



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ISADORA DE SOUSA ALMEIDA

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
EM SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL APLICADO EM
ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

Palmas/TO
2022

ISADORA DE SOUSA ALMEIDA

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
EM SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL APLICADO EM
ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Ma. Janaína Lima de Araújo

Palmas/TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A447i Almeida, Isadora de Sousa.

Incorporação de resíduos da construção civil em solo-cimento autoadensável aplicado em alvenaria de vedação. / Isadora de Sousa Almeida. – Palmas, TO, 2022.

62 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2022.

Orientadora : Janaína Lima de Araújo

1. Solo-cimento autoadensável. 2. Resíduo de construção civil. 3. Alvenaria de vedação. 4. Sustentabilidade. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

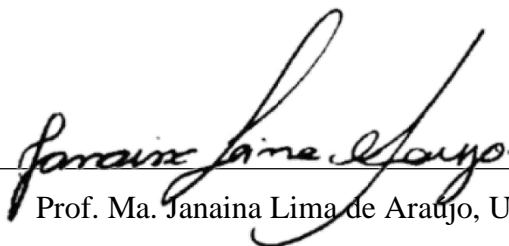
ISADORA DE SOUSA ALMEIDA

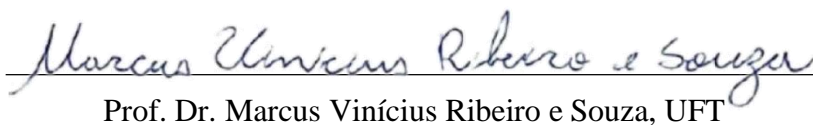
INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL APLICADO EM ALVENARIA DE VEDAÇÃO

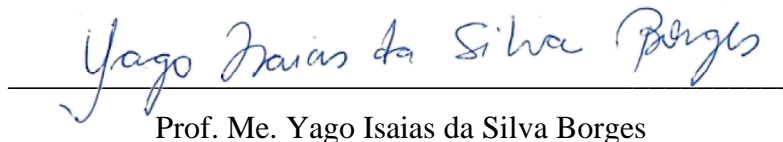
Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 15 / 07 / 2022

Banca Examinadora


Prof. Ma. Janaina Lima de Araujo, UFT


Prof. Dr. Marcus Vinicius Ribeiro e Souza, UFT


Prof. Me. Yago Isaias da Silva Borges

Palmas, 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, por ser meu maior exemplo do poder que uma mulher pode carregar. Por sempre colocar seus filhos em primeiro lugar e garantir uma educação de qualidade que me fez ser quem eu sou hoje.

À professora Ma. Janaína Lima de Araújo, pelas orientações e pelo incentivo para concluir este trabalho.

Ao professor Dr. Marcus Vinícius Ribeiro e Souza, pelas orientações e pela ajuda na coleta dos materiais.

Ao professor Me. Yago Isaias da Silva Borges, que foi quem me fez ter a experiência com a pesquisa em laboratório e os desafios que ela pode proporcionar.

À empresa Ambiental Usina de Reciclagem, que contribuiu com a doação de resíduo de construção civil para a execução desta pesquisa.

Ao Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (LabMic) da Universidade Federal de Goiás – UFG.

À Jéssica Viana, técnica do Laboratório de Materiais de Construções da Universidade Federal do Tocantins – UFT que auxiliou nos ensaios realizados.

Aos amigos que contribuíram diretamente para a execução deste trabalho, João Francisco, José Felipe, Kellen Barros, Lorrán Michael, Pedro Vitor, Vanessa Santana e Yanca Dorta. Sem vocês eu não teria conseguido concluir esta pesquisa.

À Laura Maria, que toda semana religiosamente me ouvia chorar falando sobre o TCC e sempre me incentivava a concluir essa jornada.

Por fim, agradeço a mim mesma por nunca ter desistido mesmo quando as coisas ficaram difíceis, por entender que tudo acontece no seu devido momento e aceitar que o tempo correto é medido pelo meu próprio relógio, e não pelo dos outros. Viva la vida.

RESUMO

O setor da construção civil vem nos últimos anos incentivando o estudo para o uso de novas técnicas que gerem menos impacto ambiental e que também sejam economicamente viáveis. Este trabalho estuda a incorporação de resíduo de construção civil (RCC) em tijolos de solo-cimento autoadensável (SCAA) para aplicação em alvenaria de vedação. Para isso, foram realizados quatro traços diferentes com substituição do solo por RCC em quantidades de 0%, 20%, 30% e 40% e feito o estudo da mistura de SCAA em estado fresco, verificando sua trabalhabilidade, autoadensabilidade e presença de exsudação e segregação a partir dos ensaios de espalhamento, anel J e funil V. Também foi estudado o comportamento da mistura em estado endurecido, a partir dos ensaios de análise de absorção de água e resistência à compressão dos tijolos. Os resultados encontrados mostraram que as misturas se comportaram adequadamente em seu estado fresco, possuindo boa trabalhabilidade e facilitando o processo de fabricação dos tijolos. No estado endurecido, os resultados mostraram que a inserção de RCC nos tijolos aumentou o percentual de absorção de água, onde todos os traços ficaram acima do limite estabelecido de 20%. Para os resultados de resistência à compressão, apenas o traço TJ-04 (com 60% de solo e 40% de RCC) atingiu resistência maior que 2 MPa como é determinado em Norma. Portanto, com base nestes resultados e mediante os critérios dispostos na NBR 8491 (ABNT, 2012), nenhum dos traços desta pesquisa pode ser utilizado como tijolos para alvenaria de vedação, visto que foram reprovados nos critérios de absorção de água e resistência mínima à compressão aos 7 dias de cura.

Palavras-chaves: Solo-cimento autoadensável. Resíduo de construção civil. Alvenaria de vedação.

ABSTRACT

The construction department, in the last years has been encouraging the research of new techniques that bring less impact in the environment and also are economically viable. This thesis looks for the understanding of the incorporation of construction sediments in self-compacting soil-cement bricks (ecological bricks) to use in sealing walls. For such purpose, has been done four different recipes, that the soil was replaced for construction sediments in measures of 0%, 20%, 30% and 40% and has been done the study of the fresh self-compacted soil-cement, verifying its workability, self-compacting and presence of exudation and segregation from the tests of spreading, j-ring test and V funnel test. Also was studied the behavior of the blend in a hardened way, from the tests of analysis of water absorption and compression resistance of the bricks. The results showed that the blends have properly behaved in their fresh way, endowing a well workability and facilitating the bricks' production. In the hardened way, the results showed that the insertion of construction sediments in the bricks, has increased the percentage of water absorption, where all the recipes have exceeded the established limit of 20%. To the compression resistance results, only the TJ-04 recipe (with 60% of soil and 40% of Construction Sediments) has reached a resistance over 2 MPa like has been determined by the Standard. Therefore, based in those results and through the parameters arranged in the NBR 8491 (ABNT, 2012), none of the recipes of this research could be used as sealing bricks, since they are disapproved in the parameters of water absorption and minimal compression resistance after their 7 (seven) days of curing process.

Key-words: Self-compacted soil-cement; Construction waste; Sealing masonry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Processo construtivo da taipa de pilão.	17
Figura 2: Moldagem dos blocos de adobe.....	18
Figura 3: Execução da parede de pau-a-pique.....	19
Figura 4: Tijolo A tipo maciço.	20
Figura 5: Tijolo B tipo vazado.....	21
Figura 6: Ambiental Usina de Reciclagem	24
Figura 7: Alvenaria de vedação utilizando tijolos cerâmicos.....	25
Figura 8: Alvenaria de vedação utilizando tijolos de solo-cimento.....	26
Figura 9: Local de coleta do solo.....	28
Figura 10: Cimento utilizado na produção do tijolo de SCAA.	29
Figura 11: Resíduo de construção civil pós-processamento.	30
Figura 12: Etapas metodológicas para execução da pesquisa	31
Figura 13: Aparelho de Casagrande.....	33
Figura 14: Imagem do RCC capturada pelo Microscópio Eletrônico de Varredura.	34
Figura 15: Determinação do diâmetro de espalhamento pelo tronco de cone de Abrams.	36
Figura 16: Determinação do diâmetro de espalhamento pelo Anel J.	37
Figura 17: Medidas do Funil V de acordo com o especificado em Norma.....	37
Figura 18: Ensaio do Funil V.	38
Figura 19: Mistura de SCAA nas formas plásticas (a) e tijolos desformados (b)	39
Figura 20: Tijolos cortados ao meio e unidos com pasta de cimento.	41
Figura 21: Tijolo de SCAA após aplicação de carga na prensa.	41
Figura 22: Curva granulométrica do solo.....	44
Figura 23: Curva granulométrica do resíduo de construção civil.....	44
Figura 24: Limite de liquidez do solo.	45
Figura 25: Limite de liquidez do resíduo de construção civil.	46
Figura 26: Resíduo de construção civil em escala microscópica (x5000).	47
Figura 27: Resultado da MEV com EDS na amostra de RCC no ponto 1 e ponto 5.....	47
Figura 28: Comparação da média de resistência dos tijolos aos 7 e 28 dias.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões dos tijolos de solo-cimento	20
Tabela 2: Ensaios realizados para a caracterização dos materiais	32
Tabela 3: Traços para a produção de tijolos de solo-cimento autoadensável com adição de resíduo de construção civil.	35
Tabela 4: Quantitativo de amostras produzidas de tijolos de SCAA.....	39
Tabela 5: Resultado de umidade higroscópica e massa específica dos materiais.	43
Tabela 6: Valores de limite de liquidez das amostras analisadas	45
Tabela 7: Valores de limite de plasticidade e índice de plasticidade das amostras analisadas.	46
Tabela 8: Resultados do ensaio de espalhamento e t_{500}	48
Tabela 9: Resultados do ensaio do anel J.....	49
Tabela 10: Resultados da diferença do ensaio de espalhamento e o ensaio do anel J.	49
Tabela 11: Resultado do tempo de escoamento do ensaio do funil V.	50
Tabela 12: Resultados dos ensaios de absorção para os tijolos de SCCA.	50
Tabela 13: Resistência média aos 7 dias e desvio padrão.	51
Tabela 14: Resistência média aos 28 dias e desvio padrão.	52
Tabela 15: Ganho percentual de resistência aos 28 dias em relação ao valor de 7 dias.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTETER	Associação Tocantinense de Empresas Transportadoras de Entulhos, Reciclagens e afins
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
LabMic	Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PERS/TO	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins
PMGRS	Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
RCC	Resíduo de Construção Civil
SCAA	Solo-cimento Autoadensável
UFG	Universidade Federal do Goiás
UFT	Universidade Federal do Tocantins

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema de pesquisa	13
1.1.1 Hipótese	13
1.1.2 Delimitação de Escopo	13
1.1.3 Justificativa	14
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 O uso do solo na história da humanidade como material de construção	16
2.1.1 Taipa de pilão.....	17
2.1.2 Adobe 17	
2.1.3 Pau-a-pique	18
2.4 O solo-cimento	19
2.5 O solo-cimento autoadensável	21
2.6 Resíduos da construção civil	22
2.6.1 Gerenciamento de RCC no município de Palmas - TO.....	23
2.6.2 Ambiental Usina de Reciclagem.....	24
2.7 Alvenaria de vedação	24
2.8 Pesquisas anteriores	26
3. METODOLOGIA	28
3.1 Materiais	28
3.2 Métodos	30
3.2.1 Caracterização dos materiais	31
3.2.2 Escolha das dosagens	34
3.2.3 Produção das misturas	35
3.2.4 Ensaio no estado fresco.....	35
3.2.4.1 <i>Ensaio de espalhamento</i>	35
3.2.4.2 <i>Ensaio Anel J</i>	36
3.2.4.3 <i>Ensaio do funil V</i>	37
3.2.5 Fabricação dos tijolos.....	38
3.2.6 Ensaio no estado endurecido	39
3.2.6.1 <i>Análise dimensional</i>	40
3.2.6.2 <i>Absorção de água</i>	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 Caracterização dos materiais	43
4.1.1 Massa específica	43
4.1.2 Granulometria e classificação dos solos.....	43
4.1.3 Limite de liquidez	45
4.1.4 Limite de plasticidade	46

4.2 Análise do RCC	47
4.3 Ensaios no estado fresco	48
4.3.1 Ensaio de espalhamento	48
4.3.2 Ensaio anel J	49
4.3.3 Ensaio funil V	50
4.4 Ensaio de absorção de água	50
4.5 Ensaio de resistência à compressão	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5.1 Sugestões para pesquisas futuras	55
REFERÊNCIAS	56
ANEXO A – LOCAL DE COLETA DO SOLO	60
ANEXO B – ANÁLISE DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	61

1 INTRODUÇÃO

A utilização do solo como matéria prima data desde 9.000 a 10.000 anos atrás, onde seus primeiros exemplares foram encontrados no Turquemenistão. Estima-se que as construções se instituíram em conjunto com as primeiras sociedades agrícolas, sendo o adobe e a taipa as estruturas mais comuns (TORGAL; JALALI, 2010). Um dos melhores exemplos de como a construção com solo quando bem feita, pode ser bastante durável, é a Muralha da China que foi executada há 3.000 anos usando a técnica de taipa de pilão e atualmente possui revestimento com pedra, aumentando ainda mais sua vida útil.

