

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ESTÂNCIA

DIRETORIA DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ELVIA SORAYA SANTOS NASCIMENTO

**TIJOLO DE SOLO - CIMENTO COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE
CORTE DE GRANITO**

MONOGRAFIA

ESTÂNCIA

2019

ELVIA SORAYA SANTOS NASCIMENTO

**TIJOLO DE SOLO - CIMENTO COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE
CORTE DE GRANITO**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância.

Orientador: Prof.^a Ma. Fernanda Martins
Cavalcante de Melo

Coorientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira

ESTÂNCIA

2019

N244i Nascimento, Elvia Soraya Santos.
Tijolo de solo - cimento com reaproveitamento de resíduos de corte de granito. / Elvia Soraya Santos Nascimento. – Estância, 2019.
62 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2019.

Orientador: Profa. Ma. Fernanda Martins Cavalcante de Melo.

Coorientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira

1. Tijolo. 2. Solo. 3. Cimento. 4. Granito. 5. Construção civil. 6. Sustentabilidade I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Melo, Fernanda Martins Cavalcante de. III. Oliveira, Herbet Alves de Oliveira. IV. Título.

CDU: 624:666.712-022.316

Errata

Título do trabalho: Tijolo de solo - cimento com reaproveitamento de resíduo de corte de granito

Natureza do trabalho: Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância.

Nome do autor: Elvia Soraya Santos Nascimento

Orientadora: Prof.^a Ma. Fernanda Martins Cavalcante de Melo

Coorientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira

Data de aprovação: 16/12/2019

Correção:

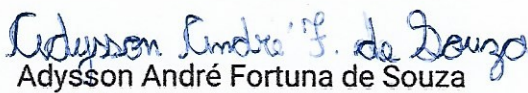
Termo de Aprovação

Linha: 1

Onde se lê: 16 de dezembro de 2016

Leia-se: 16 de dezembro de 2019

Estância, 08 de julho de 2020.


Adysson André Fortuna de Souza

Coordenador do curso de Engenharia Civil


Adysson André Fortuna de Souza
Coord de Curso de Eng. Civil
SIAPE 2965033
IFS Campus Estância

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

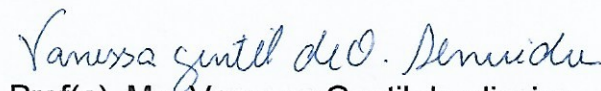
**TIJOLO DE SOLO - CIMENTO COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE
CORTE DE GRANITO**

ELVIA SORAYA SANTOS NASCIMENTO

Esta monografia foi apresentada às 8:30 horas do dia 16 de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof. Me. Paulo André Barbosa Ávila
Silva

(IFS – Campus Lagarto)


Prof(a). Ma. Vanessa Gentil de oliveira
Almeida Silva

(IFS – Campus Estância)


Prof(a). Ma. Fernanda Martins
Cavalcante de Melo

(IFS – Campus Estância)
Orientador(a)


Prof. Me. Adysson André Fortuna de
Souza

(IFS – Campus Estância)
Coordenador(a) da COEC

Dedico este trabalho a Deus, porque sem Ele eu não conseguiria persistir, a minha mãe por todo apoio necessário e a mim mesma porque mesmo exausta física e mentalmente eu consegui chegar até o fim.

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda força que eu sei que veio dEle, em cada momento que eu me senti enfraquecer eu sabia que a mão poderosa dEle estava a me sustentar.

A minha mãe Gilvane Soares Nascimento por cada palavra que me fortaleceu, por cada oração dedicada a mim, pela entrega e por todo amor, a meu pai Sivaldo Soares Santos por todo apoio e incentivo.

A meu namorado, Moises de Oliveira Silva Júnior por todas as vezes que me ouviu quando eu precisava desabafar, me apoiou, me deu força e se prontificou a ajudar mesmo sem entender nada, obrigada.

A meus irmãos Anny Salonny Santos Nascimento e Gian Glauberty Santos Nascimento por toda energia positiva e oração que me direcionaram.

A Prof.^a Ma. Fernanda Martins Cavalcante de Melo por toda orientação e incentivo pela busca do conhecimento, por toda dedicação e empenho nesta pesquisa, essa jornada certamente me fez enxergar além.

Ao Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira por todo conhecimento e auxílio na análise dos dados.

Aos professores Ma. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva e Me. Paulo André Barbosa Ávila Silva por todos as sugestões para a melhoria da presente pesquisa.

As minhas colegas Hayala Karoline e Patricia Campos por toda ajuda prestada e empurrões na direção necessária.

As técnicas de laboratório Jucicléa Santos e Suellen pela presteza e apoio sempre, vocês são um dos marcos importantes dessa jornada.

Aos meninos e meninas do integrado e subsequente que as suas maneiras dedicaram esforço e tempo para o andamento dessa pesquisa, obrigada.

Para minhas amigas que ouviram as minhas reclamações e lamurias com paciência e me deram forças através das palavras, vocês moram em meu coração.

A todos que me disseram que eu conseguiria, meu muito obrigada.

A vida é um mistério.

“Entretanto, Ele me declarou: “A minha graça te é suficiente, pois o meu poder se aperfeiçoa na fraqueza”. Sendo assim, de boa vontade me gloriarei nas minhas fraquezas, a fim de que o poder de Cristo repouse sobre mim”. – II Coríntios 12:9

“Saio em busca de um grande talvez” - François Rabelais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo do tijolo ou bloco vazado	21
Figura 2 – Modelo do Tijolo Maciço	22
Figura 3 – Etapas do processo produtivo típico de rochas ornamentais	23
Figura 4 – Ensaio de granulometria	28
Figura 5 – Ensaio de determinação da massa específica aparente do solo	28
Figura 6 – Ensaio de limite de liquidez	29
Figura 7 – Ensaio de limite de plasticidade	29
Figura 8 – Ensaio de massa específica real do solo	29
Figura 9 – Ensaio de pasta de consistência normal	30
Figura 10 – Determinação do de tempo de pega	30
Figura 11 – Ensaio da massa especifica real do cimento	31
Figura 12 – Ensaio da determinação da resistência à compressão normal	31
Figura 13 – Ensaio de determinação da massa específica aparente do resíduo	32
Figura 14 – Ensaio da massa especifica real do resíduo de granito	32
Figura 15 – Ensaio de compactação do solo	34
Figura 16 – Materiais para mistura manual	35
Figura 17 – Prensagem dos tijolos	35
Figura 18 – Prensa utilizada	36
Figura 19 – Fluxograma de etapas	37
Figura 20 – Etapas realizadas para ensaio de resistência à compressão,	40
Figura 21 – Etapas realizadas para ensaio de resistência de durabilidade, A) Tijolos postos na estufa; B) Escovação dos tijolos 2 e 3; C) Tijolos na água; D) Tijolos retirados da água para secagem; E) Pesagem depois de úmido	41
Figura 22 – Padrão de difratometria de raios X do resíduo de granito	47
Figura 23 – Resultados de absorção de água	49

