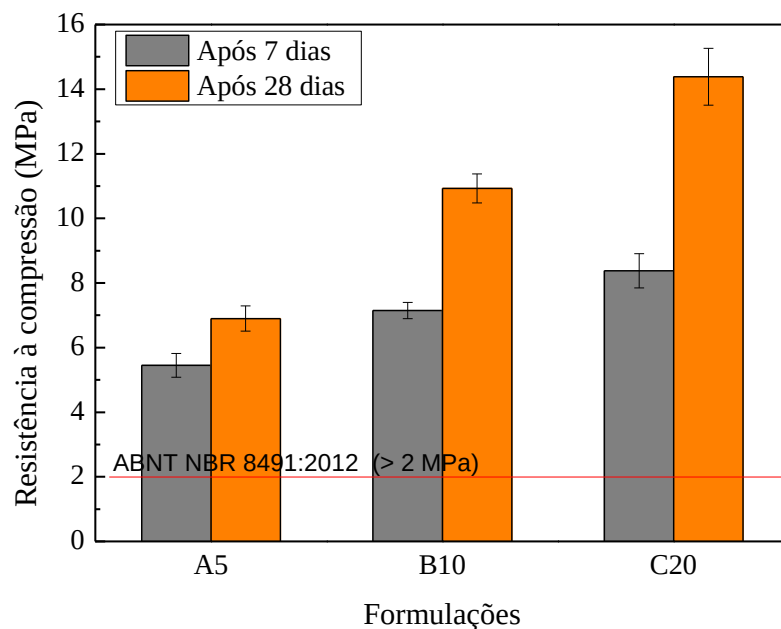


Figura 22 - Resistência à compressão após 7 e 28 dias (O autor, 2022).

Na Figura 23, são apresentados os resultados médios da resistência à compressão e absorção de água, obtidos em ensaios após 28 dias de cura.

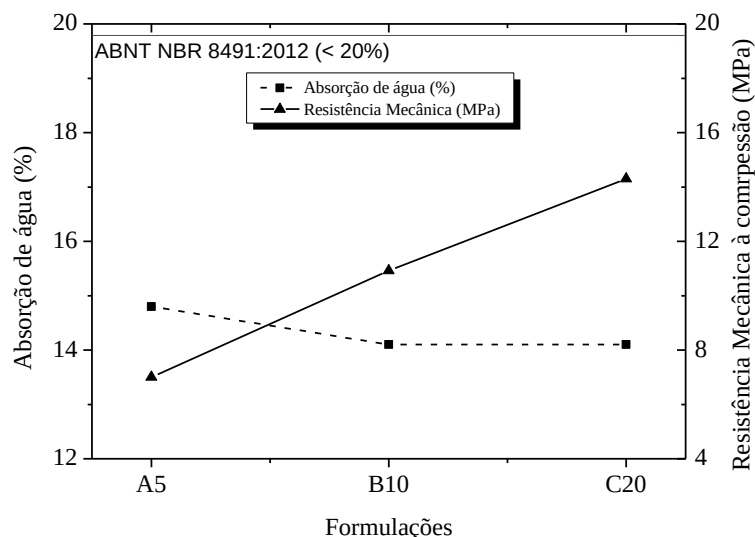


Figura 23 - Resultados da absorção de água e resistência à compressão dos corpos de prova de solo cimento com caulim após 28 dias de cura (O autor, 2022).

Tabela 17 - Resultado do teste ANOVA 1

Propriedade	$f_{\text{crítico}}$	F	Valor - p
Resistência à compressão	4,25	147,54	$1,32 \cdot 10^{-7}$
Absorção de água	4,25	2,85	0,109565

Fonte: O autor (2022).

Na Tabela 17, é apresentada o resultado do teste ANOVA para a resistência à compressão e absorção de água. Os resultados foram também analisados por meio do teste de Tukey, onde notou-se diferença significativa entre as médias da resistência à compressão, já a absorção de água não apresentou diferença significativa. Como já comentado, à medida que se acrescentou cimento de 5% (A₅) a 20% (C₂₀) a resistência aumentou de 7 MPa para 14 MPa, ou seja, um aumento de 100%, estando de acordo com resultados encontrados por Moura *et al.*, (2021). O resultado pode ser explicado devido ao cimento ser responsável por promover um aumento da resistência mecânica da mistura utilizada na preparação dos corpos de prova (AMARAL, 2014). Ou seja, o cimento possui partículas finas constituída por fases cristalinas como o silicato tricálcico (C3S) que é o responsável pela resistência da pasta nos primeiros dias (TIBONI, 2007). Além disso, o maior ganho de resistência foi após 28 dias de cura, após 7 dias a resistência ficou na faixa de 5 – 8 MPa e após 28 dias na faixa de 7-14 MPa.

Em relação a absorção de água a média dos valores não deve ser maior do que 20%, nem individualmente superior a 22% (ABNT NBR 8491:2012). A absorção de água dos corpos de prova de solo cimento com caulim, ficou na faixa de 14% a 15%, semelhante ao encontrado por outros autores (LEONEL *et al.*, 2017; FRANÇA *et al.*, 2018; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

4.2.2 Durabilidade

Na Figura 24, é apresentado os resultados dos ensaios de durabilidade após 28 dias de cura para as três formulações (A₅, B₁₀, C₂₀) e resistência à compressão após os ciclos do ensaio de durabilidade.