As técnicas de construção utilizando solo vêm sofrendo mudanças com o passar dos séculos, sempre se adaptando às necessidades do homem e o seu ambiente. Antes se tinha uma visão muito preconceituosa de que as habitações feitas com esse método remetiam a populações de baixa renda, entretanto, exemplos como a Escola de Artes Visuais de Oaxaca no México e a Moradia dos Alunos da Fundação Bradesco no Tocantins mostram que esse paradigma está sendo quebrado. Outra questão para aplicabilidade desse tipo de sistema construtivo se deve ao fato do incentivo às pesquisas para o uso de novas técnicas que sejam eficazes e com menores custos.

A construção civil está inserida em um processo mundial que visa não somente o conforto dos usuários das edificações, mas também a otimização dos sistemas e processos construtivos, para que consumam menor quantidade de energia e produzam menos resíduos em seu ciclo de vida (MILANI et. al., 2018). Mesmo assim, estima-se que a construção civil seja responsável pelo consumo de cerca de 50% de todos os recursos naturais disponíveis.

O solo-cimento é composto por uma mistura de solo, cimento e água em proporções adequadas para cada tipo de aplicação. O cimento visa estabilizar o solo e a água realizar o processo de hidratação para facilitar a compactação. O solo-cimento autoadensável (SCAA) requer menos energia para sua aplicação, onde seu adensamento é realizado por ação do seu próprio peso sem a necessidade de vibração, uma vez que recebe maior quantidade de água e utiliza plastificantes para aumentar sua trabalhabilidade. Diferentemente dos tijolos convencionais, os tijolos feitos com SCAA têm como grande vantagem a diminuição de gás carbônico liberado na atmosfera, já que não há queima durante seu processo de fabricação.

Diversos estudos foram feitos para a incorporação de materiais no SCAA a fim de melhorar suas características tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido. A incorporação de cinza de casca de arroz (CLAVERIE, 2015), de resíduos de concreto (BEZERRA; LAFAYETTE, 2016) e pó de mármore juntamente com resíduo de construção

(LLAJARUNA, 2017) são alguns exemplos. Também foi feito o estudo de análise da influência da incorporação de areia de RCC no comportamento físico e mecânico do SCAA para aplicação em sistema vertical monolítico (SIMIONI et.al., 2020).

Dentro desse contexto, este trabalho visa contribuir para um estudo de dosagem que aumente a resistência de tijolos maciços de solo-cimento autoadensável com incorporação de resíduos da construção civil para a aplicação em alvenaria de vedação, aproveitando o solo existente no ambiente urbano de Palmas - TO e os resíduos sólidos recolhidos pela empresa Ambiental Usina de Reciclagem de Entulhos.

1.1 Problema de pesquisa

Os maiores impactos ambientais e econômicos pela disposição incorreta de resíduos da construção civil são gerados nas fases de construção e demolição. O desenvolvimento de tecnologias construtivas de reaproveitamento é de primordial importância para promoção da sustentabilidade no setor (PASSUELLO et al., 2014). Diante disso, a substituição parcial de solo por resíduos da construção civil incorporados na mistura de solo-cimento autoadensável permite sua aplicabilidade para alvenaria de vedação?

1.1.1 Hipótese

Trabalhos recentes apresentam resultados acerca do comportamento do SCAA, mostrando suas características no estado fresco, seu desempenho no estado endurecido, e seu grande potencial para aplicação em áreas diversas da construção (FERNANDES, 2017). De acordo com Simioni et al., (2020) a incorporação de 25% e 50% de areia de RCC proporcionou melhora na trabalhabilidade das misturas híbridas, obtendo-se maiores resistências mecânicas, indicando que a utilização de areia de RCC em misturas de SCAA apresenta potencial para aplicação de sistema vertical monolítico. Sendo assim, o solo-cimento autoadensável obtido com a incorporação de RCC em sua composição irá atender aos critérios estabelecidos em Norma e poderá ser utilizado na construção civil em forma de tijolos para alvenaria de vedação.

1.1.2 Delimitação de Escopo

Neste trabalho será analisado se as dosagens com substituição parcial do solo por resíduo de construção civil em tijolos de solo-cimento autoadensável podem ser utilizadas para

alvenaria de vedação. Com isso, serão determinados quatro traços¹ para verificar se os critérios estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012) são atendidos.

1.1.3 Justificativa

Entre os vários direitos sociais presentes na Constituição de 1988, o direito à moradia é um dos mais importantes. Entretanto, segundo dados de uma pesquisa feita pela Fundação João Pinheiro em 2019, o Brasil possuía um déficit habitacional de 5,8 milhões de moradias, o que representa 8% da população do país. Essa situação poderia ser mudada se houvesse um incentivo para que construções feitas com materiais alternativos fossem mais implementadas.

A construção civil é um dos setores tecnológicos que mais consomem matérias-primas naturais e, inevitavelmente, se alternativas não forem criadas, tais recursos se esgotarão (MENDES, 2015). A Ambiental Usina de Reciclagem de Entulhos recebe em média 370m³ de resíduos sólidos por dia, material este que além de ser utilizado em aterros, poderia ter também outra destinação.

No caso da cidade de Palmas – TO, os latossolos são os que se fazem mais presentes na região e são caracterizados principalmente por serem solos muito intemperizados, diferenciando-se entre si pela quantidade de óxido de ferro em sua composição e principalmente pelo processo de formação e rocha de origem. A NBR 10833 (ABNT, 2012) indica que quase todos os tipos de solos podem ser usados na fabricação de tijolos de solo-cimento, exceto os que possuem matéria orgânica em sua composição. Mesmo assim, a substituição de uma parcela do solo por resíduo pode ser uma complementação e trazer melhoras nas características mecânicas dos tijolos de solo-cimento, garantindo assim um produto final que ofereça tanto a aplicabilidade na construção civil quanto a redução de resíduos lançados ao meio ambiente.

1.2 Objetivos

A seguir, serão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos desta pesquisa.

¹ Os traços definidos usarão a seguinte nomenclatura: TJ-01 para tijolos com 100% de solo e 0% de resíduo; TJ-02 para tijolos com 80% de solo e 20% de resíduo; TJ-03 para tijolos com 70% de solo e 30% de resíduo; TJ-04 para tijolos com 60% de solo e 40% de resíduo.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho de tijolos de solo-cimento autoadensável com a incorporação de resíduos da construção civil para a utilização em alvenaria de vedação.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

1. Fazer estudo de dosagem a fim de observar se a incorporação de resíduos da construção civil em tijolos de SCAA atende os requisitos estabelecidos em Norma.
2. Verificar os resultados dos ensaios de espalhamento, anel J e funil para o estado fresco e análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão para o estado endurecido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico, é apresentado o referencial teórico para o embasamento desta pesquisa abordando temas relacionados ao uso do solo na história da humanidade e seus tipos de construções mais comuns, o solo e suas características, o cimento e o solo-cimento autoadensável. Também é apresentado os resíduos da construção civil, gerenciamento de RCC no município de Palmas, construção em alvenaria de vedação, e por fim, pesquisas realizadas anteriormente.

2.1 O uso do solo na história da humanidade como material de construção

Desde que a humanidade começou a construir casas e cidades há cerca de 10.000 anos, o solo vem sendo um dos principais materiais de construção utilizados para edificar cidades inteiras ao redor do mundo (HOUBEN; GUILLAUD, 1994). Atualmente, cerca de um terço da população mundial vive em construções que utilizam um sistema construtivo feito com solo, com técnicas que são adaptadas de acordo com o clima e os materiais encontrados na região (GONÇALVES; GOMES, 2012).

Pontes (2012) afirma que foi no Oriente Médio que surgiram as primeiras civilizações arquitetônicas construídas com o próprio solo do local, espalhando-se posteriormente para outras zonas do globo. No Egito antigo eram construídas casas e até mesmo fortes usando blocos feitos com solo assentados com finas camadas de areia.

Na Europa central, durante os séculos XIII até XVII, o solo era utilizado em conjunto com a madeira para vedações e para cobrir a palha dos telhados a fim de torna-los resistentes ao fogo. Segundo Minke (2011), a maioria das edificações religiosas na África eram construídas com taipa, escolha essa que ocorria principalmente pelo clima seco e a escassez da madeira nas regiões.

Especificamente no Brasil, a técnica foi trazida pelos colonizadores portugueses já que está comprovado que os grupos indígenas brasileiros não utilizavam esse tipo de técnica construtiva. Além disso, os povos africanos trazidos para o Brasil pelos portugueses tinham conhecimento e experiência nesse tipo de construção (MILANEZ, 1958 apud CARVALHO; LOPES, 2012).

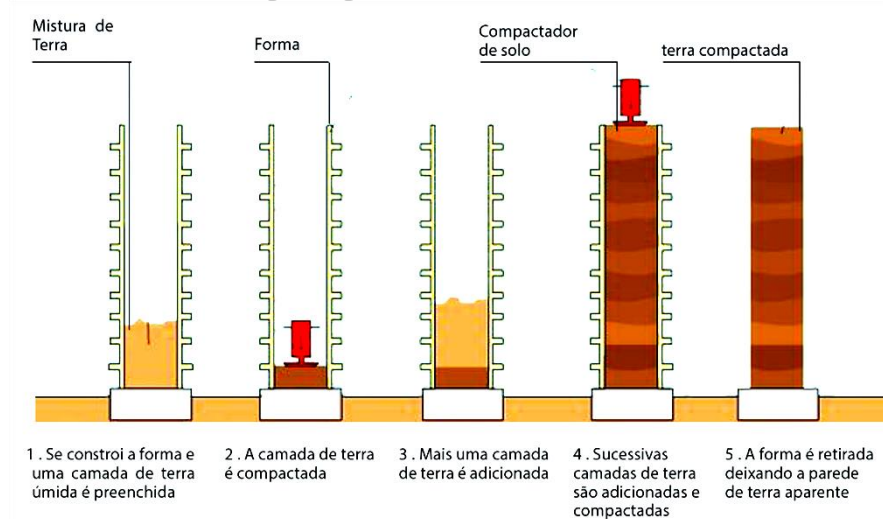
As técnicas mais utilizadas para construção eram a taipa de pilão, o adobe e o pau-a-pique. O declínio do emprego dessas técnicas no Brasil ocorreu na capital paulista em 1850 devido ao clima chuvoso e o risco de desabamento das edificações, dando espaço para o tijolo

maciço como uma alternativa mais rápida e menos custosa (SCHIMIDT, 1946 apud PISANI, 2004).

2.1.1 Taipa de pilão

A taipa de pilão é um sistema construtivo que surgiu na China e consiste na compactação do solo em camadas de 10 a 15 cm dispostas dentro de formas de madeira. A espessura da parede em relação a sua altura tem uma proporção de 1:10, ou seja, a cada 1 m na altura, deve-se ter 10 cm de espessura como é ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Processo construtivo da taipa de pilão.



Fonte: <https://sustentarqui.com.br/taipa-de-pilao-o-que-e-como-fazer-quais-sao-suas-vantagens> (2020)

O solo utilizado deve ter uma granulometria de aproximadamente 30% de argila e 70% de areia e não conter presença de matéria orgânica. A técnica da construção em taipa encontra-se disseminada a nível mundial e muitas dessas construções já fazem parte do patrimônio mundial da UNESCO (TORGAL et al., 2009).

2.1.2 Adobe

A técnica do adobe consiste em blocos com dimensões em torno de 20 cm x 20 cm x 40 cm feitos com uma mistura de solo, água e fibras. Sua compactação é feita manualmente, em formas de madeira, sendo que nos primeiros dias, a secagem ocorre à sombra e, só depois, ao sol. Para unir os adobes, tanto na construção das paredes como das coberturas, emprega-se a

argamassa com ou sem fibras, cujas técnicas variam de acordo com os costumes e potencialidades locais (NEVES; FARIA, 2011).

A mistura do solo com a palha, o esterco e a água pode ser feita manualmente ou utilizando animais. Essa pasta é deixada em descanso de 1 a 2 meses, dependendo das condições climáticas do local. Embora seja conveniente cobri-los para que sequem mais rápido, o contato direto com as gotas de chuva lhes confere uma textura característica. Depois, é executada a moldagem dos blocos conforme a Figura 2.

Figura 2: Moldagem dos blocos de adobe.



Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/945393/adobe-o-material-reciclavel-mais-sustentavel> (2020)

2.1.3 Pau-a-pique

Segundo Di Marco (1984), o pau-a-pique é uma ossatura de madeira ou bambu, formada por ripas horizontais e verticais amarradas com tiras de couro, cipó, barbante, prego ou arame, preenchida com uma mistura de solo, água e fibras. Este conjunto, juntamente com peças portantes verticais de madeira, formam a parede da edificação, como ilustra a Figura 3.

Figura 3: Execução da parede de pau-a-pique.



Fonte: <https://www.vaicomtudo.com/como-construir-uma-parede-de-pau-pique.html> (2014)

Essa mistura é lançada com as mãos nos dois lados ao mesmo tempo, e apertada sobre a trama da parede. Após a secagem, pode-se aplicar o reboco e, posteriormente, a pintura. No caso desse método, a cobertura é executada antes das paredes e deve possuir beiral com tamanho suficiente para proteger a edificação da chuva. As instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias devem ser executadas após a montagem da parte estruturante e antes do fechamento com o solo.

2.4 O solo-cimento

O solo-cimento é composto por uma mistura de solo, cimento e água em proporções definidas por dosagem específica para cada caso. O cimento estabiliza o solo e a água realiza o processo de hidratação para facilitar a compactação. É um material alternativo de baixo custo, com características de durabilidade e boa resistência à compressão, além de bom índice de impermeabilidade e baixo índice de retração volumétrica.