Figura 24 – Resultados de compressão, absorção, perda de massa e massa específica do tijolo

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões nominais do tijolo	21
Tabela 2 – Perfil da produção brasileira por tipo de rocha – 2017	25
Tabela 3 – Resultado dos tijolos prensados com as umidades obtidas no ensaio de compactação	34
Tabela 4 – Testes para obtenção do teor de umidade e percentual areia/solo	34
Tabela 5 – Formulações dos tijolos de solo-cimento por substituição do cimento	38
Tabela 6 – Formulações dos tijolos de solo-cimento por substituição do solo	38
Tabela 7 – Granulometria do solo inicial	42
Tabela 8 – Caracterização física do solo, resíduo e misturas do solo com resíduo ..	43
Tabela 9 – Valores da literatura para massa específica dos grãos dos resíduos de rocha ornamental	45
Tabela 10 – Composição química do resíduo	46
Tabela 11 – Propriedades físicas e químicas do cimento.	47
Tabela 12– Resultados do ensaio de resistência à compressão simples (MPa).....	50
Tabela 13 – Perda de massa dos tijolos aos 7 dias (média após 6 ciclos)	51

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ANOVA	<i>Analysis Of Variance</i>
BNH	Banco Nacional de Habitação
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CETEMAG	Centro Tecnológico de Mármore e Granito
CPA	Cement Portland Association
CPII – Z	Cimento Portland Composto com Pozolana
DRX	Difração de Raio X
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISIM	Instituto Internazionale del Marmo
NBR	Norma Brasileira
NUPEG	Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás
RCG	Resíduo de Corte de Granito
RMG	Resíduo de Mármore e Granito
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

RESUMO:

NASCIMENTO, Elvia Soraya Santos. **Tijolo de solo - cimento com reaproveitamento de resíduo de corte de granito**. 62. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Estância. 2019.

O setor da construção civil consome uma grande quantidade dos recursos naturais existentes, causando impactos negativos ao meio ambiente. De igual modo, está o setor da indústria de corte de rochas ornamentais, que produz uma grande quantidade de rejeito em forma de lama, composta de água, gralha de aço, cal hidratado e o próprio pó da rocha serrada. Portanto, tem-se procurado cada vez mais a redução do consumo e minimização dos impactos gerados por tais setores. O tijolo de solo-cimento, produzido a partir da mistura de solo, água, cimento e adição de resíduo do corte do granito, é uma opção para suprir tais necessidades. Aliando as demandas do mercado às preocupações ambientais, este trabalho propõe o estudo do reaproveitamento de resíduo proveniente do corte do granito para substituir o cimento, nas porcentagens de 5%, 10% e 20%, e nas porcentagens de 20%, 30% e 40%, para substituir o solo. Foram produzidos 13 corpos de prova para cada formulação em um traço de 1:8, totalizando 91 tijolos, que foram testados quanto a sua resistência à compressão, massa específica, absorção e durabilidade. Os resultados obtidos nos tijolos, com substituição dos componentes pelo resíduo, se enquadraram dentro do esperado em comparação com o tijolo fabricado como referência, sendo o traço com 5% de substituição parcial do cimento (Ts1/5 C) o melhor em desempenho quanto a resistência à compressão, absorção e durabilidade.

Palavras-chave: Tijolo. Solo-cimento. Granito. Construção civil. Sustentabilidade.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Elvia Soraya Santos. **Tijolo de solo - cimento com reaproveitamento de resíduo de corte de granito**. 62. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Estância. 2019.

The civil construction sector consumes a large amount of existing natural resources, causing negative impacts on the environment. Likewise, there is the sector of the ornamental stone cutting industry, which produces a large amount of waste in the form of mud, composed of water, steel grit, hydrated lime and the sawn rock powder itself. Therefore, there has been an increasing attempt to reduce consumption and minimize the impacts generated by such sectors. The soil-cement brick, produced from the mixture of soil, water, cement and addition of waste from the granite cut, is an option to supply such needs. Combining market demands with environmental concerns, this work proposes the study of the reuse of waste from cutting granite to replace cement, in the percentages of 5%, 10% and 20%, and in the percentages of 20%, 30% and 40%, to replace the soil. 13 specimens were produced for each formulation in a 1: 8 line, totaling 91 bricks, which were tested for compressive strength, specific mass, absorption and durability. The results obtained in the bricks, with replacement of the components by the residue, fit within the expected in comparison with the brick manufactured as a reference, being the line with 5% partial replacement of cement (Ts1/5 C) the best in performance in terms of compressive strength, absorption and durability.

Keywords: Brick. Soil-cement. Granite. Construction. Sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	13
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
1.3	OBJETIVOS.....	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos.....	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
2.2	SOLO-CIMENTO	19
2.2.1	Histórico	19
2.3	TIJOLO DE SOLO-CIMENTO.....	20
2.4	RESÍDUO DO CORTE DO GRANITO	23
2.4.1	Características específicas do resíduo e sua influência nas propriedades do tijolo.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1	MATERIAIS	27
3.1.1	Solo.....	27
3.1.2	Cimento	30
3.1.3	Resíduo de corte de granito.....	31
3.1.4	Água	33
3.2	MÉTODOS.....	33
3.2.1	Procedimento de dosagem, mistura e moldagem.....	38
3.2.2	Ensaio de resistência à compressão, absorção de água e massa específica	38
3.2.3	Durabilidade.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DE PARTIDA	42
4.1.1	Análise granulométrica	44
4.1.2	Massa específica real e Massa específica aparente	44
4.1.3	Limites de consistência.....	45
4.1.4	Composição química do resíduo	46
4.1.5	Difratometria de Raio-X	46
4.1.6	Composições física e química do cimento.....	47

4.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DOS TIJOLOS	48
4.2.1	Ensaio de absorção	48
4.2.2	Ensaio de resistência à compressão simples	49
4.2.3	Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem	51
4.2.4	Comparativo entre as características físico-mecânicas dos tijolos	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
5.1	CONCLUSÕES PRINCIPAIS	53
5.2	CONCLUSÕES FINAIS	54
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo serão apresentadas as considerações iniciais sobre o tema tratado, bem como as justificativas que permearão os próximos capítulos, objetivos e delimitação do tema. A partir dos tópicos aqui tratados, torna-se possível o entendimento da condução da pesquisa resultante nessa monografia.

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

A alta probabilidade de escassez dos recursos naturais é a maior justificativa para a busca pela sustentabilidade. A cada dia fazem-se necessários novos materiais e técnicas que minimizem os impactos ambientais e não somente isso, mas que também estejam ligados aos aspectos sociais e econômicos.