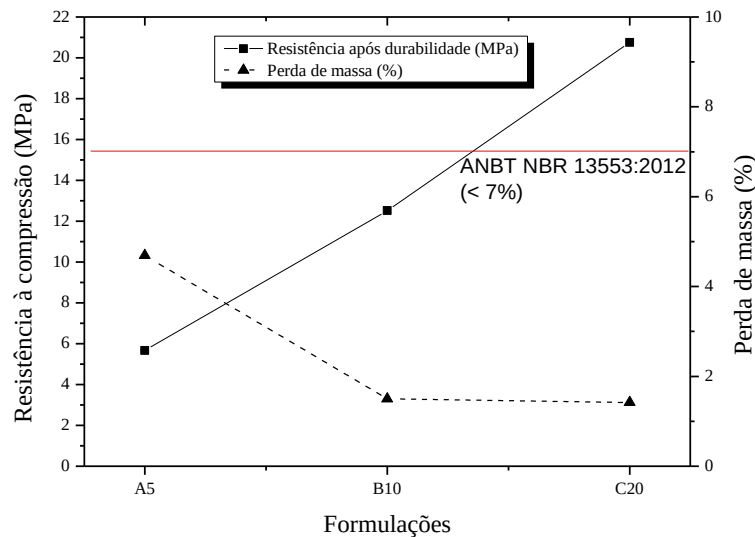


Figura 24 - Resistência após durabilidade x perda de massa (O autor, 2022).

Na Tabela 18, é apresentada o resultado do teste ANOVA para a resistência à compressão após a durabilidade e perda de massa.

Tabela 18 - Resultado do teste ANOVA 2

Propriedade	$f_{\text{crítico}}$	F	Valor - p
Resistência após durabilidade	4,25	480,88	$7,11 \cdot 10^{-10}$
Perda de massa	4,25	40,08	$3,3 \cdot 10^{-5}$

Fonte: O autor (2022).

A partir da análise do teste de Tukey, foi observado, que houve diferença significativa nas médias da resistência à compressão após 28 dias de cura nas formulações B₁₀ e C₂₀ em relação

a A₅. Também houve diferença significativa entre a formulação C₂₀ e B₁₀. Para a perda de massa, pelo teste de Tukey, também foi observado diferença significativa para as formulações B₁₀ e C₂₀ em relação a formulação A₅. Não foi encontrado diferença significativa entre as formulações B₁₀ e C₂₀.

De acordo com a Figura 24, em relação a perda de massa, os corpos de prova de solo cimento com 5% de cimento (A₅), apresentaram perda de massa de 5% e a partir de 10% de cimento (B₁₀), apresentaram perda de massa de 1%, ou seja, uma redução de 80%. Esses valores, estão de acordo com os prescritos na norma ABNT NBR 13553:2012, que determina valores máximos de perda de massa, para diversos solos, sendo que o menor limite de perda de massa é 7% e o maior limite é de 14%.

Apesar dos valores mencionados na norma ser após 6 ciclos, e os realizados nesse estudo 5 ciclos, devido ao período disponível de acesso ao laboratório, os valores encontrados, estão distantes dos máximos normativos. Com o aumento da porcentagem de cimento de 5% para 10%, é possível concluir que houve uma melhora da durabilidade dos corpos de prova e acima de 10% foi observado uma estabilidade.

Após os cinco ciclos do ensaio de durabilidade, realizados neste estudo, os 4 corpos de prova ensaiados de cada formulação, foram rompidos, a fim de se determinar a resistência à compressão após durabilidade. De acordo com a Figura 20, os corpos de prova de solo cimento com 5% de cimento (A₅), apresentaram resistência à compressão de 6 MPa após ensaio de durabilidade, com 10% de cimento apresentou resistência de 12 MPa, ou seja, aumento de 100%. Já os corpos de prova com 20% de cimento (C₂₀), apresentaram resistência de 21 MPa, em comparação com a formulação A₅, houve um aumento de 250%. Esses resultados apresentam um aumento considerável da resistência à compressão com a melhora da durabilidade a partir de 10% de cimento, ou seja, a formulação B₁₀.

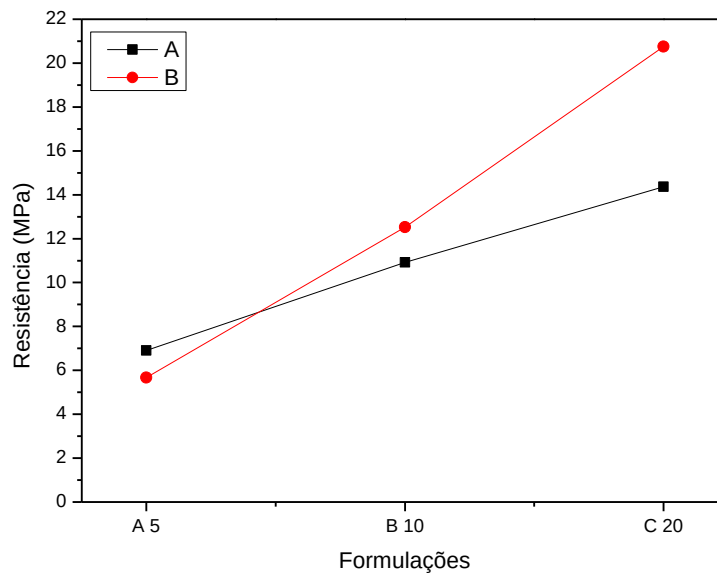


Figura 25 - Resistência à compressão após cura X após ensaio de durabilidade.

Legenda: A: Resistência à compressão após 28 dias de cura; B: Resistência à compressão após ensaio de durabilidade.

Fonte: O autor, 2022.

Tabela 19 – Resultados do teste ANOVA 3

Propriedade	$f_{\text{crítico}}$	F	Valor - p
Resistência após 28 dias de cura e após ensaio de durabilidade	2,77	280,368	$2,05 \times 10^{-16}$

Fonte: O autor (2022).