Diversas são as aplicações do solo-cimento na construção civil, entre elas podem ser citadas: a aplicação na pavimentação, servindo como camada resistente de pavimento, a aplicação em fundações de edificações em estado plástico e autoadensável, a aplicação para vedação em edificações, podendo ser através de estruturas monolíticas ou de paredes formadas por tijolos pré-fabricados (FERNANDES, 2017).

Os solos mais apropriados para a composição do solo-cimento são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%. Solos com mais argila que areia precisam de uma maior concentração

de cimento, podendo inviabilizar o material. Somente os solos que contêm matéria orgânica não podem ser utilizados.

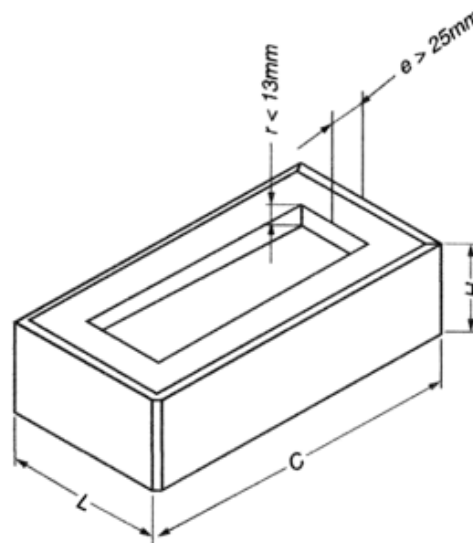
A NBR 8491 (ABNT, 2012) estabelece que o tijolo deve ter a forma externa de um paralelepípedo retangular, sendo suas medidas indicadas na Tabela 1. Apesar da Norma indicar os dois tipos de tijolos mais comumente usados que são representados na Figura 4 e Figura 5, também é possível elaborar tijolos com medidas especiais desde que sua altura não ultrapasse a largura.

Tabela 1: Dimensões dos tijolos de solo-cimento

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

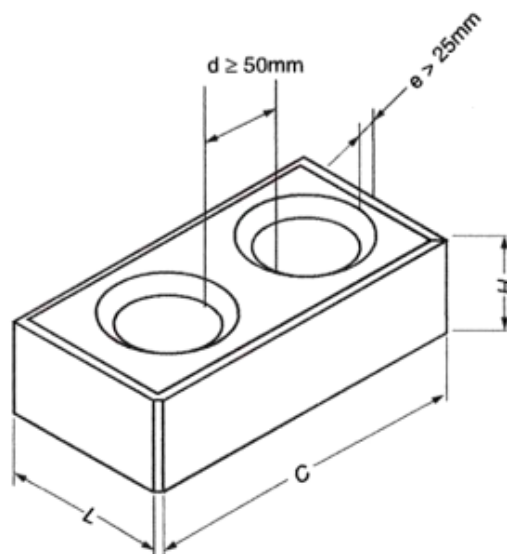
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 4: Tijolo A tipo maciço.



Fonte: ABNT (2012)

Figura 5: Tijolo B tipo vazado.



Fonte: ABNT (2012)

Dentre as vantagens apresentadas por esta tecnologia está o baixo consumo de energia na produção dos blocos de solo-cimento, no transporte e manutenção e a utilização de mão de obra intensiva, sem exigência de alta qualificação (CORDEIRO et al., 2006). Noronha (2018) acrescenta que, entretanto, ainda há uma dificuldade em sua utilização devido ao preconceito por parte das pessoas que relacionam o uso do solo com a construção de habitações de interesse social e baixa durabilidade, porém, alguns arquitetos já vêm inserindo esse tipo de construção em seus projetos.

2.5 O solo-cimento autoadensável

O solo-cimento autoadensável (SCAA) é produzido com os mesmos materiais do solo cimento convencional, contudo, recebe adições de plastificantes para aumentar sua trabalhabilidade e acrescenta-se material de granulometria mais grossa, o que melhora suas propriedades físicas e mecânicas tanto no estado fresco como no estado endurecido (LLAJARUNA, 2017).

No SCAA, a água deve ser adicionada até que se obtenha uma mistura de consistência plástica, visando torna-la fluida, mas sem apresentar segregação e exsudação (SIMIONI, 2020). Não necessita de energia para o adensamento, uma vez que a ação é feita por ação do seu próprio peso, utilizando então menos energia do que o solo-cimento compactado e vibrado (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2010).

Simioni (2020) explica que as misturas devem apresentar adequado fator água/cimento e serem misturados até atingir a uniformização dos elementos, para eliminar vazios no estado endurecido e alcançar maior resistência mecânica e durabilidade.

Tratando de sustentabilidade, pesquisas que estudam o solo-cimento autoadensável visam diminuir os impactos ambientais e o consumo de energia, incorporando materiais alternativos aos tradicionalmente usados. Essas pesquisas analisam o desempenho físico e mecânico das misturas com a incorporação de resíduos sólidos, minerais e vegetais.

2.6 Resíduos da construção civil

A construção civil caracteriza-se como um dos maiores consumidores de recursos naturais em seu processo produtivo, tanto no Brasil como no exterior. Algumas pesquisas têm apontado que a indústria da construção civil é responsável pelo consumo de 50% dos recursos naturais, 30% do consumo energético, 34% do consumo de água, 55% do consumo de madeira, 90% da massa total de resíduos da construção e 67% da massa total de resíduos urbanos (ULSEN et al., 2010).

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010, os resíduos da construção civil são gerados nas construções, reformas, reparos e demolições, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis. Já a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama nº 307/2002, define esses resíduos como:

Os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gessos, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002).

Essa mesma Resolução divide os resíduos em Classe A, B, C e D. Os da Classe A são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados podendo ser de origem de construção, demolição, reformas, tijolos, blocos, telhas, argamassa, concreto e peças pré-moldadas. Os da Classe B são plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso. Os da Classe C são

resíduos que não são recicláveis e os da Classe D são resíduos nocivos à saúde (CONAMA, 2002).

A regulamentação da disposição final dos resíduos sólidos dita que os resíduos da construção civil não deverão ser postos em locais inapropriados como aterros de resíduos sólidos urbanos, terrenos baldios, áreas de “bota fora”, vias públicas e corpos d’água. A destinação inadequada dos resíduos compromete a qualidade ambiental e com isso gera impactos negativos para a sociedade.

A Resolução do Conama nº 307/2022 também determina que os municípios devem implementar a gestão dos RCC através da elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos. Assim, os gestores municipais e as empresas construtoras precisam adaptar seus processos de modo a garantir a destinação correta dos mesmos.

2.6.1 Gerenciamento de RCC no município de Palmas - TO

O município de Palmas, capital do estado do Tocantins, conta com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins - PERS/TO, em que foi realizado o diagnóstico dos resíduos sólidos no Estado, objetivando o levantamento de dados e informações para servir de ferramentas na proposição de diretrizes, estratégias, programas, projetos e ações para o Plano.

De acordo com o PERS/TO, nenhum município do Tocantins possui formas de controle para quantificação de volumes de RCC, desta forma foi estimada uma produção que varia de 300kg/hab.ano a 500 kg/hab.ano (TOCANTINS, 2017). Na maioria dos municípios a coleta é realizada pela prefeitura, porém nas cidades de maior produção como Palmas, Araguaína e Gurupi, a coleta é realizada por empresas particulares por meio de caçambas estacionárias (TRALDI, 2019).

O Decreto Municipal nº 700/2014 institui o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB que foi concebido com quatro anexos, sendo um deles o Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos – PMGRS (PALMAS, 2014). Nesse plano, foi estabelecido a obrigatoriedade para garantir a proteção do solo no município, a partir dos contratos de prestação de serviços firmados entre o município e as empresas prestadoras desses serviços, referente ao manejo dos resíduos sólidos.

A cidade de Palmas possui um processo para o licenciamento ambiental de autorização para depósito de RCC, realizados pela Associação Tocantinense de Empresas Transportadoras de Entulhos, Reciclagens e afins - ASTETER juntamente com a Fundação Municipal de Meio ambiente (TOCANTINS, 2017).

A ASTETER também faz levantamentos in loco, onde é possível observar inúmeros locais de deposição irregular dos resíduos da construção civil. Isso acontece porque a própria população e também caminhões caçambas que prestam serviços de frete, depositam os RCC em locais mais próximos aos pontos de coleta, evitando desta forma os gastos com transporte até a área definida para o descarte (BRITO; PICANÇO, 2016).

2.6.2 Ambiental Usina de Reciclagem

A Ambiental Usina de Reciclagem foi inaugurada em dezembro de 2017 e fica localizada na TO 020, Km 03. Atualmente, cerca de 370 m³ por dia de RCC são coletados, que passam por um processo de triagem para separar os materiais recicláveis e os não recicláveis e posteriormente, ocorre a usinagem do entulho em aterro ecológico. Na Figura 6 é apresentada a Usina.

Figura 6: Ambiental Usina de Reciclagem



Fonte: Autoria própria (2021)

2.7 Alvenaria de vedação

Tauil e Nese (2010) definem a alvenaria como sendo o conjunto de peças justapostas coladas em sua interface, por argamassa formando elemento vertical coeso, tendo como principais finalidades: vedar espaços, resistir esforços, promover segurança, resistir a impactos, promover isolamento acústico, térmico e ao fogo, além de proteger o interior da edificação de vento e chuva.

As paredes de alvenaria mais utilizadas no Brasil são as de vedação em que há uma estrutura reticulada de concreto armado e as alvenarias vedam o edifício, como é possível observar na Figura 7. Os principais componentes dessa alvenaria são os blocos cerâmicos e os blocos de concreto (SILVA, MOREIRA, 2017).

Figura 7: Alvenaria de vedação utilizando tijolos cerâmicos.



Fonte: A autoria própria (2022)

A alvenaria de vedação é assim denominada quando deve suportar somente o peso próprio e cargas de utilização, como armários, rede de dormir e outros. Deve apresentar adequada resistência às cargas laterais estáticas e dinâmicas, advindas, por exemplo, da atuação do vento, impactos acidentais, entre outros (THOMAZ et. al., 2009).

Nesse tipo de sistema, é possível realizar cortes na alvenaria sem que haja prejuízo à estabilidade da estrutura, visto que as lajes, vigas e pilares foram dimensionados para resistir aos esforços solicitantes do edifício. Ainda é muito comum o uso de um processo não racional, empregando técnicas inadequadas e antiquadas para a execução da alvenaria. Incompatibilizações percebidas na obra, como instalações se cruzando, por exemplo, são muito comuns na alvenaria tradicional (LORDSLEEM JÚNIOR, 2004).

No caso da utilização de alvenaria de vedação com tijolos de solo-cimento, o sistema não fica restrito a cortes, podendo ser realizadas alterações futuras sem o comprometimento

estrutural da construção. Como mostrado na Figura 8, nestes projetos são exigidas um certo nível de modulação dos elementos para o aproveitamento dos furos do tijolo na passagem de instalações elétricas e hidráulicas (BEZERRA, 2021).

Figura 8: Alvenaria de vedação utilizando tijolos de solo-cimento.



Fonte: <https://revistaadnormas.com.br/2019/09/17/os-ensaios-em-tijolos-de-solo-cimento> (2019)

2.8 Pesquisas anteriores

Diversos pesquisadores realizaram estudos sobre a utilização de resíduos da construção civil como agregado. Santos (2006) analisou a substituição do agregado graúdo por RCC, objetivando produzir um concreto de qualidade ao menor custo possível. Em seu estudo, observou-se que quanto mais aumentava a quantidade de RCC na mistura, maior era o valor da absorção de água e o índice de vazios, uma vez que o concreto ficava mais denso. Esse mesmo fator influenciou na resistência à compressão, diminuindo seus valores. Mesmo assim, os resultados foram positivos nos traços em que foi usado até 50% de RCC como agregado, uma vez que os valores ficaram próximos ao traço de referência.

Souza et. al (2008) fizeram tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de parede de concreto, uma vez que era o resíduo mais encontrado na região. Eles mostraram que na substituição de 50% do RCC, os blocos de concreto produzidos em uma análise individual chegaram ou passaram da resistência recomendada por Norma, porém o valor da média não foi satisfatório. Enquanto no ensaio das amostras de referência todas as unidades passaram na resistência requerida, determinando assim a influência dos resíduos nas amostras ensaiadas.

Bezerra e Lafayette (2016) pesquisaram misturas de solo-cimento compostas por solo natural e com incorporação de 25%, 50% e 75% de RCC. Para cada uma das composições, o teor de cimento foi de 8% em relação à massa da mistura solo-resíduo. Os resultados indicaram que todas as composições atenderam aos requisitos normativos quanto às propriedades tecnológicas para a produção de blocos, atingindo resistência mecânica à compressão superior a 2,1 MPa.

Llajaruna (2017) produziu oito misturas de solo-cimento autoadensável com adição de pó de mármore e resíduo de construção visando à fabricação de tijolos. Observou que, no estado fresco, o teor de pó de mármore e o resíduo de construção contribuem para a trabalhabilidade da mistura, bem como evitam a segregação. No estado endurecido, com os teores de 20% de pó de mármore e 10% de resíduo de construção, a mistura obteve melhor desempenho mecânico, com 8,20 MPa, quando comparada às demais dosagens.

Simioni et al., (2020) ao incorporar 25% e 50% de areia de RCC obteve melhora na trabalhabilidade das misturas híbridas, obtendo-se maiores resistências mecânicas, indicando que a utilização de areia de RCC em misturas de SCAA apresenta potencial para aplicação de sistema vertical monolítico.