Neste contexto, atenção especial tem sido dada ao destino dos resíduos sólidos das atividades industriais. Além disso, os regulamentos ambientais tornaram-se cada vez mais restritivos. Com base nestes problemas, os centros de pesquisa, universidades e indústrias têm sido continuamente desafiados a converter tais resíduos sólidos poluentes em novas matérias-primas renováveis (RIBEIRO; HOLANDA, 2014).

A associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece na NBR 15575-1 (ABNT, 2013) que a construção de empreendimentos se realize por intermédio de uma exploração e consumo justificado dos recursos naturais, visando atenuar a degradação ambiental, a diminuição do consumo de água, de energia, e de matérias-primas. Esta norma enfatiza a importância de priorizar os materiais que causem menor impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais até sua utilização final.

A construção civil, assim como outros setores, é um dos maiores e mais importantes setores industriais do mundo e a sua atuação na utilização de matérias-primas é saliente, além de gerar quantidade significativa de resíduos. Entretanto, devido a pluralidade de produtos produzidos, a construção civil torna-se também uma grande incorporadora de seus próprios resíduos e de resíduos de outros setores industriais (BASTOS *et al.*, 2013).

O Brasil possui, inúmeras atividades industriais na área do beneficiamento de rochas ornamentais, tais como o granito, mármore, ardósia, entre outras. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2018), no ano de 2017, o Brasil situava-se como 4º produtor e 6º exportador mundial de rochas, sendo um importador pouco expressivo.

É válido ressaltar que o setor de rochas ornamentais é expressivamente significativo na economia brasileira e abrange todas as atividades da cadeia produtiva principal: jazidas, empresas para beneficiamento primário (desdobramento) e secundário (polimento e produtos acabados), incluindo também todas as atividades da cadeia de apoio, que englobam fabricantes de máquinas e equipamentos, fabricantes de insumos industriais, prestadores de serviços técnicos e administrativos, centros de tecnologia (Centro Tecnológico de Mármore e Granito - CETEMAG), sindicatos e associações (BARBOSA, 2017).

O Brasil é o maior produtor mundial de chapas de rochas ornamentais e possui capacidade de produção de 93 milhões m²/ano. Segundo a ABIROCHAS (2018), o Brasil exportou para 120 países em 2016, sendo que mais de 80% de toda a exportação foram para EUA, China e Itália, principais compradores de rochas ornamentais brasileiras.

Quanto maior o volume de rochas processadas, maior a quantidade de resíduos gerados. Nesse cenário, os resíduos do processo de beneficiamento de rocha ornamental - casqueiros, cacos e outros resíduos como lâminas e granelhas desgastadas - os lodos gerados pelo processo de fracionamento e polimento, entre outros, geram impactos ambientais em várias etapas do processo produtivo (OLIVEIRA, 2015b).

As lamas provenientes do corte de blocos para a aquisição de placas nos teares convencionais contêm 67% de água, 30% de pó de rocha, 2% de restos de limalha de aço, 1% de lâmina e 1% de cal em massa, sendo produzidas em abundância. Estima-se que sejam geradas 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrada (CAMPOS *et al.*, 2014). A destinação desta lama pode ser o pátio das empresas onde são geradas, ocupando vastas áreas e são dispostas em bacias geralmente sem qualquer tipo de impermeabilização, arriscando a contaminação do solo e da água subterrânea. Outra solução comum são os aterros, sendo esta mais onerosa porque a empresa tem que arcar com o transporte e a taxa de acondicionamento dos resíduos.

Diversas pesquisas têm sido realizadas objetivando o reaproveitamento de resíduos, pois existe um custo para sua destinação além do impacto que o descarte provoca na paisagem ambiental. A incorporação de minerais a matrizes cerâmicas, betuminosas e cimentícias tem sido centro de diversas pesquisas quanto ao seu potencial, em que busca a melhoria do comportamento mecânico, aumento da durabilidade e redução do uso de agregados ou aglomerantes. Tais aplicações

possuem embasamento no desempenho físico que materiais finos exercem, pois possuem a capacidade de atuar como fíler, ou seja, preenchem os poros e promovem uma melhoria para o empacotamento do sistema (BARBOSA, 2017).

Dessa maneira, a partir da mistura de lama abrasiva, água e cimento, é possível produzir materiais como: telhas, blocos cerâmicos, revestimentos de piso e parede, tijolos maciços, argamassas e tijolos solo-cimento (OLIVEIRA, 2015a).

Assim, o tijolo de solo-cimento, denominado também como um tipo de tijolo modular ou ecológico, mostra-se como um componente que visa atender à demanda de construção sustentável. Este tijolo gera uma quantidade de resíduo inferior a outros tijolos mais utilizados, tijolos de concreto e tijolos cerâmicos. Pode ser utilizado, em sua concepção, resíduos de outras construções e faz-se necessário ressaltar que sua matéria prima é abundante. Ele é produzido a partir da prensagem de solo, cimento e água, e pode ser montado por encaixe, facilitando a execução e assentamento. Por conseguinte, dentre outros benefícios, existe a minimização do peso da alvenaria que acarreta na diminuição do dimensionamento das fundações e outras estruturas (MOTTA *et al.*, 2014).

Colocando em vista a abrangência do tema sustentabilidade e o conjunto de questões que podem surgir quando não se leva em consideração esse conceito nas mais diversas atividades, esta monografia procura cooperar com o setor da construção civil, através do estudo e proposições de uma prática que vise contribuir com o reaproveitamento de resíduos que são descartados na natureza de forma aleatória para a incorporação dos mesmos no desenvolvimento dos tijolos de solo-cimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

Considerando o panorama já apresentado, a escolha de tijolo solo-cimento se deu com o objetivo de trazer ao olhar a necessidade de preservação dos aspectos ambientais ligados a atmosfera como também a biosfera, por tal tipo de tijolo não precisar de queima para sua fabricação, evitando assim a coleta de lenha para utilização como combustível e por consequência o lançamento de resíduos sólidos em forma de fuligem que polui a atmosfera.

No atual contexto histórico mundial e levando em consideração o tema sustentabilidade, existe uma grande problemática referente a destinação final de resíduos. Nos últimos anos, com o crescente aumento da população e dos setores

industriais, a reciclagem vem sendo incentivada em todo o mundo e é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir a degradação ambiental com o consumo de matérias-primas e a geração de resíduos.

Dentro dessa ótica de desenvolvimento sustentável e um maior aproveitamento de resíduos na construção civil, junto com o aumento do desempenho destas aplicações, avalia-se como uma grande possibilidade o uso do pó residual do corte do granito.

Dentro desse contexto, a escolha da utilização do resíduo do corte de granito para compor e substituir elementos no traço do tijolo teve sua justificativa levando em consideração aspectos ligados a sustentabilidade, pois visa o descarte consciente e útil de tal resíduo, além de outras vantagens, como a utilização completa das pedreiras, redução da utilização dos recursos naturais, a exemplo o solo, o cimento, entre outros.