A função dos estabilizadores, que no caso desta pesquisa é o cimento Portland é melhorar a durabilidade e resistência para possibilitar o uso na construção civil por meio da formação de produtos cimentícios que preenchem os poros, melhorando essas propriedades (NAGARAJ *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2021), isso explica o aumento da resistência e a melhora da durabilidade com o aumento da quantidade de cimento neste estudo. Os valores de resistência à compressão, em geral, também apresentaram um aumento em relação aos valores de resistência encontrados antes do ensaio de durabilidade (Figura 25). Os resultados foram analisados através do teste ANOVA (Tabela 19) e através do teste de Tukey, onde foi apresentado diferença significativa entre os resultados antes e depois do ensaio de durabilidade para as formulações B₁₀ e C₂₀, não apresentando diferença significativa para a formulação A₅. O aumento da resistência à compressão após os ciclos do ensaio de durabilidade, podem ser

explicados, devido a melhor hidratação do cimento no processo de molhagem e secagem durante o ensaio (FRANÇA *et al.*, 2018). Outro fator que pode contribuir com esse aumento, é a exposição a estufa durante os ciclos de molhagem e secagem do ensaio. A aceleração da irradiação solar nos corpos de prova, simulado pela estufa, pode ter contribuído para a aceleração de reações pozolânicas, que normalmente acontecem mais tarde. O hidróxido de cálcio, resultante da hidratação do cimento reage com a sílica desorganizada e a alumina presente no solo, formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e aluminato de cálcio hidratado (C-A-H), que são compostos cimentícios mais estável quimicamente e mecanicamente mais resistente que o hidróxido de cálcio e sendo responsável pelo ganho de resistência no solo cimento (SOUZA *et al.*, 2021).

4.2.3 Massa específica

Na Figura 26, é apresentada os resultados do ensaio de massa específica dos corpos de prova com 5%, 10%, 20% (A₅, B₁₀, C₂₀) de cimento, respectivamente.

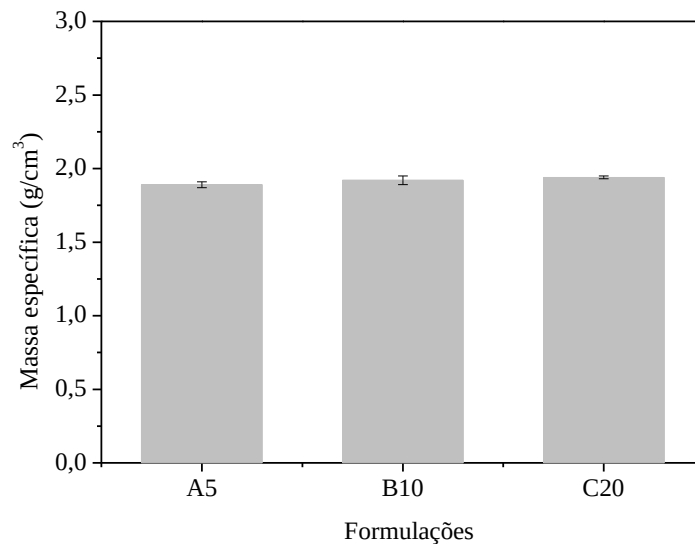


Figura 26 - Resultados da massa específica (O autor, 2022).

Em cada formulação, os resultados, foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA), para a massa específica ($F = 6,95$; $f_{\text{crítico}} = 4,25$ e valor- $p = 0,014907$). Também foi feita uma análise pelo teste de Tukey. Percebe-se na Figura 26, uma estabilidade da massa específica em relação as demais formulações com a incorporação do cimento. Os resultados de

massa específica são semelhantes ao encontrado por Rodrigues e Holanda (2013), que em seu estudo sobre a influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água nas propriedades tecnológicas do tijolo de solo cimento, os autores encontraram valores de massa específica de 1,90 g/cm³ a 1,95 g/cm³. Valores de massa específica aparente próximos desses resultados também foram encontrados por outros autores (KONGKAJUN *et al.*, 2020; SIQUEIRA; HOLANDA, 2013; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

4.3 RESULTADOS DOS CORPOS DE PROVA COM A INCORPORAÇÃO DE AREIA

A partir dos resultados encontrados anteriormente, as formulações estudadas A₅, B₁₀ e C₂₀ (5%, 10% e 20% de cimento), atenderam aos requisitos de norma com base nos ensaios realizados. Portanto, na segunda fase deste estudo, foram adicionados 10%, 20% e 40% de areia, formulações D₁₀, E₂₀ e F₄₀ respectivamente, em substituição ao caulim em peso, na formulação C₂₀. Foram produzidos 24 corpos de prova cilíndricos (60 mm x 20mm), sendo 8 de cada formulação, utilizado a mesma técnica utilizada na produção dos corpos de prova sem areia. Os ensaios realizados foram repetidos, agora para os corpos de prova com areia.

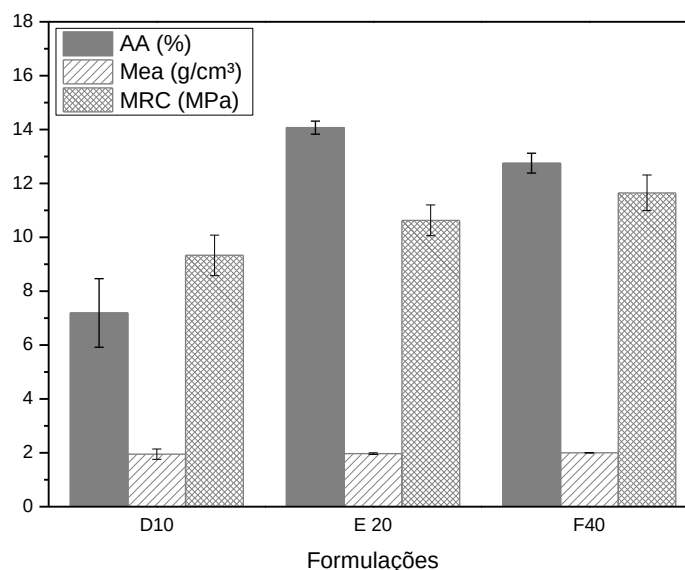
4.3.1 Resistência à compressão, massa específica aparente e absorção de água

Na Figura 27, é apresentada uma comparação entre a resistência à compressão, massa específica aparente e absorção de água, após 28 dias de cura a sombra sem molhar. Na Tabela 20, é apresentada os resultados do teste ANOVA, para as propriedades analisadas.