3. METODOLOGIA

Neste tópico são especificados os materiais e métodos deste trabalho. Desse modo, o capítulo aborda os seguintes assuntos: os materiais (solo, RCC, água e cimento), os procedimentos de caracterização do solo e do RCC, a dosagem utilizada e a caracterização físico-mecânica.

3.1 Materiais

O solo utilizado é caracterizado como um latossolo vermelho e foi coletado em uma escavação com cerca de 5 m de profundidade, no perímetro urbano próximo ao Colégio Ulbra situado na quadra ARNE 13 (108 Sul) no município de Palmas – TO, onde é possível observar a localização no Anexo A e na Figura 9. A motivação para usar tal solo se deve por este tipo de solo ser uma predominância na região, onde Rocha et al. (2020) utilizaram este mesmo solo em uma pesquisa também desenvolvida no curso de Engenharia Civil da UFT, para analisar métodos empíricos de predição de permeabilidade saturada, e conseqüentemente, todos os ensaios de caracterização geotécnica do solo foram realizados.

Figura 9: Local de coleta do solo.



Fonte: Autoria própria (2021)

O cimento utilizado foi o CP II-F-32 da marca Tocantins indicado na Figura 10, que possui adição de fíler calcário e pode ser aplicado em construções de concreto em geral quando

não há exposição a sulfatos. Tem como característica uma secagem rápida, boa trabalhabilidade e é encontrado com facilidade no mercado.

Figura 10: Cimento utilizado na produção do tijolo de SCAA.



Fonte: Autoria própria (2022)

O resíduo de construção civil foi fornecido pela Ambiental Usina de Reciclagem, localizada em Palmas - TO e pode ser observado na Figura 11 seu estado pós-processamento. O aditivo usado foi o MasterGlenium 51 que atua como dispersante do material cimentício, propiciando superplastificação. Ele ainda pode reduzir a taxa de água nos traços de concreto em até 40%, permite a redução de retração diminuindo à tendência de fissuras e tem-se fácil acesso para aquisição. (BASF S.A, s.d.). A água utilizada foi fornecida pela rede de abastecimento público do município.

Figura 11: Resíduo de construção civil pós-processamento.

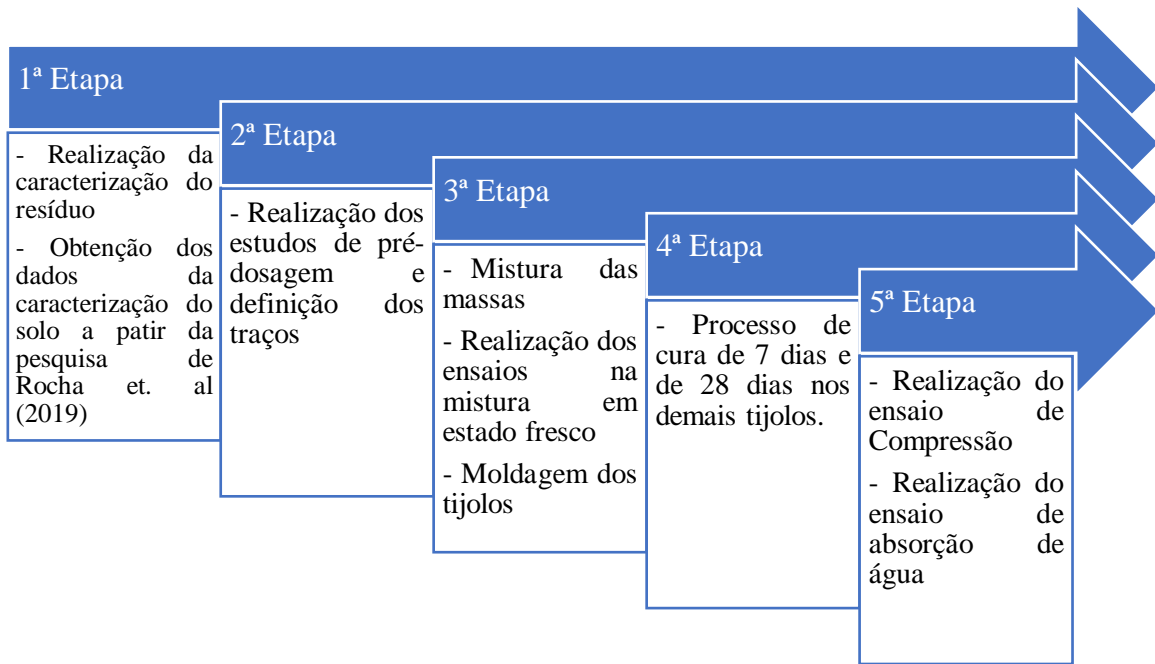


Fonte: Autoria própria (2021)

3.2 Métodos

Como não existe normatização específica para tijolos de SCAA, o estudo foi readequado utilizando a NBR 8491 – Tijolos de solo-cimento: Requisitos (ABNT, 2012) e a NBR 10833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: Procedimentos (ABNT, 2012) sobre tijolos de solo-cimento e a NBR 15823 – Concreto autoadensável (ABNT, 2017) sobre concreto autoadensável. Dito isso, a pesquisa seguiu o seguinte fluxograma de realização de etapas metodológicas, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12: Etapas metodológicas para execução da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2021)

Assim, conforme fluxograma estabelecido, na primeira etapa foi realizado o estudo dos materiais a partir da realização e análise dos ensaios de caracterização do solo e do resíduo. Posteriormente, realizaram-se os estudos de pré-dosagem que serviu para definição dos traços utilizados para a confecção dos tijolos. Em seguida, os materiais foram misturados na betoneira, e realizado os ensaios em estado fresco nas misturas com e sem resíduo e posterior moldagem dos tijolos. O ensaio de absorção de água foi realizado aos 7 dias de cura e o ensaio de compressão foi realizado aos 7 dias e 28 dias de cura.

3.2.1 Caracterização dos materiais

Os ensaios de caracterização do solo e do resíduo de construção civil seguiram as normativas apresentadas na Tabela 2. Ressalta-se que os ensaios de caracterização do solo não foram realizados nesta pesquisa uma vez que este mesmo solo foi material de estudo de Rocha et.al (2020). Inicialmente, os materiais foram coletados e levados para o Laboratório de Engenharia Geotécnica e Infraestrutura do curso de Engenharia Civil da UFT e colocados para secar ao ar até atingir a umidade higroscópica.

Após isso, foi feito o processo de destorroamento e peneiramento visto que a NBR 10833 (ABNT, 2012) define que 100% do solo que será usado para confecção dos tijolos deve

apresentar granulometria menor que 4,75mm. Sendo assim, tanto para o solo quanto para o resíduo de construção civil foram utilizados apenas o material passante na peneira com abertura de malha de 4,75mm (peneira nº 4). A Norma também define que de 10% a 50% do material deve passar na peneira com abertura de malha de 0,075mm (peneira nº 200).

Tabela 2: Ensaio realizados para a caracterização dos materiais.

Ensaio	Normas
Determinação da massa específica	ABNT NBR 6458 (2016)
Determinação do limite de liquidez	ABNT NBR 6459 (2016)
Determinação do limite de plasticidade	ABNT NBR 7180 (2016)
Análise granulométrica	ABNT NBR 7181 (2016)

Fonte: Autoria própria (2022)

Para a análise granulométrica, foi separada a quantidade determinada pela NBR 6457 (ABNT, 2016) e feito o peneiramento para determinar os diâmetros das partículas. Para o peneiramento grosso, o material foi lavado e colocado em estufa para secagem por 12h e após isso, usou-se a série normal de peneiras até a peneira nº 10, como a NBR 7181 (ABNT, 2016) estabelece. Também foi feito o ensaio de sedimentação para caracterizar o material fino.

O limite de liquidez (LL) é definido pela NBR 6459 (ABNT, 2016) e foi feito com 200g de material passante na peneira nº 40. Acrescentou-se água destilada à amostra até forma-se uma pasta homogênea, onde a mesma foi colocada na concha do aparelho de Casagrande e dividida em duas partes através do cinzel, como é observado na Figura 13.

Contou-se a quantidade de golpes necessários para que as bordas da ranhura se unissem e uma pequena quantidade do material foi colocada em cápsula e levado à estufa. Esse processo foi realizado cinco vezes, sempre aumentando a quantidade de água, onde a NBR 10833 (ABNT, 2012) define que o valor do limite de liquidez seja igual ou inferior a 45%.

Figura 13: Aparelho de Casagrande.

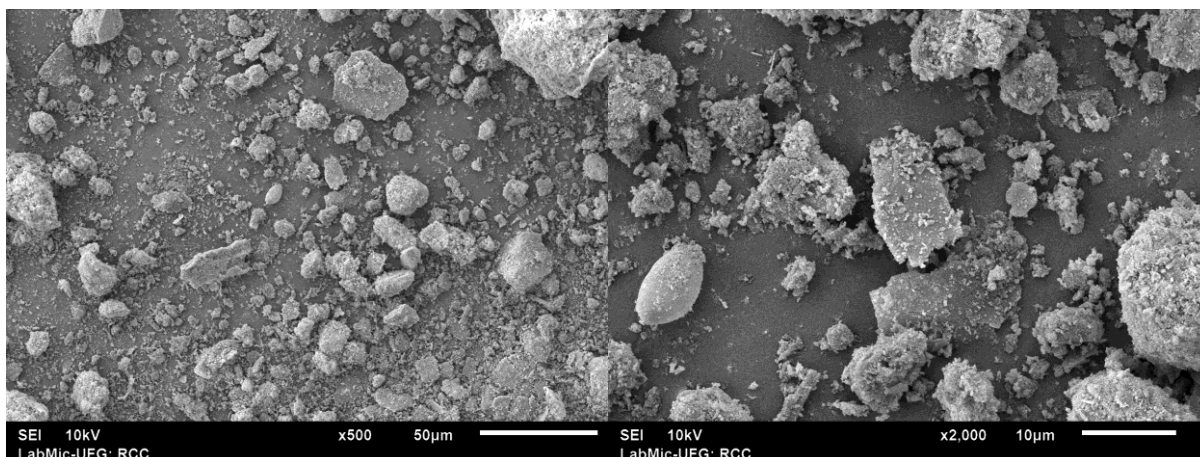


Fonte: Autoria própria (2022)

A NBR 7180 (ABNT, 2016) traz a normativa referente ao limite de plasticidade, onde uma amostra do material foi passada na peneira nº 40 e umidificada com água destilada até se obter uma pasta homogênea. Tomou-se uma pequena quantidade da pasta e rolou-se a mesma sobre a placa de vidro até atingir a forma de um cilindro do tamanho do gabarito de comparação. Em seguida, as partes do cilindro foram colocadas em uma cápsula e levada à estufa. Realizou-se esse procedimento cinco vezes, sempre adicionando mais água à mistura, sendo que o valor para o limite de plasticidade deve ser igual ou inferior a 18%.

Em virtude da variabilidade de materiais que compõem o resíduo de construção civil, fez-se necessário uma análise para identificar os elementos presentes. Para isso, foi enviada ao Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da UFG uma amostra e realizada a análise elementar qualitativa por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), representada na Figura 14.

Figura 14: Imagem do RCC capturada pelo Microscópio Eletrônico de Varredura.



Fonte: LabMic – UFG (2022)

3.2.2 Escolha das dosagens

Para definir o traço a ser utilizado, tomaram-se como embasamento os valores encontrados na literatura existente, onde a quantidade de cimento na mistura varia de 4% a 10%. Desse modo, optou-se por utilizar o traço de 1:10 (1 kg de cimento:10 kg de solo), visto que se torna mais fácil para produção em grandes quantidades.

Com relação à substituição do solo por RCC, existem diversas porcentagens na literatura usada como referência, entretanto, observou-se resultados satisfatórios nos traços com até 50% de RCC. Assim, foram realizados quatro traços com diferentes porcentagens onde a nomenclatura adotada foi formada adotando o prefixo TJ de tijolo, seguido pelo número do traço.

Na definição do fator água/cimento foi considerado um valor constante para todos os traços a fim de verificar apenas a influência da incorporação do RCC na mistura de solo-cimento autoadensável. A porcentagem de aditivo para cada traço foi determinada sob a massa de cimento, observando-se uma relação diretamente proporcional entre os valores de substituição do solo por RCC e a quantidade de aditivo (Tabela 3).

Tabela 3: Traços para a produção de tijolos de solo-cimento autoadensável com adição de resíduo de construção civil.

Identificação	Solo (%)	RCC (%)	Fator água/cimento	Aditivo (%)
TJ-01	90	0	0,7	0,3
TJ-02	80	18,5	0,7	0,8
TJ-03	70	28,2	0,7	1,1
TJ-04	60	38	0,7	1,3

Fonte: Autoria própria (2022)

3.2.3 Produção das misturas

Na produção das amostras, primeiramente a betoneira foi umidificada para não haver alteração no fator água/cimento e em seguida, adicionados os materiais secos (solo, RCC e cimento) até que estivessem totalmente incorporados. Após isso, acrescentou-se metade da água definida para cada traço e ligou-se a betoneira durante 2 minutos. Na sequência, a betoneira foi desligada e colocada a água restante que seguiu sendo misturada por 3 minutos. Por último, adicionou-se o aditivo que foi misturado durante 3 minutos.

3.2.4 Ensaios no estado fresco

Com a mistura pronta, foram realizados os ensaios de espalhamento, anel J e funil V para avaliar como a mesma se comportava no estado fresco.