1.3 OBJETIVOS

A seguir, são apresentados os objetivos: geral e específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral produzir o tijolo de solo-cimento e analisar as propriedades físicas e mecânica e a durabilidade do tijolo de solo-cimento, com incorporação do resíduo do corte do granito, em substituição ao cimento e ao solo.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Explorar o estado da arte acerca da incorporação de resíduo do corte de granito no tijolo de solo-cimento;
- Obter formulações, com percentuais diversos de incorporação de resíduos;
- Produzir tijolo de solo - cimento com adição do resíduo do corte do granito;
- Analisar a influência da incorporação do resíduo do corte de granito nas propriedades (absorção, massa específica, durabilidade e resistência à compressão) do tijolo de solo-cimento;
- Comparar os resultados obtidos dos ensaios aos de outras pesquisas experimentais.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação é composta por cinco capítulos, sendo que no primeiro foi abordada a importância do tema, as justificativas e os objetivos da pesquisa.

No segundo capítulo está apresentada a fundamentação teórica discorrendo sobre a sustentabilidade na construção civil, além do objeto da pesquisa que é o tijolo de solo-cimento, seu histórico, e sobre o resíduo e a aplicabilidade do mesmo.

No terceiro capítulo será especificado os materiais que foram utilizados na pesquisa, bem como as normas que foram utilizadas para caracterizar os mesmos e os métodos de produção desta pesquisa para se chegar a sua finalidade.

No quarto capítulo será demonstrado os resultados obtidos através dos ensaios, realizados de acordo com as normas específicas como também as análises dos mesmos para uma melhor compreensão dos dados.

No quinto capítulo consta o que se pode concluir a partir dos dados obtidos nesta pesquisa, assim como sugestões para trabalhos futuros relacionados ao foco deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo serão apresentadas as revisões de outros trabalhos pertinentes ao tema tratado, que servirão para orientação e para análise comparativa dos resultados apresentados nesta pesquisa.

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A prática da construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e a partir de então foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto grande quantidade de resíduos de diversas naturezas, sendo, do mesmo modo, responsável pelo consumo excessivo de recursos naturais.

Baseando-se nisso, a sustentabilidade em si representa o oposto do que em muitos momentos vem sendo praticado dentro do setor da construção civil, tendo em vista que a representação de sustentabilidade consiste em uma exploração de áreas ou recursos renováveis ou não, que prejudiquem menos o equilíbrio entre meio ambiente e as comunidades nas diversas áreas, inclusive na construção civil (DAMASCENO, 2016).

Hoje, a Indústria da Construção Civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, entretanto é um setor que possui alto índice de degradação e os impactos ambientais causados são vistos em toda a sua cadeia produtiva. É possível notar a existência de degradação já na extração de matéria-prima, pois é um dos setores responsáveis por grande parte dos recursos naturais extraídos, entre 15% e 50% (LARUCCIA, 2014). Além disto, o setor igualmente revela-se não sustentável, com a geração de excessivo volume de resíduos que são descartados de forma inadequada (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Dentro do contexto de sustentabilidade na construção civil, Machado (2018) revela a existência de um sistema onde há promoção de intervenções sobre o meio ambiente, sem exploração excessiva dos recursos naturais. Nesse sistema, empregam-se ecomateriais¹ e soluções tecnológicas inteligentes, promovendo assim a atenuação da poluição, o uso de forma consciente e a economia da água e energia, mantendo o conforto dos usuários.

¹ O conceito compreende: desenvolvimento de produtos e serviços, com preços competitivos que satisfazem a necessidade da espécie humana com qualidade de vida, enquanto progressivamente reduzem o seu impacto ecológico e o consumo de matérias-primas ao longo do seu ciclo de vida, até um nível compatível com a capacidade do planeta.

Ao reaproveitar os resíduos provenientes dos mais diversos setores industriais, racionalizar a utilização de energia, implantar tecnologias que permitam redução no consumo de água é possível tornar o setor da construção sustentável.

2.2 SOLO-CIMENTO

2.2.1 Histórico

Segundo Abiko (1963), o solo-cimento foi utilizado pela primeira vez em 1915, pelo engenheiro Bert Reno, nos Estados Unidos da América, o material foi aplicado na pavimentação de uma rua. Posteriormente em 1929, o engenheiro norte americano Ralph Proctor publicou artigos relacionados a esta temática e então foi estabelecida a correlação entre umidade e massa específica aparente na compactação de solos. Os estudos realizados por Proctor ajudaram a alavancar o interesse de aprofundar o conhecimento sobre o solo para utilização na construção civil. (BAUER, 1995).

Entretanto apenas em 1935 a *Cement Portland Association* (CPA), começou a realizar pesquisas para estudar a tecnologia deste material. Então, o solo-cimento tem sido empregado, principalmente, na pavimentação, entretanto sua implementação não havia sido difundida largamente por falta de maiores conhecimentos na área de mecânica dos solos, na ocasião, pois não havia estudos que pudessem prever o comportamento deste novo produto.

Segundo Grande (2003), a utilização de solo-cimento só foi intensificada no Brasil a partir de 1940, quando a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) estabeleceu um método de dosagem para o emprego em obras de pavimentação. A utilização do solo-cimento nas construções de casas iniciou-se, segundo Sousa et.al. (2007), em 1948, onde foram construídas duas casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis/RJ. Ao longo do tempo, tais obras resistiram, o que comprovou a eficiência do solo-cimento e o processo construtivo.

Mercado (1990) afirma que apenas no início dos anos 1960 o solo-cimento passou a ser pesquisado e utilizado em maior escala no mundo. No Brasil, em 1970, o mesmo tornou-se objeto de pesquisas mais intensas, principalmente da ABCP, do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT.

Apesar das diversas pesquisas nessa área surgirem com o passar do tempo, o solo-cimento só foi largamente aplicado em construções de moradias por volta de 1978, quando o antigo Banco Nacional da Habitação (BNH) confirmou que a técnica era viável para construções de casas populares. Na época, estudos realizados por centros de pesquisas comprovaram que o material proporcionava um bom desempenho termo acústico além de que se aplicado em construções reduzia os custos em alvenaria de 20% a 40%, comparado com a alvenaria tradicional de tijolos de cerâmica ou barro (LIMA, 2006).

2.3 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

O solo-cimento é tido como uma evolução dos materiais de construção, comparado com a taipa de pilão, o adobe e o pau-a-pique. Estas técnicas tem como base o aglomerante natural (argila), podendo ter alguma adição (fibras, óleos, etc.); no entanto, no solo-cimento, substitui-se parte do aglomerante natural por um artificial, de qualidades uniformes e conhecidas, que é o cimento Portland (MYRRHA, 2003).