Tabela 20 - Resultados do teste ANOVA 4

Propriedade	f _{crítico}	F	Valor - p
AA	4,45	93,05	2,89 x 10 ⁻⁶
Mea	4,45	0,24	0,786619
MRC	4,25	12,38	0,002601

Fonte: O autor (2022).



Legenda: AA-absorção de água; Mea – massa específica aparente; MRC- módulo de ruptura à compressão.

Figura 27 - Resistência à compressão, massa específica aparente e absorção de água das formulações com areia (O autor, 2022).

Os resultados também foram analisados pelo teste de Tukey, para a resistência à compressão, a formulação F₄₀ (40% de areia), apresentou diferença significativa em relação a formulação D₁₀ (10% de areia). Com a incorporação de 30% de areia, o MRC, saiu de 9 MPa (D₁₀) para 12 MPa (F₄₀) (Figura 27), um aumento de 33,33%. Já em comparação a formulação E₂₀ (20% de areia), não houve diferença significativa. Entre as formulações D₁₀ e E₂₀, não houve diferença significativa para a resistência à compressão. Os resultados encontrados para a resistência à compressão, foram maiores em relação aos encontrados por outros autores para outros tipos de tijolos de solo cimento (AMARAL *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2021; RODRIGUES; HOLANDA, 2013; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

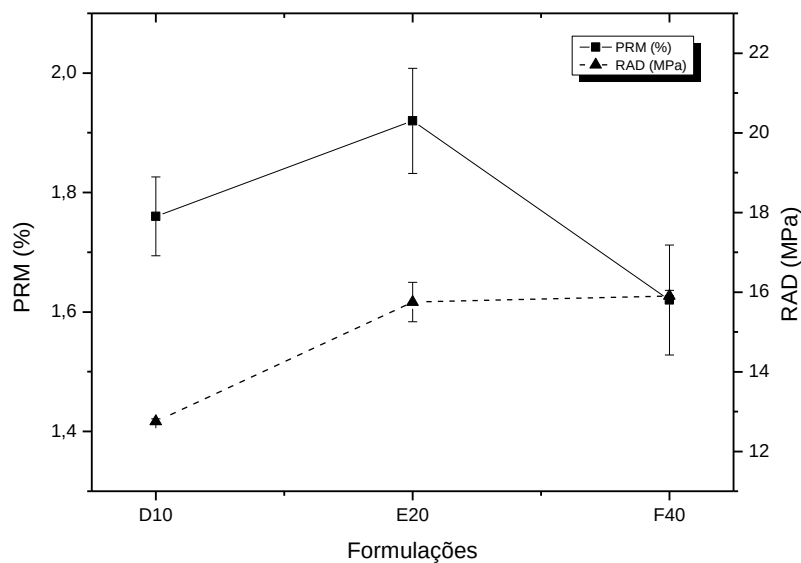
A análise do teste de Tukey para a absorção de água indicou que houve diferença significativa para a formulação E₂₀ (20% de areia) em comparação com a formulação D₁₀ (10% de areia). A formulação D₁₀, apresentou absorção de água de 7%, enquanto a formulação E₂₀ apresentou 14% (Figura 27), ou seja, um aumento de 100% com a incorporação de 10% de areia. A formulação E₂₀ em comparação com a formulação F₄₀ (40% de areia), não houve diferença significativa. A formulação F₄₀, apresentou diferença significativa em comparação com a formulação D₁₀. Enquanto a formulação D₁₀, apresentou absorção de água de 7%, a formulação

F₄₀ apresentou 13% (Figura 27), ou seja, um aumento de 85,71 % com a incorporação de 30% de areia. Com isso pode-se concluir que todas as formulações com areia estudadas atendem a norma que recomenda absorção de água máximo de 20% (ABNR NBR 8491:2012), sendo o acréscimo de 10% de areia (D₁₀) o que apresentou o melhor resultado de absorção de água (7%). Os resultados encontrados de absorção de água, foram menores aos encontrados por outros autores (JORDAN *et al.*, 2019; SIQUEIRA; HOLANDA, 2013; RODRIGUES; HOLANDA, 2013; VILELA *et al.*, 2020).

Para a massa específica aparente, o teste de Tukey, não apresentou diferença significativa entre as formulações estudadas, o que pode indicar, que a areia não influencia nesta propriedade para tijolo de solo cimento com caulim. A massa específica aparente encontrada foi semelhante aos encontrados por outros autores (AMARAL *et al.*, 2013; RODRIGUES; HOLANDA, 2013; SIQUEIRA; HOLANDA; 2013; SIQUEIRA *et al.*, 2016; KONGKAJUN *et al.*, 2020; VILELA *et al.*, 2020).

4.3.2 Durabilidade

Na Figura 28, é apresentada uma comparação da perda de massa (%) e a resistência à compressão (MPa) dos corpos de prova analisados.



Legenda: PRM – perda de massa; RAD – resistência à compressão após durabilidade.

Figura 28 - Perda de massa e resistência após ensaio de durabilidade das formulações com areia (O autor, 2022).

Tabela 21 - Resultados do teste ANOVA 5

Propriedade	$f_{\text{crítico}}$	F	Valor-p
Perda de massa (%)	4,45	12,61	0,003357
RCD (MPa)	9,55	70,16	0,003028

Legenda: RCD – resistência a compressão após ensaio de durabilidade

Fonte: O autor (2022).