3.2.4.1 Ensaio de espalhamento

O ensaio de *Slump flow*, também conhecido como ensaio de espalhamento, é definido pela NBR 15823-2 (ABNT, 2017) que tem como objetivo determinar a consistência do concreto pelo espalhamento do tronco de cone de Abrams (Figura 15). A Norma ainda acrescenta que para a mistura ser considerada autoadensável, o diâmetro de espalhamento deve ser superior a 350 mm e não apresentar indícios de segregação e exsudação.

O tronco de cone de Abrams foi colocado sobre uma base plana e preenchido completamente pela mistura sem realizar adensamento. Puxou-se o cone para que a mistura pudesse escoar e a determinação do diâmetro de espalhamento foi obtida pela média aritmética

de duas medidas perpendiculares, em milímetros. Para o tempo de escoamento t_{500} , foi calculado o intervalo de tempo, em segundos, entre o início e o final do escoamento do concreto, a partir do diâmetro do molde até a marca circular de diâmetro 500 mm da base.

Figura 15: Determinação do diâmetro de espalhamento pelo tronco de cone de Abrams.



Fonte: Autoria própria (2022)

3.2.4.2 Ensaio Anel J

O ensaio do anel J serve para verificar as características de escoamento e fluidez da mistura quando exposta a uma barreira. A NBR 15823-3 (ABNT, 2017) determina que o anel J deve ser metálico, com 300 mm de diâmetro e 120 mm de altura, constituído por barras de aço de 16 mm de diâmetro a cada 59 mm.

Antes de iniciar o ensaio, a base e o tronco de cone de Abrams foram umedecidos. O anel J foi posicionado sobre a base e o tronco de cone de Abrams ficou centralizado na marcação circular de 200 mm. Preencheu-se o cone com a mistura de SCAA sem realizar adensamento e em seguida puxou-se o mesmo para verificar o escoamento da mistura com barreira (Figura 16). A determinação do diâmetro de espalhamento foi obtida pela média aritmética de duas medidas perpendiculares, em milímetros.

Figura 16: Determinação do diâmetro de espalhamento pelo Anel J.



Fonte: Autoria própria (2022)

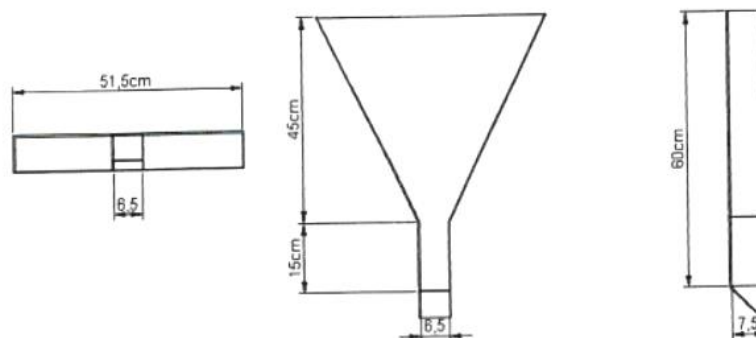
A Equação 1 apresenta o resultado entre as medidas do ensaio de espalhamento (*slump flow*) e o ensaio do anel J.

$$DF = SJ - J \quad \text{Equação (1)}$$

3.2.4.3 Ensaio do funil V

O método do funil V previsto na NBR 15823-5 (ABNT, 2017) determina a viscosidade do fluido, pela medida do tempo de escoamento do mesmo para analisar o fluxo da queda em condição de confinamento. O funil deve ser confeccionado em chapa acrílica ou metálica com as bases retangulares, de acordo com as medidas apresentadas na Figura 17.

Figura 17: Medidas do Funil V de acordo com o especificado em Norma.



Fonte: ABNT (2017)

Tendo em vista que as misturas de SCAA possuem maior viscosidade que as caldas de concreto, foi necessário realizar adaptações no diâmetro de saída do funil. Para isso, utilizou-se o mesmo procedimento da pesquisa de Claverie (2015), onde o funil foi feito com uma garrafa plástica, do tipo PET, como mostra a Figura 18. O mesmo foi preenchido totalmente, sem adensamento e interrupção e o tempo T_{30seg} foi cronometrado com a abertura da comporta e parado quando todo o material havia sido escoado.

Figura 18: Ensaio do Funil V.

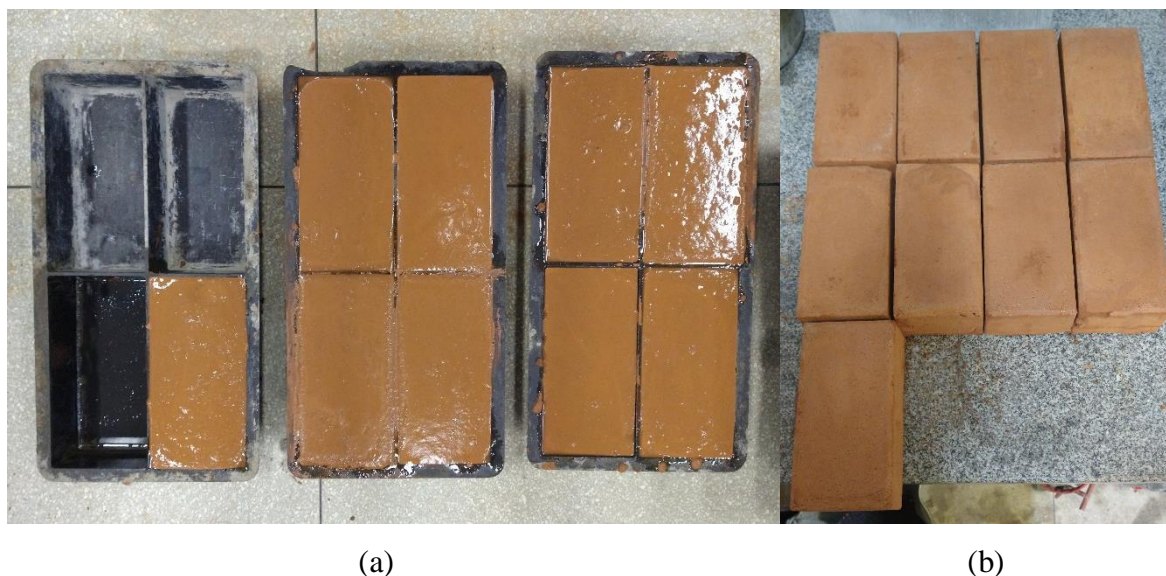


Fonte: Autoria própria (2022)

3.2.5 Fabricação dos tijolos

Na confecção dos tijolos, foi passado desmoldante nas formas de plástico e em seguida, feito o lançamento da mistura de SCAA. Os tijolos foram desformados após 48h e colocados em câmara úmida para cura (Figura 19). Para cada traço foi elaborado 9 tijolos, sendo 3 tijolos para o ensaio de absorção e 3 tijolos para o ensaio de compressão realizados aos 7 dias de cura, e 3 tijolos para o ensaio de compressão realizado aos 28 dias, totalizando 36 tijolos como é apresentado na Tabela 4.

Figura 19: Mistura de SCAA nas formas plásticas (a) e tijolos desformados (b)



Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 4: Quantitativo de amostras produzidas de tijolos de SCAA

Identificação	Ensaio de compressão		Ensaio de absorção	Total
	7 dias	28 dias		
TJ-01	3	3	3	9
TJ-02	3	3	3	9
TJ-03	3	3	3	9
TJ-04	3	3	3	9
Total	12	12	12	36

Fonte: Autoria própria (2022)

3.2.6 Ensaio no estado endurecido

Após o processo de cura, os tijolos foram avaliados segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012) no que tange à análise dimensional, absorção de água e determinação da resistência à compressão.

3.2.6.1 Análise dimensional

A análise dimensional foi determinada com a medição dos elementos realizada com o auxílio de um paquímetro, onde para cada traço, foram medidos 3 tijolos. Segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012), os valores das dimensões podem variar até +/- 1 mm para o comprimento, largura e altura.

3.2.6.2 Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi feito utilizando três tijolos para cada traço, aos 7 dias de cura. Após retirar os tijolos do tanque de água, os mesmos foram levados à estufa sob a temperatura entre 105 °C e 110 °C e deixados para secar durante 24h, onde posteriormente, sua massa seca (m_1) foi medida em gramas. Feito isso, os tijolos foram imergidos em água novamente por um período de 24h, retirados do tanque e secos superficialmente com um pano. Em seguida, aferiu-se sua massa úmida (m_2) e foi aplicada a Equação 2, a fim de determinar o percentual de absorção de água dos tijolos. A amostra ensaiada não pode apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20% e nem valores individuais superiores a 22%.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

3.2.6.2 Resistência à compressão

O ensaio para determinação da resistência à compressão foi feito utilizando três tijolos para cada traço, aos 7 e aos 28 dias de cura. Para realização do ensaio, os tijolos foram cortados ao meio e colados com pasta de cimento CP II-F-32 com cerca de 3mm de espessura e deixados para secagem durante 12h (Figura 200). Após isso, os mesmos foram colocados em tanque com água e retirados após 24h, enxutos com um pano seco e colocados diretamente no centro da prensa.

Figura 20: Tijolos cortados ao meio e unidos com pasta de cimento.



Fonte: Autoria própria (2022)

A prensa utilizada foi a Quanteq, modelo UTM – Q30.000 com capacidade de carga de 30 toneladas-força e está disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFT. A mesma foi configurada para trabalhar com uma aplicação de carga uniforme de 500 N/s, sendo gradativamente elevada até a ruptura do bloco (Figura 21).

Figura 21: Tijolo de SCAA após aplicação de carga na prensa.



Fonte: Autoria própria (2022)

A NBR 8491 (ABNT, 2012), determina que os resultados de resistência à compressão individual dos blocos devem ser superiores a 1,7 MPa e a média dos valores analisados não deve ser inferior a 2 MPa aos 7 dias de cura. A resistência à compressão (f_t) é definida pela razão entre a carga de ruptura (F), medida em Newtons (N) e a área da face de trabalho do corpo de prova (S), expressa em milímetros quadrados (mm^2) conforme Equação 3.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad \text{Equação (3)}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão apresentados os resultados, análises e discussões dos resultados dos ensaios obtidos nesta pesquisa.

4.1 Caracterização dos materiais

Os resultados para os ensaios de caracterização do solo foram obtidos por Rocha et al. (2020), visto que foi utilizado em sua pesquisa o mesmo solo de estudo deste trabalho. Assim, para o RCC, foi feito o destorroamento dos grãos e quarteamento, determinada a umidade higroscópica, massa específica, análise granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade.

4.1.1 Massa específica

Inicialmente, foi determinada a umidade higroscópica do solo e do resíduo de construção civil. Com esses valores, calculou-se a massa específica dos grãos de solo passantes na peneira nº 4 de acordo com o especificado na NBR 6457 (ABNT, 2016), conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5: Resultado de umidade higroscópica e massa específica dos materiais.

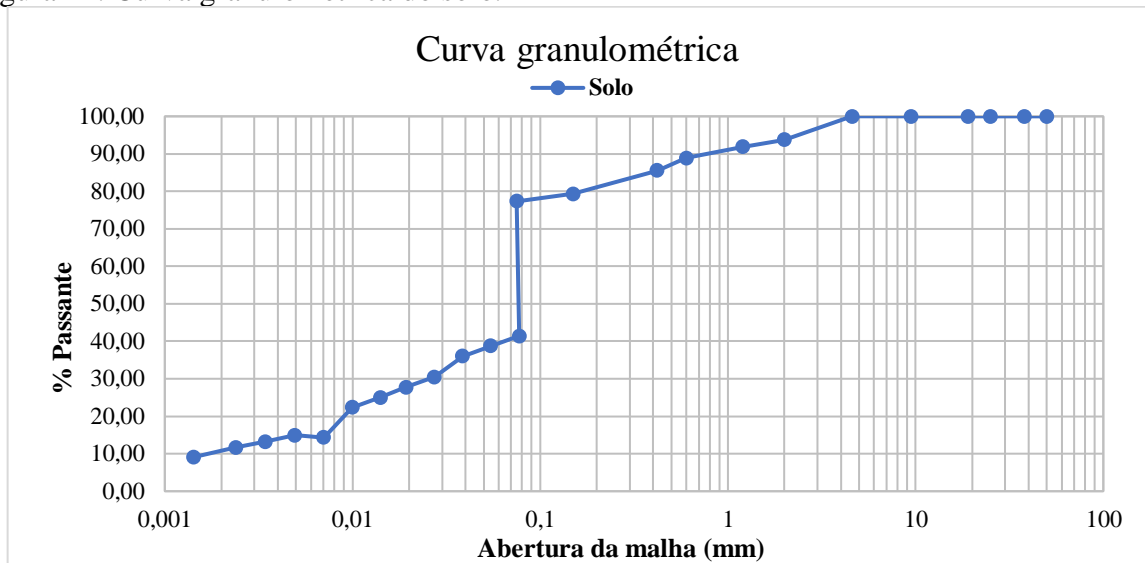
Determinação	Solo	RCC
Massa específica (g/cm³)	2,814	1,238

Fonte: Autoria própria (2022)

4.1.2 Granulometria e classificação dos solos

Conforme os requisitos propostos na NBR 7181 (ABNT, 2016), a análise granulométrica foi realizada por peneiramento e sedimentação, a fim de determinar a curva de distribuição granulométrica do solo e o RCC, como é exposto na Figura 22 e Figura 23.

Figura 22: Curva granulométrica do solo.