Segundo Motta *et al.* (2014) os tijolos de solo-cimento possuem esse nome porque não se utilizam do processo de queima da madeira e combustível, excluindo o corte de árvores e evitando a emissão de monóxido de carbono.

Já segundo Dos Santos *et al.* (2014), ele coloca a ótica do tijolo de solo-cimento ser sustentável não só devido ao mesmo colaborar com práticas sustentáveis, onde sua produção evita a emissão de gases de efeito estufa, mas também por conjuntamente auxiliar maciçamente na economia do país, levando em consideração o reaproveitamento de matérias vegetais descartáveis e resíduos de outras indústrias como o lodo proveniente do beneficiamento do corte do granito. Além disso, é um produto que possui as características de durabilidade e resistência, um baixo custo e alto potencial de aplicação na construção civil no que se refere à produção de moradias populares.

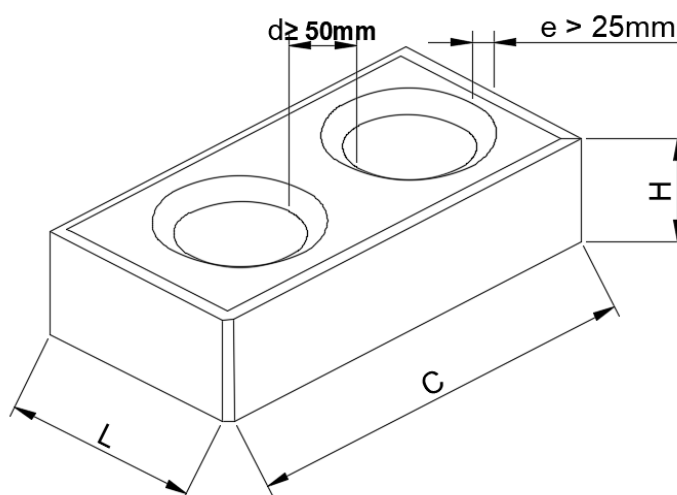
É importante ressaltar que existe um aumento gradativo de incentivo ao emprego de métodos de reciclagem em diversos setores da sociedade. Seguindo essa vertente, existe a alternativa de incorporar na composição do tijolo de solo-cimento a reciclagem de resíduos que, até então, seriam descartados como entulho em locais muitas vezes inapropriados.

Segundo a definição descrita na NBR 8491 (ABNT, 2012), os tijolos de solo-cimento são componentes de alvenaria constituídos de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos ou pigmentos em proporções que permitam atender aos requisitos da norma, cuja altura seja menor que a largura.

O tijolo de solo-cimento pode ser encontrado em diversos tamanhos e modelos, especificados em concordância com as demandas de projeto, mão de obra, materiais e equipamentos locais, além de outras condicionantes específicas.

As dimensões nominais que os tijolos (Figura 1) devem atender, estão discriminados a Tabela 1. Os tijolos podem apresentar dimensões diferentes das estabelecidas, desde que estes permaneçam com a altura menor que a sua largura. As especificações são feitas de comum acordo entre o fabricante e o comprador.

Figura 1 – Modelo do tijolo ou bloco vazado



Fonte: Adaptado NBR 8491, 2012

Tabela 1 – Dimensões nominais do tijolo

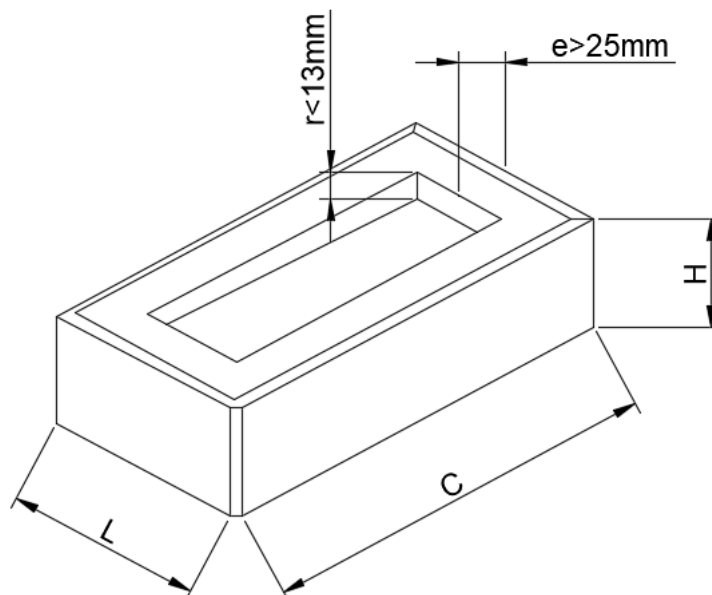
Tipos	C - Comprimento (mm)	L - Largura (mm)	H - Altura (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: ABNT NBR 8491, 2012b.

Os tijolos maciços (Figura 2) estão disponíveis no mercado em dimensões com encaixe circular, retangular com reentrância, sistema tradicional com arestas 6 mm x

6 mm (aparente) ou dos dois lados lisos. Esse tipo é aplicado geralmente na construção de paredes aparentes de acabamento liso perfeito.

Figura 2 – Modelo do Tijolo Maciço



Fonte: Adaptado NBR 8491, 2012

Já o tijolo canaleta está disponível em vários modelos. Os mais empregados são os que possuem encaixe com furos, pois possuem como principal característica a possibilidade de ser colocado em diversas posições e dimensões, facilitando a passagem do sistema elétrico e hidráulico na horizontal.

Para os tijolos vazados de solo-cimento, a NBR 8491 (ABNT, 2012) exige que o volume total seja inferior a 85% do volume total aparente e os furos tenham espessura mínima das paredes no seu entorno de 25 mm e a distância mínima entre os dois furos de 50 mm. Entretanto, o mercado brasileiro dispõe de uma variedade de tipos e modelos de tijolos de solo-cimento, em que as especificações de dimensões são adotadas nas construções conforme o projeto, mão-de-obra, materiais e equipamentos locais (PISANI, 2005).