Na Tabela 21, é apresentada a análise através do teste ANOVA, os resultados dos ensaios de durabilidade e resistência à compressão após o ensaio de durabilidade, também foram analisados através do teste de Tukey. Para a perda de massa houve diferença significativa para a formulação F₄₀ (40% de areia) em comparação a formulação E₂₀ (20% de areia). A perda de massa (PRM) para a formulação E₂₀ foi de 1,9 %, enquanto a formulação F₄₀ apresentou perda de massa de 1,6% (Figura 28), ou seja, uma redução de 15,78%, com o acréscimo de 20% de areia. Entre a formulação F₄₀ e D₁₀ (10% de areia), não houve diferença significativa, assim como entre as formulações D₁₀ e E₂₀. Os resultados encontrados para a perda de massa, estão de acordo com o que prescreve a norma, perda de massa máximo na faixa de 7-14% (ABNT NBR 13553:2012). Para a resistência à compressão após durabilidade (RAD), houve diferença significativa para a formulação E₂₀ em comparação com a formulação D₁₀. A formulação D₁₀, apresentou RAD de 13 MPa, já a formulação E₂₀ apresentou RAD de 16 MPa, ou seja, um aumento de 23,07% com o acréscimo de 10 % de areia. A formulação E₂₀, não apresenta diferença significativa em comparação F₄₀, apresentando assim estabilidade em relação ao RAD com o dobro da quantidade de areia.

Foi observado também um aumento da resistência à compressão após os 5 ciclos do ensaio de durabilidade, em comparação com os corpos de prova testados que não passaram pelo ensaio de durabilidade, semelhante ao encontrado para as formulações sem areia. Esse resultado pode ser explicado devido aos motivos já mencionados na seção 4.2.2, com base em outros autores (FRANÇA *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão abordadas as principais conclusões obtidas neste trabalho, após análise dos resultados de diversos ensaios para caracterização dos corpos de prova dos tijolos de solo cimento com caulim, bem como, sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

O objetivo geral da pesquisa foi produzir tijolos de solo cimento com caulim, bem como, avaliar se atendem aos requisitos normativos em relação aos tijolos de solo cimento e a influência da areia nestas propriedades.

As caracterizações dos materiais utilizados para a produção dos corpos de prova de solo cimento com caulim, sem areia e com areia, produzidas neste estudo, assim como os corpos de prova produzidos, após 7 e 28 dias de cura a sombra sem molhar, foram obtidas através de procedimentos experimentais realizados em laboratório, em conformidade a normas técnicas vigentes.

Através dos resultados obtidos e analisados no Capítulo 4, pode-se, inicialmente, para os corpos de prova cuja formulações não continham areia, as seguintes conclusões:

A incorporação de cimento nas formulações, aumentou significativamente os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova analisados. Esses resultados foram observados, tanto na cura após 7 dias, quanto após os 28 dias. Todos os valores encontrados foram superiores aos recomendados por norma, que é de 2 MPa.

A incorporação de cimento, não apresentou diferença significativa para a absorção de água.

Com a incorporação de cimento de 5%, para 10%, houve uma diminuição significativa da perda de massa, ou seja, uma melhora na durabilidade. A partir da incorporação de 10% para 20%, a perda de massa foi estabilizada, não apresentando assim, alteração na durabilidade.

A análise da resistência à compressão após os ciclos do ensaio de durabilidade, permitem concluir que houve uma melhoria da resistência à compressão com a diminuição da perda de

massa, e houve no geral, uma melhora da resistência em relação aos corpos de prova ensaiados logo após os 28 dias de cura, ou seja, antes do ensaio de durabilidade. Destacando-se a formulação com 20% de cimento, que antes do ensaio de durabilidade, apresentou resistência de 14 MPa e após 21 MPa, um aumento de 50%.

Com relação a massa específica aparente, com a incorporação do cimento de 5% para 20%, houve estabilidade nos resultados, não apresentando grandes variações.

De modo geral, pode-se concluir que todas as formulações estudadas (A₅, B₁₀, C₂₀), atenderam aos requisitos normativos para tijolos de solo cimento.

Com relação aos corpos de prova de tijolos de solo cimento, que continham areia na sua composição, foi possível observar que:

Com a incorporação de 10% da areia, houve uma diminuição da absorção de água dos corpos de prova, no entanto, foi observado um aumento desta propriedade com o aumento do teor de areia, levando a concluir que existe um teor ideal de areia para a diminuição da absorção de água, que neste estudo é de 10%, no entanto todos os resultados ficaram abaixo de 20%, o máximo recomendado por norma.

Quanto a massa específica aparente, foi observado estabilidade à medida que é incorporado areia.

Foi observado que a durabilidade das formulações estudadas (D₁₀, E₂₀, F₄₀), atenderam aos requisitos normativos, pois a perda de massa ficou muito abaixo do máximo permitido por norma (7-14%).

Os resultados para a resistência à compressão foram positivos, já que ficaram inclusive maiores em comparação a outros tijolos de solo cimento encontrados na literatura. Foi observado também um aumento da resistência após o ensaio de durabilidade, resultado semelhante ao encontrado para as formulações sem areia.

Com os resultados apresentados, pode-se concluir que o objetivo deste trabalho foi atendido, já que foi produzido um tijolo de solo cimento com caulim que possui boa resistência à

compressão, baixa absorção de água e boa durabilidade. Sendo assim, os tijolos de solo cimento com caulim, apresentaram - se uma alternativa viável, pois atingiram os valores mínimos de caracterização requeridos por norma.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a realização deste trabalho, algumas lacunas foram observadas, que em consequência do tempo disponível não foi possível sanar esses questionamentos. Devido a isso, sugere-se para trabalhos futuros:

- Colorir os tijolos de solo cimento com caulim, por meio da utilização de um pigmento inorgânico à base de cromo, óxido de ferro, pois seria uma alternativa para decorações atendendo demandas da arquitetura;
- Estudar a durabilidade dos tijolos de solo cimento com caulim, a partir do uso de soluções ácidas, para assim determinar a durabilidade desse material em ambientes agressivos;
- Acrescentar outros resíduos no tijolo de solo cimento com caulim, como vidro, por exemplo, para verificar a viabilidade, e melhor contribuir com a sustentabilidade na construção civil.
- Estudar formulações de tijolo de solo cimento com caulim, com 5% e 10% de cimento mais areia, para verificar a viabilidade da utilização de menos cimento.