Fonte: Rocha et al. (2020)

Figura 23: Curva granulométrica do resíduo de construção civil.



Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com os parâmetros observados pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos - SUCS, o solo foi classificado como SM (areia-siltosa) e o resíduo de construção civil como SW (areia bem graduada). Segundo o critério da *American Association of State Highway*

and Transportation Officials – AASHTO, o solo é classificado como A6 e o resíduo de construção civil é classificado como A-1-a.

4.1.3 Limite de liquidez

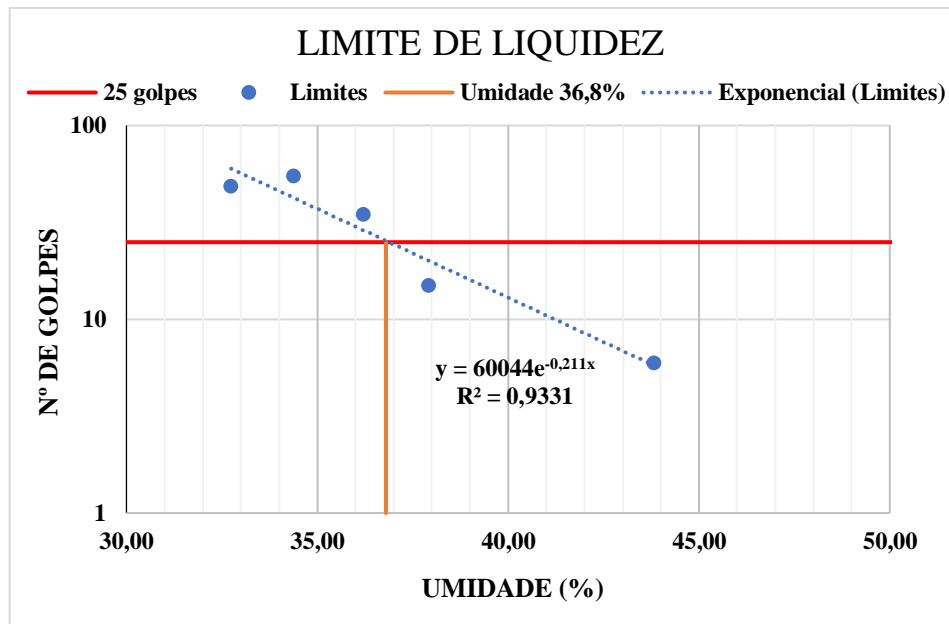
Segundo a NBR 6459 (ABNT, 2016), para a definição do limite de liquidez através do ensaio de Casagrande foram obtidos os valores de umidade em cinco pontos nas amostras testadas de solo e de RCC. Assim, os valores de LL estão descritos na Tabela 6 e os respectivos gráficos estão expostos na Figura 24 e Figura 25.

Tabela 6: Valores de limite de liquidez das amostras analisadas

	Solo	RCC
Limite de liquidez (%)	37	24

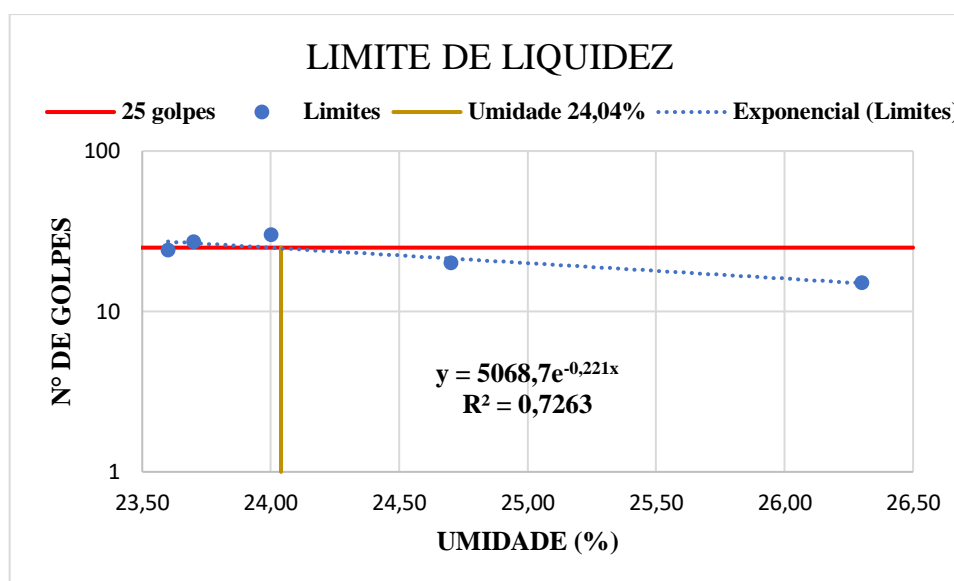
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 24: Limite de liquidez do solo.



Fonte: Rocha et al. (2020)

Figura 25: Limite de liquidez do resíduo de construção civil.



Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme determina a NBR 10833 (ABNT, 2012), o limite de liquidez dos solos utilizados para a produção de tijolo de solo-cimento deve ter umidade menor ou igual a 45%. Neste caso, tanto o solo quanto o RCC obtiveram valores menores, satisfazendo então o parâmetro estabelecido em Norma.

4.1.4 Limite de plasticidade

A NBR 10833 (ABNT, 2012) define que para a produção de tijolos de solo-cimento, o teor de umidade para o limite de plasticidade deve ser menor ou igual a 27%. Após a realização dos ensaios no solo e no RCC, foi possível verificar que ambos materiais atenderam ao requisito exigido em Norma (Tabela 7).

Tabela 7: Valores de limite de plasticidade e índice de plasticidade das amostras analisadas.

	Solo	RCC
Limite de plasticidade (%)	26	NP
Índice de plasticidade (%)	11	NP

Fonte: Autoria própria (2022)

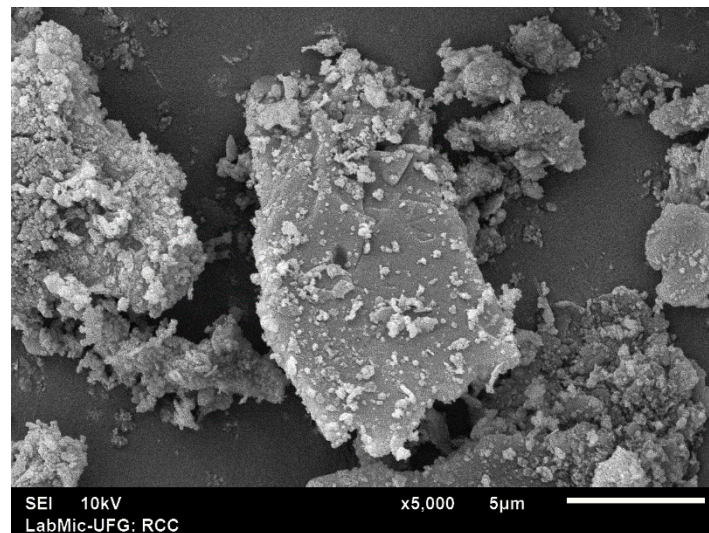
Assim, como é possível observar na Tabela 7, o RCC foi considerado não plástico (NP) já que devido ao baixo teor de finos existentes na amostra, não foi possível moldá-lo para definir seus pontos de umidade. Segundo a NBR 7180 (ABNT, 2016) o índice de plasticidade (IP) é

definido como a subtração do limite de liquidez pelo limite de plasticidade e deve ser menor ou igual a 18%. Assim, o IP do solo de 11% está de acordo com o estabelecido em Norma.

4.2 Análise do RCC

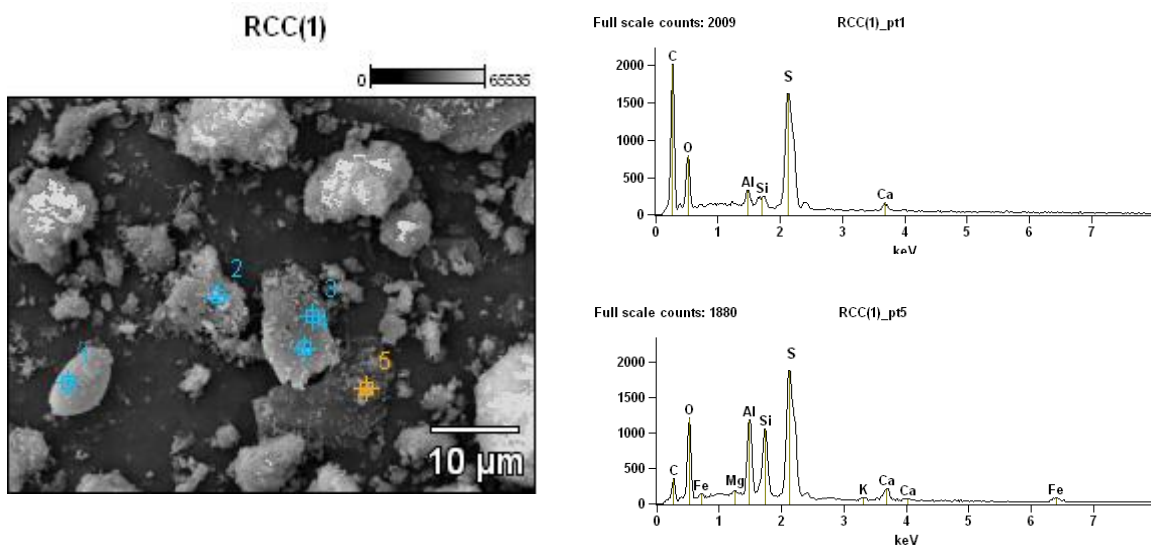
A análise do resíduo de construção civil através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada com o objetivo de verificar algumas características do material. Na Figura 26 e Figura 27 é possível visualizar uma parte dos resultados obtidos.

Figura 26: Resíduo de construção civil em escala microscópica (x5000).



Fonte: LabMic – UFG (2022)

Figura 27: Resultado da MEV com EDS na amostra de RCC no ponto 1 e ponto 5.



Fonte: LabMic – UFG (2022)

No Anexo B são apresentados os pontos analisados na amostra, onde é possível observar os principais elementos presentes como o enxofre (S), alumínio (Al), silício (Si), oxigênio (O) e cálcio (Ca). Estes elementos estão presentes no cimento, cerâmicas, gesso e tijolos cerâmicos que são materiais comuns em resíduos de construção civil.

4.3 Ensaios no estado fresco

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios para estado fresco: ensaios de espalhamento, anel J e funil V.

4.3.1 Ensaio de espalhamento

Os resultados dos ensaios de espalhamento dos traços de estudo são apresentados na Tabela 8. De acordo com a NBR 15823-2 (ABNT, 2017) todos os traços são considerados autoadensáveis já que atingiram valores médios de espalhamento acima de 350 mm. Também se observou homogeneidade das misturas, sem a presença de exsudação ou segregação. Para a classe de espalhamento considerou-se a SF 2 (660 mm a 750 mm) e para o t_{500} a classe VS 1 ($t \leq 2s$).

Tabela 8: Resultados do ensaio de espalhamento e t_{500} .

Traço	Slump flow (mm)	Slump flow médio (mm)	t_{500} (s)
TJ-01	790	785	0,24
	780		
TJ-02	770	775	0,75
	780		
TJ-03	750	755	1,20
	760		
TJ-04	690	695	1,92
	700		

Fonte: Autoria própria (2022)

Ao se aumentar a quantidade de RCC no traço, foi possível notar que houve uma redução do diâmetro de espalhamento e um aumento no tempo t_{500} . Isso ocorreu devido a mistura ficar mais consistente graças a adição de partículas mais grossas, aumentando o atrito e o tempo de

espalhamento. Apenas o traço TJ-04 atingiu a classe de espalhamento SF 2 e todos os traços atingiram o $t_{500} \leq 2s$.

4.3.2 Ensaio anel J

A Tabela 9 apresenta os resultados para o ensaio do anel J com 16 barras de aço. A classe de habilidade passante foi a PJ2 (25 mm a 50 mm).

Tabela 9: Resultados do ensaio do anel J.

Traço	Espalhamento (mm)	Espalhamento médio (mm)
TJ-01	710	715
	720	
TJ-02	680	675
	670	
TJ-03	650	645
	640	
TJ-04	620	615
	610	

Fonte: Autoria própria (2022)

A diferença nos resultados entre os ensaios de espalhamento (*slump flow*) e o ensaio do anel J é apresentada na Tabela 10. Como é possível observar, todos os traços ficaram acima do valor especificado para a classe PJ2.

Tabela 10: Resultados da diferença do ensaio de espalhamento e o ensaio do anel J.

	Espalhamento final (mm)
TJ-01	70
TJ-02	100
TJ-03	110
TJ-04	80

Fonte: Autoria própria (2022)

4.3.3 Ensaio funil V

Como dito anteriormente, o ensaio do funil V foi readaptado e utilizado em seu lugar uma garrafa PET. A Tabela 11 apresenta os resultados do tempo de escoamento de cada traço.

Tabela 11: Resultado do tempo de escoamento do ensaio do funil V.

	Tempo de escoamento (s)
TJ-01	9,58
TJ-02	11,41
TJ-03	13,25
TJ-04	19,25

Fonte: Autoria própria (2022)

A classe de viscosidade plástica aparente pelo funil V foi definida como VF2 (9 a 25 s). Como observado, todos os traços ficaram dentro da classe especificada.