É possível destacar diversas vantagens do tijolo de solo-cimento em relação ao tijolo cerâmico, dentre elas pode-se destacar o baixo custo, a facilidade de manuseio, menor agressividade ao meio ambiente devido ao fato de que o mesmo não necessita da queima, possibilidade de ser produzido no próprio local da obra, dispensam técnicas avançadas para sua produção e operação de equipamentos, possui maior durabilidade e segurança, por ser modular, possui menor taxa de desperdício no fim da obra e ainda

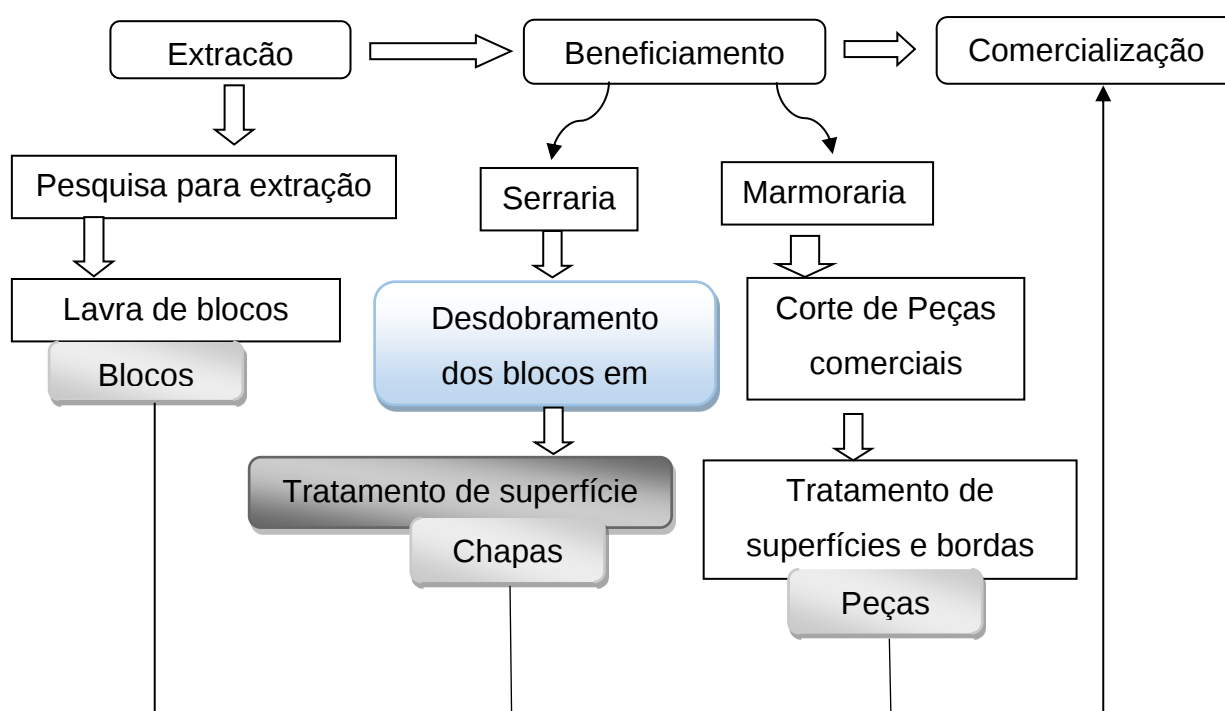
tem a capacidade de incorporar em seus materiais, resíduos de outras indústrias (REZENDE *et al.*, 2013).

Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2014), além das vantagens ambientais e econômicas, esse tipo de material traz conforto e estética. Estudos comprovam que tijolos ecológicos trazem redução em 30% do tempo de construção, com relação à estrutura dos tijolos, os encaixes e colunas embutidas nos furos distribuem melhor a carga de peso sobre as paredes; além da economia em 70% de concreto e argamassa e 50% em ferro.

2.4 RESÍDUO DO CORTE DO GRANITO

As etapas do processo produtivo de rochas ornamentais são caracterizadas pela extração e beneficiamento. A Figura 3 traz um fluxograma simplificado do processo produtivo, com os produtos finais de cada etapa.

Figura 3 — Etapas do processo produtivo típico de rochas ornamentais



Fonte: Adaptado de Uliana, 2014

Para uma melhor compreensão do processo, faz-se necessário a explicação de todas as etapas do processo produtivo que inicia-se com a extração (lavra) e esta consiste na retirada do material útil ou que é economicamente aproveitável dos blocos rochosos de dimensões diversas. Para iniciar o processo de beneficiamento é realizada

uma pesquisa para determinar a qualidade da rocha e planejamento da lavra (VIDAL, 2013).

O processo de beneficiamento dos blocos retirados na primeira etapa inicia-se com o desdobramento. Este consiste no processo de alteração dos blocos em chapas nos teares. Os teares de lâminas metálicas, conhecidos como teares tradicionais, são equipamentos com diversas lâminas paralelas que realizam movimento pendular. O movimento pendular do tear faz com que a lâmina de aço faça o corte, pelo atrito e choque das lâminas do bloco. Esse movimento é acionado por um motor elétrico, em um sistema biela-manivela (VIDAL, 2013).

O próximo processo é o de serragem que se traduz em um conjunto de aspersores lançando constantemente uma mistura sobre o bloco, designado de polpa abrasiva, composta por água, granalha de aço, cal e pó de rocha (LEITÃO, 2017).

Ainda dentro do processo de beneficiamento é realizado o polimento, em que é realizado por uma máquina chamada de politriz e a mesma utiliza água e abrasivos de granulometrias diferentes assim originando a lama abrasiva (SILVA, 2011). Conjectura-se que com base no desdobramento de blocos de granito para a geração de chapas, cerca de 20% a 25% da rocha granítica se mistura com outros materiais e se transforma em rejeito (LEITÃO, 2017).

Dentro do setor das rochas ornamentais, a palavra granito refere-se a união de rochas silicáticas constituídas em sua maior parte por feldspato e quartzo, sendo que se enquadram como granito outras rochas, como sienitos, monzonitos, charnoquitos, diabásios, basaltos, gnaisses e migmatitos (OLIVEIRA, 2015a).

Em uma de suas cartilhas, a ABIROCHAS (2018) através de pesquisas reuniu dados sobre a produção brasileira, por tipo de rocha (Tabela 2), e é possível observar que os materiais comercialmente classificados como granitos correspondem a 54% do total produzido de rochas ornamentais.

Tabela 2 – Perfil da produção brasileira por tipo de rocha – 2017

Tipo de Rocha	Produção (Mt)	Participação (%)
Granito e similares	5,0	54
Mármore e Travertino	2,0	22
Ardósia	0,4	4,5
Quartzito Foliado	0,3	3
Quartzito Maciço	0,9	10
Pedra Miracema	0,2	2
Outros (Basalto, Pedra Cariri, Pedra-Sabão, Pedra Morisca etc.)	0,4	4,5
Total estimado	9,2	100

Fonte: ABIROCHAS, 2018.

Baseando nos dados dispostos na Tabela 2, é possível notar a necessidade do reaproveitamento deste material para que haja um descarte consciente, visando uma prática sustentável.

Diversos estudos, em nível acadêmico, têm sido feitos e demonstram a viabilidade da utilização desse resíduo na construção civil, por ser grande consumidora de matérias primas e pela importância ambiental da redução do consumo de cimento. O Centro de Tecnologia Mineral – CETEM –, dentre outros, estudou o uso do resíduo do corte de granito em argamassas, concretos, blocos e pisos (SILVA & CASTRO, 2015; REIS & CASTRO, 2015; FREIRE *et al.*, 2010; D'AGOSTIN *et al.*, 2016) e, tendo esses resíduos características químicas e físicas adequadas a esse tipo de uso, o CETEM, por meio de um Termo de Cooperação Internacional com o Istituto Internazionale del Marmo – IS.I.M e a Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP, buscam efetivar sua utilização em obras (QUEIRÓZ, 2016).