REFERÊNCIAS

- ABCERAM (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA). Matérias Primas Naturais. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://abceram.org.br/materias-primas-naturais/> . Acesso em: 22 abr. 2022.
- ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Aplicações do solo-cimento**. 2009. Disponível em: <https://abcp.org.br/solo-cimento/>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais**. 3. ed. São Paulo: Abcp, 2000. 16 p.
- AKINYEMI, Banjo A.; OMONIYI, Temidayo E.; ADEYEMO, Micheal O. Prospects of coir fibre as reinforcement in termite mound clay bricks. **Acta Technologica Agriculturae**, v. 19, n. 3, 2016, p. 57-62.
- AKINYEMI, Banjo Ayobami; OROGBADE, Blessing O.; OKORO, Chukwunonyenim Wilson. The potential of calcium carbide waste and termite mound soil as materials in the production of unfired clay bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 2021, p. 123693.
- AMARAL, Mateus Carvalho et al. Soil–cement bricks incorporated with eggshell waste. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management**. ICE Publishing, 2013. p. 137-141.
- AMARAL, Mateus Carvalho. **Avaliação da incorporação de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em tijolo solo-cimento**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D- 854 -02**: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, 2002.
- _____. **ASTM D- 2974**: Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils, 2020.
- _____. **ASTM D- 4318**: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 2017.
- ANJOS, Cássia Mendonça dos. **Utilização de Resíduos de Caulim em Tijolos de Solo-Cal**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, 2011.
- ANJOS, M. A. S. et al. Avaliação da atividade pozolânica de microsilica cinza densificada e não densificada. **HOLOS**, v. 7, 2016, p. 88-99.
- ARRUDA JUNIOR, Euler Santos; BARATA, Márcio Santos. Cimento de baixo impacto ambiental a partir dos resíduos caulíníticos da Amazônia. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, n.1, 2022, p. 1-20.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017.

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

_____. **NBR 7181**: Determinação do índice de granulometria. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 8491**: Tijolo de solo cimento – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8492**: Tijolo de solo cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo – cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 12023**: Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13553**: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13554**: Solo cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria, Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16606**: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16607**: Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16917**: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

BARROS, Maiccon Martins et al. Ecological bricks from dimension stone waste and polyester resin. **Construction and Building Materials**, v. 232, 2020, p. 117252.

BATISTA, Larissa Santana et al. Planejamento experimental para viabilização da utilização do resíduo da scheelita como agregado miúdo em pavimentos intertravados. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, 2022, p. 1-18.

BAUER, L.A Falcão. **Materiais de Construção**: novos materiais para a construção civil. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2008. 488 p.

BHAIRAPPANAVAR, Shruti; LIU, Rui; SHAKOOR, Abdul. Eco-friendly dredged material-cement bricks. **Construction and Building Materials**, v. 271, 2021, p. 121524.

BORGES, Anne Kelly de Souza Machado; NETO, Osires de Medeiros Melo; MENDONÇA, Ana Maria Gonçalves Duarte. Análise química-mineralógica de cimentos portland comerciais. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 15, n. 1, 2021, p. 66-73.

CAMPOS, Alessandro; NASCIMENTO, João Batista do; BRITO, Larissa Tessari. Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura. **Interações (Campo Grande)**, v. 20, 2019, p. 283-296.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988. 234 p.

CEPED - CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. **Manual de construção com solo-cimento**. 3. ed. São Paulo: ABCP, 2020. 98 p. Versão digital. Disponível em: https://redproterra.org/wp-content/uploads/2021/01/Manual-de-solo-cimento_2020-1.pdf. Acesso em: 04 jun. 2022.

CELIK, H. Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry. **Applied Clay Science**, v. 50, n. 2, 2010, p. 245-254.

CRISTINA, Pâmela et al. Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 9, 2018, p. 1-18.

DA ROCHA, Aretuza KA et al. Argamassas mistas para alvenaria utilizando resíduo de caulim- Parte I: comportamento mecânico. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 61, 2008, p. 505-512.

DONKOR, Peter; OBONYO, Esther. Compressed soil blocks: Influence of fibers on flexural properties and failure mechanism. **Construction and Building Materials**, v. 121, 2016, p. 25-33.

DAO, Kalifala et al. Thermal, hydric and mechanical behaviours of adobes stabilized with cement. **Construction and Building Materials**, v. 158, 2018, p. 84-96.

FAQUIM, Gabriela Mayara. A influência da análise granulométrica e da massa específica aparente na determinação de traços para pavers dormidos moldados com resíduos de construção civil (RCC) misto. **Revista Técnico-Científica**, n. 26, 2021, p. 1-23.

FRANÇA, Bruno Rangel et al. Durability of soil-cement blocks with the incorporation of limestone residues from the processing of marble. **Materials Research**, v. 21, 2018, p. 1-6.

FREITAS, Maria Silva. **Avaliação do fator de idade em concretos com adições minerais**. 2022. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

GÓIS, Luciano Costa de. **Estudo da incorporação da cal em composições binárias de solo cimento para a produção de tijolos maciços**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GUGGENHEIM, Stephen; MARTIN, R. T. Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. **Clays and clay minerals**, v. 43, n. 2, 1995, p. 255-256.

HANY, Engy et al. Investigating the mechanical and thermal properties of compressed earth bricks made by eco-friendly stabilization materials as partial or full replacement of cement. **Construction and Building Materials**, v. 281, 2021, p. 122535.