4.4 Ensaio de absorção de água

O ensaio foi realizado conforme os procedimentos determinados na NBR 8492 (ABNT, 2012). Separou-se três blocos de cada traço produzido aos 7 dias de cura e obteve-se os dados de massa seca, massa úmida. A porcentagem de absorção de água, desvio padrão e coeficiente de variação estão expostos na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados dos ensaios de absorção para os tijolos de SCCA.

Traço	% de absorção	Desvio padrão
TJ-01	37,80	0,652
TJ-03	34,65	0,230
TJ-01	32,24	0,612
TJ-03	26,00	0,409

Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme explicitado pela NBR 8491 (ABNT, 2012), a absorção máxima de água aos 7 dias de cura para cada amostra individual não deve ser superior a 22% e para a média das

amostras, não deve ultrapassar 20%. Dessa forma, observa-se que os tijolos de todos os traços não atenderam aos critérios de absorção de água.

Analisando os valores, é possível verificar que à medida que se elevou a quantidade de RCC na amostra, menor foi o percentual de absorção de água dos tijolos. Isso pode estar ligado ao aumento da composição granulométrica grossa, visto que quanto mais partículas finas presentes em uma amostra, maior é sua capacidade de armazenar água. Sendo assim, ao elevar a quantidade de resíduo ocorreu uma diminuição da porosidade e conseqüentemente uma taxa de absorção de água menor.

4.5 Ensaio de resistência à compressão

Na realização do ensaio de resistência à compressão foram analisados os tijolos com cura aos 7 dias e aos 28 dias. Assim, a NBR 8491 (ABNT, 2012) determina que a média das resistências dos tijolos de solo-cimento aos 7 dias de cura não deve ser inferior a 2,0 MPa e para as resistências individuais, não deve ter valores inferiores a 1,7 MPa. A Tabela 13 apresenta os resultados de resistência média e desvio padrão.

Tabela 13: Resistência média aos 7 dias e desvio padrão.

Traço	Resistência média (MPa)	Desvio padrão
TJ-01	1,90	0,029
TJ-02	1,66	0,011
TJ-03	1,92	0,005
TJ-04	2,06	0,014

Fonte: Autoria própria (2022)

Em relação aos valores individuais de cada tijolo, apenas o tijolo 1 do traço TJ-01 e os tijolos 2 e 3 do traço TJ-02 não atingiram resistência superior a 1,7 MPa após os 7 dias de cura. Presume-se que isso pode ter ocorrido devido a superfície do tijolo que fica em contato direto com a prensa não está 100% lisa, o que influencia nos valores de resistência encontrados.

Pode-se verificar também que segundo os critérios de resistência mínima aos 7 dias de cura, apenas o traço TJ-04 atingiu o valor de 2 MPa para a resistência média. Como a amostragem do ensaio é pequena, deduz-se que a provável causa para esse resultado deve-se ao fato de ser o traço com a maior parcela de substituição de solo por resíduo de construção civil.

Os resultados do ensaio realizado aos 28 dias de cura são apresentados na Tabela 14 onde estão descritos a resistência média e o desvio padrão de cada traço analisado.

Tabela 14: Resistência média aos 28 dias e desvio padrão.

Traço	Resistência média (MPa)	Desvio padrão
TJ-01	3,10	0,020
TJ-02	2,63	0,029
TJ-03	4,17	0,029
TJ-04	4,18	0,004

Fonte: Autoria própria (2022)

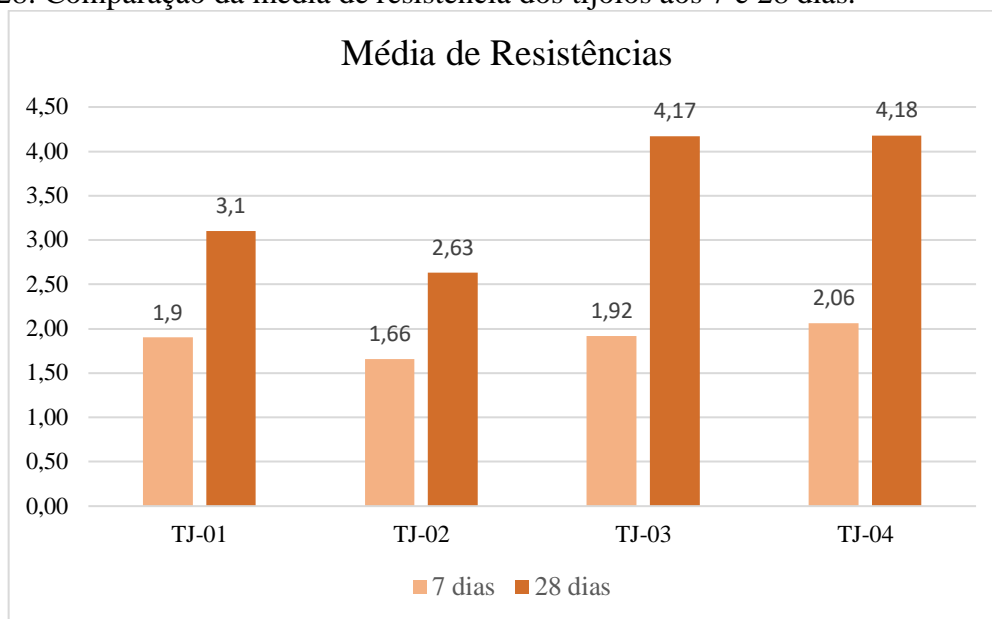
Ao analisar as resistências dos tijolos aos 28 dias de cura, todos os traços alcançaram médias acima de 2 MPa. A 5 apresenta o ganho percentual de resistência das amostras entre os 7 e 28 dias e a variação entre as médias de resistência dos traços está exibida na Figura 28. Com esses dados, é possível fazer a análise comparativa entre os traços e verificar a influência da adição de RCC nos tijolos de solo-cimento autoadensável.

Tabela 15: Ganho percentual de resistência aos 28 dias em relação ao valor de 7 dias.

Traço	Média aos 7 dias (MPa)	Média aos 28 dias (MPa)	Ganho de resistência (%)
TJ-01	1,90	3,10	63,16
TJ-02	1,66	2,63	58,43
TJ-03	1,92	4,17	117,19
TJ-04	2,06	4,18	102,91

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 28: Comparação da média de resistência dos tijolos aos 7 e 28 dias.



Fonte: Autoria própria (2022)

Ao analisar os dados apresentados na Figura 28 é possível fazer um comparativo do traço TJ-01 que não tinha nenhuma adição de RCC com os demais traços que possuíam uma parcela de solo substituída por RCC. Observou-se que os traços TJ-03 e TJ-04 alcançaram um ganho de resistência maior com relação ao traço TJ-01. Entretanto, o traço TJ-02 teve um ganho de resistência menor comparado ao traço de referência.

Comparando os traços com a adição de RCC, percebe-se que apesar do traço TJ-04 ter a maior média de resistência, o traço TJ-03 que possui 30% de adição de RCC foi o que teve o maior ganho de resistência entre as idades de 7 e 28 dias. Sendo assim, o aumento do teor de RCC de 30% para 40% não influenciou no ganho de resistência.

Alguns fatores podem ter influenciado nos valores obtidos nesta pesquisa, como por exemplo, a disponibilidade de materiais, as condições de fabricação dos tijolos, o tempo que a mistura ficou na betoneira enquanto os ensaios nos estados frescos eram realizados, a resistência da pasta de cimento na união dos blocos e a execução do ensaio de compressão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados para caracterização do solo e do RCC satisfizeram o esperado, uma vez que foram obedecidos os critérios de granulometria máxima, percentual de finos, limite de liquidez e limite de plasticidade estabelecidos na NBR 8491 (ABNT, 2012). A análise do resíduo de construção civil também indicou presença de materiais como o enxofre (S), alumínio (Al), silício (Si), oxigênio (O) e cálcio (Ca). Estes elementos formam o CaO, SiO₂, Al₂O₃ (presentes no cimento e em cerâmicas) e CaSO₄ (gesso), materiais que são comuns em resíduos de construção civil.

No estudo das amostras em estado fresco, percebeu-se que quanto maior a quantidade de resíduo, menos fluida a amostra era. Mesmo assim, todos os traços apresentaram fluidez suficiente para o autoadensamento sem sinais de segregação e exsudação da mistura.

Com a substituição parcial do solo por resíduo de construção civil, foi possível observar no ensaio de absorção que os quatro traços não atenderam os requisitos exigidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012), uma vez que seus valores médios de absorção de água foram superiores a 20%. Entretanto, observou-se que conforme aumentava-se a porcentagem da substituição do solo por resíduo, diminuiu-se a porcentagem de absorção de água do tijolo, sendo o traço TJ-04 o que mais se aproximou do valor estipulado pela Norma.

No ensaio de resistência à compressão aos 7 dias de cura, apenas o traço TJ-04 atingiu o valor de 2 MPa para a resistência média. Aos 28 dias de cura, todos os traços atingiram valores superiores a 2 MPa para a resistência média.

Por fim, para a produção de tijolos solo-cimento autoadensável aplicado em alvenaria de vedação, não se recomenda a substituição parcial do solo por resíduos da construção civil com os traços indicados nesta pesquisa, uma vez que os critérios estabelecidos em Norma não foram atendidos.

5.1 Sugestões para pesquisas futuras

Assim, recomenda-se para próximas pesquisas realizar uma análise comparativa entre os custos para se construir com alvenaria tradicional e alvenaria com solo-cimento autoadensável. Também é possível verificar a atuação de diferentes plastificantes nas misturas de solo-cimento autoadensável.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. 2016.
- _____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2016.
- _____. **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. 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, 2012.
- _____. **NBR 15823**: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro. 2017
- BASF S.A – Ficha técnica para o aditivo MasterGlenium 51. Disponível em:
<<https://www.supracon.com.br/userfiles/produtos/5c28acbc11e451d69840f4455d8c5429.pdf>>
. Acesso em 09 out. 2021.
- BEZERRA, F. A. C. **Análise da utilização de filito como substituição de parcela do solo em tijolos de solo-cimento com resíduos de construção civil**. 113 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2021.
- BEZERRA, F. T. C.; LAFAYETTE, K. P. V. **Avaliação do Resíduo da Construção e Demolição (RCD) em solo-cimento**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 1, 2016.
- BRITO, M. F.; PICANÇO, A. P. **Diagnóstico do gerenciamento de resíduos Sólidos da construção civil-RCC no município de Palmas -TO, com foco nas ações públicas**. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 2, n. 02, p. 221-239, jan/jun 2016.
- CARVALHO, T. M. P.; LOPES, W. G. R. **A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil**. VII CONNEPI Palmas, TO. 2012.

CLAVERIE, J. **Estudo da influência da cinza de casca de arroz e da cal nas propriedades do solo-cimento autoadensável**. Ilha Solteira, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2015.

CONAMA (2002). **Resolução nº 307, de 5 de junho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. p. 95-96. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br>>. Acesso em: 01 out. 2021.

CORDEIRO, M. E. V. M.; CONCEIÇÃO, P. M. da; LIMA, T. V. **A educação ambiental e o uso do solocimento**. Vértices, v. 8, n. 1/3. Ed. Essencia. Rio de Janeiro, 2006.

DI MARCO, A. R. **Pelos Caminhos da terra**. Projeto, n.65, p.47-59, jul. 1984.

FERNANDES, G. F. Utilização do solo-cimento auto-adensável na fabricação de blocos de alvenaria. **Unesp.br**, 2017.

GONÇALVES, T. D.; GOMES, M. I. **Construção de terra crua: potencialidades e questões em aberto**. Jornadas LNEC, Lisboa, v. 18, 2012.

HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert. **Earth Construction: a comprehensive guide**. London, UK: Intermediate Technology Publications, 1994.

LLAJARUNA, M. A. V. **Estudo do solo-cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção**. Ilha Solteira, 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. **Execução e inspeção da alvenaria racionalizada**. 3.ed São Paulo: O Nome da Rosa, 2004. 104 p.

MENDES, C. J. **Concreto auto adensável utilizado cinza de casca de arroz: estudo das propriedades mecânicas**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista —Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2015.

MILANI, A. P. S.; SOUZA, B. R.; AYALA, J. M. **A influência do método de produção do solo-cimento autoadensável nas propriedades das paredes monolíticas**. In: VII Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil, 2018, Rio de Janeiro. Terra Brasil 2018, 2018. v. 1. P. 60-67.

MINKE, G. **Manual de construccion em tierra**. Editora Fin del Siglo, 2011.

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges. **Técnicas de construção com Terra**. Bauru: FEB-UNESP/ PROTERRA, 2011. 79 p.

NORONHA, D. V. C. **SOLO-CIMENTO**. 2018. Disponível em: <<https://www.academia.edu/6888467/SOLO-CIMENTO>>. Acesso em: 3 out. 2021.

PALMAS. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO**. Anexo IV ao Decreto nº 700, de 15 de janeiro de 2014. Volume IV: Resíduos Sólidos. 2014. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/12357424-Plano-municipal-de-saneamento-basico-de-palmas-to.html>>. Acesso em: 01 out. 2021.

PASSUELLO, A. C. B.; OLIVEIRA, A. F.; COSTA, E. B.; KIRCHHEIM, A. P. Aplicação da avaliação do ciclo de vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, out./dez. 2014.

PISANI, M. A. J. **Taipas: a arquitetura de terra**. Sinergia, São Paulo, v.5. 2004.

PONTES, M. M. C., **Arquitetura de terra: um desenho para a durabilidade das construções**. 2012. 316 f. Dissertação. Faculdade de ciências e tecnologias da Universidade de Coimbra. Coimbra.