2.4.1 Características específicas do resíduo e sua influência nas propriedades do tijolo.

Segundo Lima *et al.* (2010), o resíduo de corte do granito possui algumas características específicas, como: granulometria fina, composição química predefinida e a inexistência de grãos mistos entre os componentes básicos, que justificam a sua utilização e reciclagem na produção de materiais cerâmicos (tijolos, telhas, blocos de concreto, etc.).

Silva *et al.* (2005), analisou a utilização da lama do corte de granito em massas argilosas. Em seu estudo, comprovou, através do ensaio de granulometria, que o

resíduo é composto por partículas pequenas, entretanto, existe no mesmo uma grande variação de tamanhos, que oscilam entre 2 a 100 μm . O autor pontua que 90% das partículas apresentam diâmetros inferiores a 32,8 μm . Essa análise indica que a granulometria do rejeito influenciará no comportamento plástico do solo, reduzindo sua plasticidade. Outros autores, como Weizenmann *et al.* (2013) em seus estudos também encontraram um alto teor de finos para o resíduo, sua análise indicou que cerca de 86,3% do resíduo possui uma granulometria menor que 32,8 μm .

Miranda (2007) observou em sua pesquisa que, com o aumento gradativo da quantidade de resíduo na formulação do tijolo, a massa específica dos grãos seguiu uma tendência de crescimento, demonstrando que o resíduo possui propensão de preenchimento dos vazios, o que resulta em um aumento da densidade da mistura. O autor obteve um valor para a massa específica do resíduo de 2,63 g/cm³ que aproximou-se do valor de outros autores como Lameiras *et. al.* (2004) com 2,67 g/cm³ e de Gonçalves (2000) com 2,84 g/cm³.

O reaproveitamento do resíduo do corte do granito em tijolo solo-cimento já foi anteriormente comprovado. Ribeiro (2013) realizou uma pesquisa que demonstrava a viabilidade da utilização de uma mistura de solo-cimento de 1:8, sendo 1 parte de cimento para 8 de solo. Para a mistura de referência de solo-cimento foi adicionado o resíduo de rocha ornamental em substituição parcial do solo, nas porcentagens de 10%, 20%, 30% e 40% em peso. A mesma constatou que a substituição do solo pelo resíduo tende a aumentar a resistência à compressão e diminuir a absorção de água para corpos de prova com 40% de resíduo.

Já Ribeiro e Holanda (2014), em sua pesquisa com a utilização do traço 1:8 que foi utilizado como referência, substituiu o solo parcialmente por até 30% de lodo do corte do granito, possuindo como resultado uma resistência à compressão que apresentou apenas uma pequena diferença com a adição de lodo, mantendo constante os resultados de absorção de água e microestrutura. Os resultados obtidos foram comparados com a especificação brasileira de resistência à compressão para a produção industrial de tijolos de solo-cimento. Além do exposto, obteve-se que a substituição parcial do solo por lodo de granito produziu tijolos de solo-cimento com excelentes resistências mecânicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse tópico, serão apresentados os materiais e métodos aplicados nesta pesquisa, possuindo como variável a ser analisada o percentual de substituição do pó do corte do granito pelo cimento e pelo solo. Diversas formulações foram testadas a fim de encontrar o maior percentual de substituição, sem perdas significativas das propriedades físicas e mecânicas.

O programa experimental consistiu na realização de ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos do IFS Campus – Estância, no Laboratório de Caracterização do NUPEG da UFS Campus – Aracaju, no Laboratório do IFS Campus – Aracaju, para caracterização dos materiais que serão utilizados nas misturas.

O traço utilizado nesta pesquisa foi o de 1:8 (cimento: solo) também utilizado nas pesquisas de Pereira *et al.* (2015), Lima (2013), Ribeiro e Holanda (2014) e Ribeiro (2013).

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados foram ensaiados de acordo com as normas apresentadas a seguir.

3.1.1 Solo

O solo utilizado nesta pesquisa foi coletado nas imediações do Instituto Federal de Sergipe Campus – Estância, destorroado manualmente para reduzir o diâmetro dos grãos e verificado quanto ao atendimento dos requisitos gerais da NBR 10833 – (ABNT, 2012) - Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica, no item 4.1.1, em que 100% de material deve passar na peneira com abertura de malha de 4,8 mm (nº 4), 10% a 50% de material deve passar na peneira com abertura de malha de 0,075 mm (nº 200).

A granulometria foi determinada através de procedimentos de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016) – Solo – Análise Granulométrica (Figura 4).

Figura 4 – Ensaio de granulometria



Fonte: Autor, 2019

A massa específica aparente foi obtida através de ensaios de acordo com o prescrito pela NBR 7185 (ABNT, 2016) - Solo - Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia (Figura 5).

Figura 5 – Ensaio de determinação da massa específica aparente do solo



Fonte: Autor, 2019

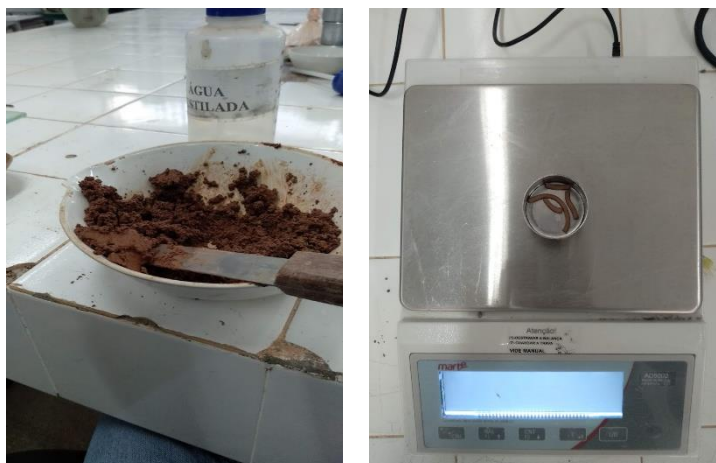
As propriedades plásticas (limite de liquidez (Figura 6), limite de plasticidade (Figura 7) e índice de plasticidade) determinadas de acordo com a NBR 6459 (ABNT, 2017) e NBR 7180 (ABNT, 2016), respectivamente.

Figura 6 – Ensaio de limite de liquidez



Fonte: Autor, 2019

Figura 7 – Ensaio de limite de plasticidade



Fonte: Autor, 2019

A massa específica real (Figura 8) do solo natural foi determinada seguindo as prescrições da norma DNER – ME – 093 (1994) – Solos – Determinação da densidade real.