JORDAN, Rodrigo A. et al. Manufacture of soil-cement bricks with the addition of sugarcane bagasse ash. **Engenharia Agrícola**, v. 39, 2019, p. 26-31.

JOSE, Alex; KASTHURBA, A. K. Laterite soil-cement blocks modified using natural rubber latex: Assessment of its properties and performance. **Construction and Building Materials**, v. 273, 2021, p. 121991.

JOSHI, Ashwin M. et al. Performance of stabilized adobe blocks prepared using construction and demolition waste. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 4, n. 1, 2019, p. 1-14.

KASINIKOTA, Pardhasaradhi; TRIPURA, Deb Dulal. Evaluation of compressed stabilized earth block properties using crushed brick waste. **Construction and Building Materials**, v. 280, 2021, p. 122520.

KHOUDJA, Daifallah et al. Mechanical and thermophysical properties of raw earth bricks incorporating date palm waste. **Construction and Building Materials**, v. 270, 2021, p. 121824.

KONGKAJUN, Nuntaporn et al. Soil-cement bricks produced from local clay brick waste and soft sludge from fiber cement production. **Case Studies in Construction Materials**, v. 13, 2020, p. 1-10.

LEONEL, R. F. et al. Characterization of soil-cement bricks with incorporation of used foundry sand. **Cerâmica**, v. 63, 2017, p. 329-335.

LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. **Estudo da Durabilidade de Paredes Monolíticas e Tijolos de Solo-Cimento Incorporados com Resíduo de Granito**. 2010. 107 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, 2010.

MARQUES, Miller Aparecido Grande; MENDES, Luana Ferreira. ESTUDO DOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO QUANTO À SUA ADEQUAÇÃO ÀS NORMAS VIGENTES. **Repositório Unis**, [S.I.], v. 1, n. 1, p. 1-23, 4 jun. 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1331>. Acesso em: 29 jan. 2023.

MATOS NETO, J.A. de: Caracterização de estéril argiloso para utilização como pozolana. Dissertação de Mestrado. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT da Universidade Federal de Ouro Preto. OP-MG.2013.

MATTANA, Alécio Júnior; PEREIRA, Eduardo; COSTA, Marienne R. M. M da. Influência dos constituintes do revestimento de argamassa sobre as suas propriedades reológicas. **Publicatio Uepg: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 19, n. 1, jun. 2013, p. 33-44.

MENDONÇA, Ana Maria Gonçalves Duarte et al. Resíduo de caulim como material alternativo para produção de blocos de tijolos solo-cimento. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, 2021, p. 44168-44178.

MENDONÇA, ANAMGD et al. Reuso de resíduo de caulim na produção de tijolos solo cimento. In: **VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campo Grande/MS**. 2017, p. 1-5.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concrete**: microstructure, properties, and materials. 3. ed. San Francisco: McGraw-Hill, 2006. 644 p.

MIRANDA, Christian Matias. Estudo de tijolos de solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição. 88 f. Monografia (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

MOTA, Joseane Damasceno et al. Aproveitamento dos resíduos de granito e caulim como materiais aditivos na produção de tijolos ecológicos. **Acessado em**, v. 3, 2006, p. 1-9.

MORIARTY, J.P., SVARE, T.I., THERKILDSEN, O.K. Soil-cement for low-cost housing. **Batiment International/Building Research & Practice**, official journal of CIS, v. 3, n. 3, 1975, p. 1-8.

MOURA, Elda Marra de et al. Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento. **Ambiente Construído**, v. 21, 2021, p. 69-80.

MURRAY, Haydn. Industrial clays case study. **Mining, Minerals and Sustainable Development**, v. 64, 2002, p. 1-9.

NAGARAJ, H. B. et al. Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 1, 2014, p. 54-61.

NASCIMENTO, Elvia Soraya Santos et al. Soil-cement brick with granite cutting residue reuse. **Journal of Cleaner Production**, v. 321, 2021, p. 129002.

NEVES, Célia Maria Martins; CARNEIRO, Alex Pires; COSTA, D. B. Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento. **CARNEIRO, AP; BRUM, IAS; CASSA, JCS Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001, p. 228-260.**

NEVES, Isamara Coelho et al. Análise de viabilidade de inserção de Fibra de Coco em Tijolos de Solo-Cimento. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, 2022, p. 1-8.

NEVILLE. A.M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2016. 912 p.

NOBRE, Thiago Ricardo Santos et al. Caracterização de fases de cimento Portland por meio das técnicas de difratometria de raios X e espectroscopia de ressonância magnética nuclear de ²⁹Si no estado sólido. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 6, n. 19, maio 2022, p. 67-88.

OLIVEIRA, Josiane Rodrigues de; AMARAL, Adriana Garcia do; SCHNEIDER, Roselene Maria. Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos solo-cimento. **Nativa**, v. 2, n. 1, 2014, p. 53-57.

OLIVEIRA, Herbet Alves de. Avaliação de argilas industriais formuladas com resíduo de vidro na produção de agregado sintético. 2017. 121 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2017.

OLIVEIRA, Herbet Alves de et al. Propriedades de um concreto com incorporação de óxido de alumínio. **Concreto & Construções**, ed. 105, mar. 2022, p. 60-65.

OUEDRAOGO, Kouka Amed Jeremy et al. Is stabilization of earth bricks using low cement or lime contents relevant?. **Construction and Building Materials**, v. 236, 2020, p. 117578.

PIRES, Maikon Moreira de et al. Utilização de sulfato de bário como constituinte de concreto para blindagem de salas de radiologia. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 4, 2021, p. 1-13.

PISANI, Maria Augusta. Um Material de Construção de Baixo Impacto Ambiental: O Tijolo de Solo-Cimento. **Revista Aedificandi**, São Paulo, v. 1, n. 1, jun. 2006, p. 1-17.