ROCHA, J. F. F.; DI NERO, C. M. M., SILVA, H. B. D.; ALMEIDA, I. A.; BORGES, Y. I. S.; *Análise comparativa entre métodos empíricos de predição de permeabilidade saturada para um latossolo vermelho*. 2020. Artigo não publicado. Universidade Federal do Tocantins.

SANTOS, D.R. **Propriedades do Concreto Produzido com Agregado Graúdo Reciclado de Resíduos da Etapa de Produção das Alvenarias**. Dissertação. Universidade Federal de Goiás. 2006.

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

SILVA, P. E.; MOREIRA, R. R. **Projeto de alvenaria de vedação – diretrizes para a elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR 15575: 2013**. 2017. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017.

SIMIONI, F. C.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; SOUZA, B. G. Solo-cimento autoadensável com incorporação de areia de resíduos de construção civil para aplicação em sistema de vedação vertical. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 281–296, dez. 2020.

SOUZA, M. I., Segantini, A. A., & Pereira, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. 2008. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 205-212.

TAUIL, Carlos Alberto; NESE, Flávio José Martins. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2010. 183 p. Coordenação de Manuais Técnicos: Josiani Souza.

THOMAZ, E. et. al. **Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2009.

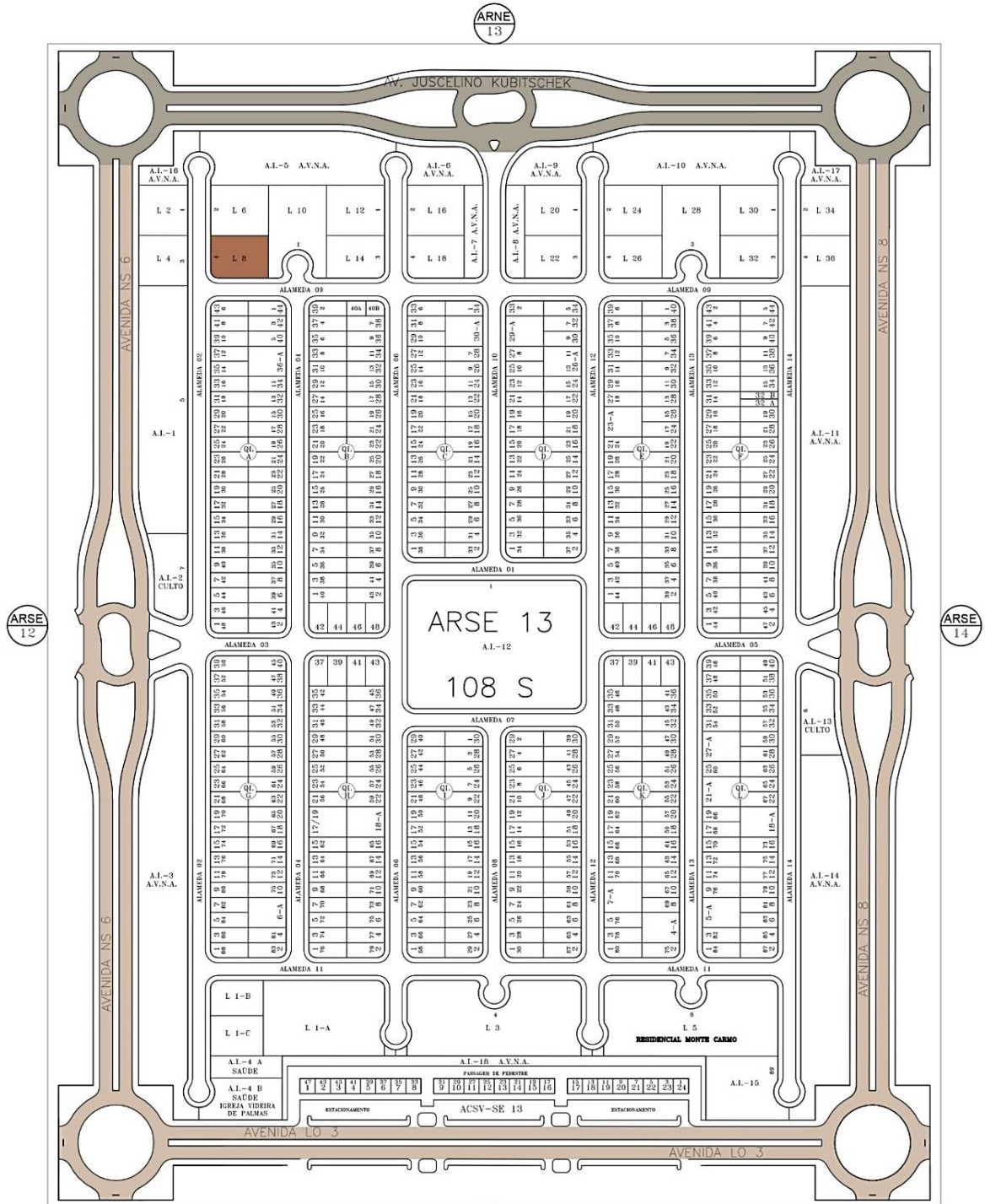
TOCANTINS. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins**. Semarh – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017. Disponível em: <<https://central.to.gov.br/download/224962>>. Acesso em: 01 out. 2021.

TORGAL, F.P.; EIRES, R.M.G.; JALALI, S. **Construção em terra**. Ed. Tec Minho. Coimbra, Portugal, 2009.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de Construção**. Ed. Tec Minho. Coimbra, Portugal, 2010.

ULSEN, C.; KAHN, H.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M.; **Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do estado de São Paulo**. Revista Escola de Minas, v. 2, n. 63, 2010.

ANEXO A – LOCAL DE COLETA DO SOLO



LEGENDA

- Local de coleta do solo
- Avenidas LO 03, NS 06 e NS 08
- Avenida Juscelino Kubitscheck

Escala Gráfica 0 30 30 m

- A.I. - Área Institucional
- A.V.N.A. - Área Verde non aedificandi
- Q.I. - Quadra Interna
- C.R. - Culto Religioso
- A.C.S.V. - Área de Comercio e Serviço Vicinal



ARSE 13

ARSE 12

ARSE 14

ARSE 23

ANEXO B – ANÁLISE DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

RCC(1)

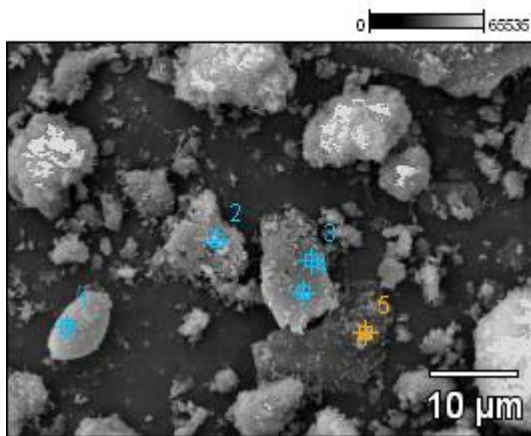


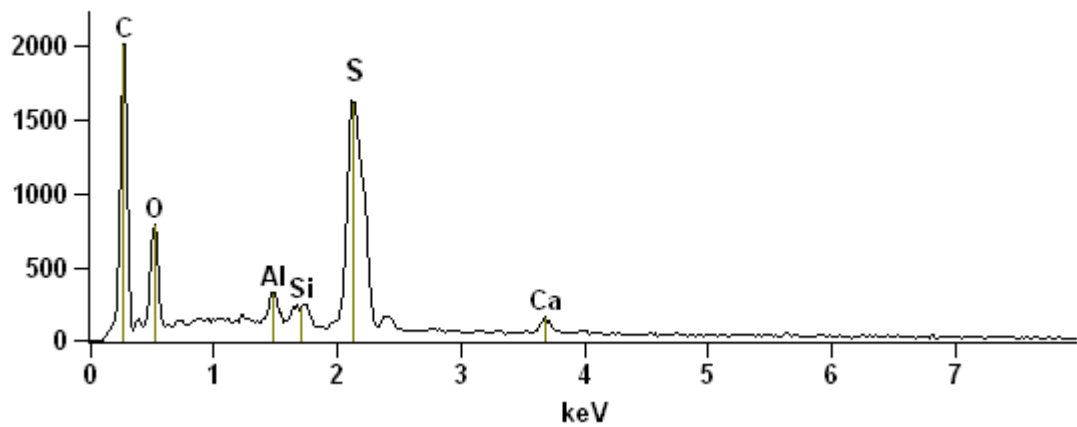
Image Name: RCC(1)

Accelerating Voltage: 15.0 kV

Magnification: 2000

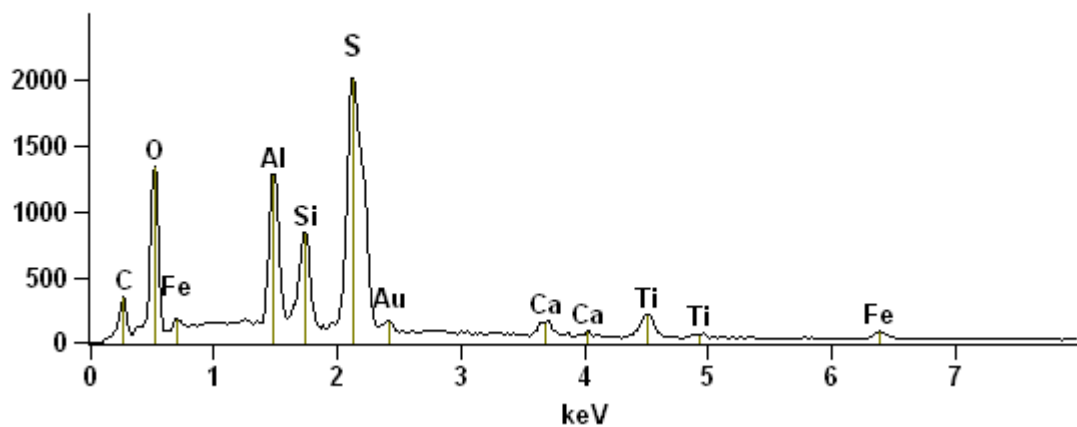
Full scale counts: 2009

RCC(1)_pt1



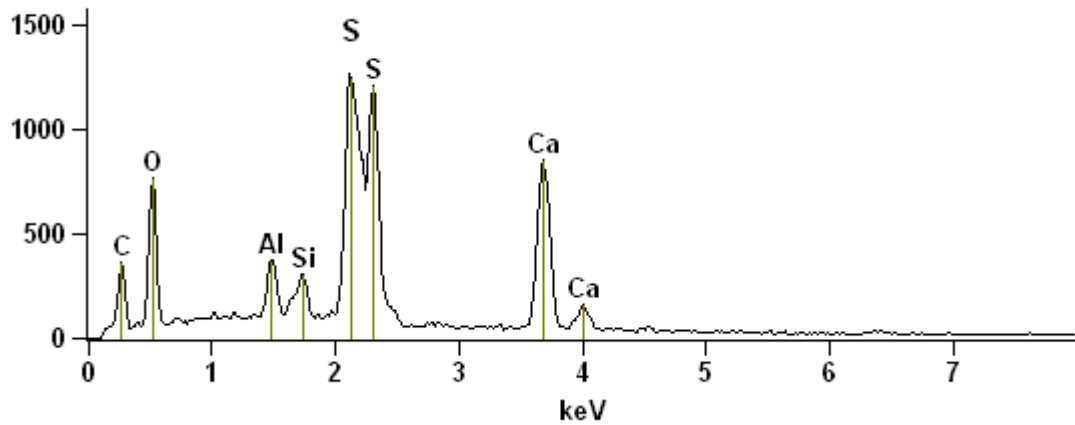
Full scale counts: 2007

RCC(1)_pt2



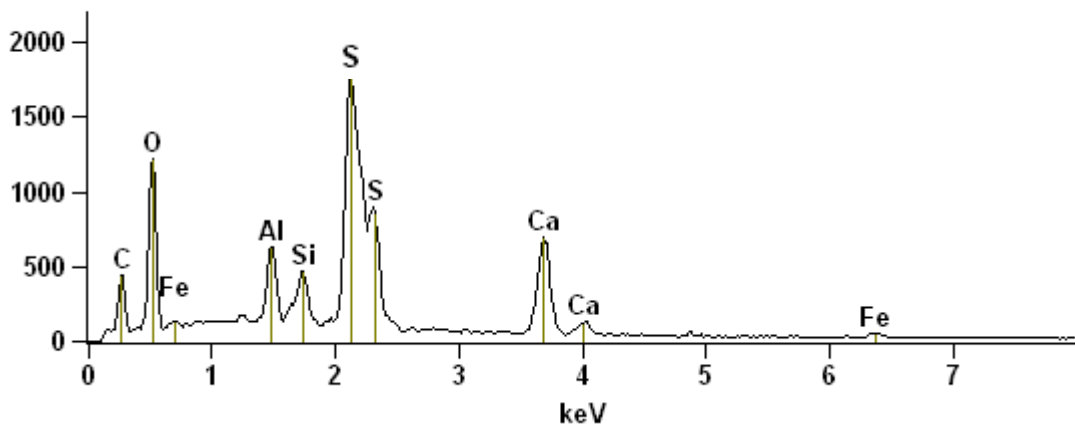
Full scale counts: 1266

RCC(1)_pt3



Full scale counts: 1764

RCC(1)_pt4



Full scale counts: 1880

RCC(1)_pt5