POPPE, L.J. et al. **A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction**: Individual Clay Minerals. U. S. Geological Survey. 2001. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/> . Acesso em: 23 abr. 2022.

QUEIROZ, L. F. T.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Efeito da utilização de areia no processamento e nas propriedades de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 56, 2010, p. 279-284.

RAMEZANIANPOUR, A. A. **Cement Replacement Materials - Properties, Durability, Sustainability**. New York: Springer, 2014. 345 p.

REIS, Gabriela Damasceno dos; NEGREIROS, Natalia Felix; CANETOMI, Thaís Hitomi. Uso de resíduos da construção civil na fabricação de tijolos solo-cimento. **Revista Científica Anap Brasil**, [S.L.], v. 9, n. 16, 31 dez. 2016, p. 45-53.

REDDY, B. V. Venkatarama; LAL, Richardson; RAO, K. S. Nanjunda. Optimum Soil Grading for the Soil-Cement Blocks. **Journal Of Materials In Civil Engineering**, [S.L.], v. 19, n. 2, fev. 2007, p. 139-148.

REZENDE, Maria Luiza de S. et al. Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 61, 2008, p. 285-290.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. **Cerâmica**, v. 59, n. 352, 2013, p. 551-556.

RODRIGUES, Hayala Karoline Santos et al. Propriedades de um concreto leve estrutural com incorporação de argila expandida e resíduo de granito. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, n. 1, 2022, p. 1-12.

ROMANO, R. C. O. et al. Acompanhamento da hidratação de cimento Portland simples com resíduo de bauxita. **Cerâmica**, v. 62, 2016, p. 215-223.

SALA, L. G. Proposta de habitação sustentável para estudantes universitários. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 86f, 2006.

SANTOS, Alexsander Araujo et al. ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA CONSTRUÇÃO COM TERRA VISANDO A SUSTENTABILIDADE EM SERGIPE. **Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT-SERGIPE**, v. 6, n. 1, 2020, p. 79-94.

SANTOS, Pérsio de Souza. **Tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1975. 340 p.

SEKHAR, Darshan C.; NAYAK, Sitaram. Utilization of granulated blast furnace slag and cement in the manufacture of compressed stabilized earth blocks. **Construction and Building Materials**, v. 166, 2018, p. 531-536.

SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva; WADA, Patrycia Hanna. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 2, 2011, p. 179-183.

SILVA, Cybelle Thayane Medeiros. **Análise da absorção de água de tijolos de solo-cimento incorporados com pó de brita**. Orientador: Samea Valensca Alves Barros. 2020. 12 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Angicos, [S. l.], 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/4994> . Acesso em: 16 abr. 2022.

SILVA, Sandra Regina da. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. 2005. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SIMÕES, Mariana; ANONI, Lara; ANDRADE, Daniel; TRIGO, Ana. Avaliação mecânica de concretos com agregado graúdo proveniente de resíduos de construção civil otimizados pela técnica de dopagem. **Concilium**, v. 22, n. 6, 2 nov. 2022, p. 626-638.

SINGH, Narpinder et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food chemistry**, v. 81, n. 2, 2003, p. 219-231.

SIQUEIRA, F. B. et al. Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks. **Cerâmica**, v. 62, 2016, p. 237-241.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil–cement bricks. **Journal of environmental management**, v. 131, 2013, p. 1-6.

SOARES, Silvette Mari. **Durabilidade de compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com incorporação de pó de vidro frente à ação de cloretos**. 2021. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

SOUZA, Márcia IB; SEGANTINI, Antônio AS; PEREIRA, Joelma A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, 2008, p. 205-212.

SOUZA, Marcelo Tramontin et al. Caracterização de areias de quartzo do estado de Mato Grosso do Sul para aplicações industriais. **Cerâmica**, v. 60, 2014, p. 569-574.

SOUZA, D. J. de; MEDEIROS, M. H. F.; HOPPE FILHO, J. Evaluation of the SR Portland cement against sodium and magnesium sulfate attack: a physical and comparative analysis of mortars. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 11, n. 5, out. 2018, p. 1053-1075.

SOUZA, Jônatas Macêdo de et al. Mechanical and durability properties of compressed stabilized earth brick produced with cassava wastewater. **Journal of Building Engineering**, v. 44, 2021, p. 103290.

TIBONI, Rafaelle. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoeletrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland**. 2007. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Materioteca Sustentável: Areia**. 2020. Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/areia/> . Acesso em: 26 jun. 2022.

UZOEGBO, H.C. Nonconventional and Vernacular Construction Materials: **Characterization, properties and applications**. Joanesburgo: Kent A. Harries e Bhavna Sharma. 2016, p. 205-249.

VILELA, Alan Pereira et al. Technological properties of soil-cement bricks produced with iron ore mining waste. **Construction and Building Materials**, v. 262, 2020, p. 120883.

VIEIRA, C. M. F. et al. Utilização de gnaiss fino em massa cerâmica para telhas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 11, 2006, p. 211-216.

XU, Zekun et al. Removal of starch granule associated proteins affects annealing of normal and waxy maize starches. **Food Hydrocolloids**, 2022, p. 107695.

WALPOLE, Ronald E. et al. **Probabilidade & Estatística para engenharia e ciências**. Pearson Prentice Hall, 8. ed. 2009, 491 p.

WILSON, Ian Richard; SANTOS, Helena de Souza; SANTOS, Pêrsio de Souza. Caulins brasileiros: alguns aspectos da geologia e da mineralogia. **Cerâmica**, v. 44, 1998, p. 118-129.

ZAMPIERI, V. A. **Mineralogia e mecanismo de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas**. 1989. 191f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

ZAK, Philip et al. The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. **Construction and Building Materials**, v. 106, 2016, p. 179-188.