Figura 8 – Ensaio de massa específica real do solo



Fonte: Autor, 2019

3.1.2 Cimento

O cimento utilizado para compor a mistura foi o CP V-ARI (cimento Portland de alta resistência inicial). O mesmo tem a peculiaridade de atingir 34 MPa com 7 dias da aplicação e levando-se em consideração que o rompimento do tijolo para testar sua resistência à compressão seria com 7 dias, o CP V-ARI é o cimento mais indicado para compor essa mistura.

Foi realizado o ensaio de determinação da pasta de consistência normal (Figura 9), de acordo com a NBR 16606 (ABNT, 2018).

Figura 9 – Ensaio de pasta de consistência normal



Fonte: Autor, 2019

O ensaio de determinação dos tempos de pega foi realizado segundo a NBR 16607 (ABNT, 2018) (Figura 10).

Figura 10 – Determinação do de tempo de pega



Fonte: Autor, 2019

Também foi realizado o ensaio para a determinação da massa específica real do cimento de acordo com a NBR 16605 (ABNT, 2017) (Figura 11).

Figura 11 – Ensaio da massa específica real do cimento



Fonte: Autor, 2019

O ensaio de finura foi realizado através de peneiramento manual conforme a NBR 11579 (ABNT,2012) e o ensaio de determinação da resistência à compressão normal (Figura 12), seguindo a orientação da NBR 7215 (ABNT, 2019).

Figura 12 – Ensaio da determinação da resistência à compressão normal



Fonte: Autor, 2019

3.1.3 Resíduo de corte de granito

O resíduo do corte do granito foi fornecido pela Marmoraria Santana, localizada no município de Estância-SE. Esta empresa é especializada na produção de componentes de rochas ornamentais, sendo o granito o material mais usual.

O resíduo utilizado neste trabalho primeiramente foi seco em estufa, $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, posteriormente armazenado em recipientes plásticos e vedados, onde os mesmos permaneceram protegidos de intempéries. Para a utilização do resíduo no tijolo o material foi passado nas peneiras ABNT 1,18 mm, 600 μm e 75 μm . O resíduo foi

separado nestas granulometrias para que ficasse no mesmo tamanho dos grãos do material que substituiria. Assim, para a substituição do cimento foi utilizado o resíduo passante na peneira de 75 μm , para a substituição do solo foi utilizado o resíduo passado na peneira 600 μm e para substituição da areia foi utilizado o resíduo passado na peneira de 1,18 mm.

O resíduo de corte de granito foi caracterizado através da massa específica aparente pela NBR 7185 (ABNT, 2016) adaptado (Figura 13).

Figura 13 – Ensaio de determinação da massa específica aparente do resíduo



Fonte: Autor, 2019

O ensaio de massa especifica real foi realizado seguindo as prescrições da DNER – ME – 093 (1994) – Solos – Determinação da densidade real. (Figura 14).

Figura 14 – Ensaio da massa especifica real do resíduo de granito



Fonte: Autor, 2019

Foi realizada também a difração de raios-X (DRX), que permite determinar a estrutura cristalina do material, além de quantificar as fases cristalinas presentes, a perfeição e a orientação dos cristais que compõem o material. Esta técnica representa o fenômeno de interação entre o feixe de raios-X incidente e os elétrons dos átomos componentes de um material relacionado ao espalhamento coerente e consiste na

detecção de um feixe de raios X difratado após incidir sobre o material. Em um material onde os átomos estejam arranjados periodicamente no espaço, característica das estruturas cristalinas, o fenômeno da difração de raios-X ocorre nas direções de espalhamento que satisfazem a Lei de Bragg $n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$ em que n = número inteiro de comprimento de onda, λ = comprimento de onda da radiação incidente, d = espaçamento interplanar, θ = ângulo de incidência da radiação (GOBBO, 2003).

3.1.4 Água

A NBR 8491 (ABNT, 2012, p.2) instrui que a água usada deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento.

Foi utilizada no processo de fabricação do tijolo de solo-cimento água potável para que não apresentasse danos ao processo de hidratação do cimento, como também para que sejam evitadas determinadas manifestações patológicas.

A água utilizada foi obtida do abastecimento público do município de Estância – SE, fornecido pela empresa SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto).

3.2 MÉTODOS

Nesse tópico estão descritos os ensaios realizados na presente pesquisa e os métodos abordados.

Através do ensaio de compactação (Figura 15) segundo a NBR 7182 (ABNT, 2016) realizado no solo, testou-se a umidade ótima obtendo então uma percentagem de 19%. A partir desta análise, foram prensados 3 tijolos com as umidades de 12%, 14%, 16%. Na tentativa de prensagem com 18% não foi possível a retirada do tijolo da prensa e descartou-se a possibilidade de chegar a uma umidade de 19%, obtida no ensaio de compactação do solo. Conforme os dados obtidos no ensaio de resistência à compressão (Tabela 3) realizados nos tijolos segundo a NBR 8492 (ABNT, 2012) - Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.

A umidade ótima é um parâmetro significativo para trabalhos realizados com solos, pois assegura condições mais satisfatórias de trabalhabilidade e uma máxima compactação do material, possibilitando maiores valores de densidade, resistência e durabilidade (MENDES *et al.* 2014).

Figura 15 – Ensaio de compactação do solo



Fonte: Autor, 2019

Tabela 3 – Resultado dos tijolos prensados com as umidades obtidas no ensaio de compactação

Umidade (%)	Resistência à compressão (MPa)
12	0,48
14	0,44
16	0,87

Fonte: Autor, 2019

Através dos resultados obtidos através dos ensaios e dispostos na Tabela 3, foi possível perceber que o solo por si só não serviria para a confecção de tijolos que atendessem a resistência mínima especificada na norma. A partir dessa prerrogativa, notou-se a necessidade de uma correção do solo com agregado miúdo (areia) em uma outra granulometria.

Testou-se então formulações com areia/solo dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Testes para obtenção do teor de umidade e percentual areia/solo

Areia (%)	Solo (%)	Umidade (%)	Resistência à compressão (MPa)
30	70	18	0,9
40	60	14	1,0
50	50	16	1,8
60	40	16	1,5
70	30	14	2,2

Fonte: Autor, 2019

As porcentagens apresentadas na Tabela 4 referem-se à quantidade total de solo no traço de 1:8, determinado para presente pesquisa.

A partir dos dados da Tabela 4, optou-se por utilizar o traço com 70% de solo e 30% de areia com umidade de 14% para os tijolos de referência. Segundo Mendes *et al.* (2014), a mistura contendo 70% de areia e 30% de argila e silte é uma composição indicada para a produção de tijolo de solo-cimento.

Conforme a Figura 16, a mistura foi realizada manualmente, primeiro fazendo a mistura do cimento, solo e resíduo, posteriormente acrescentando a água com auxílio de um borrifador. Após realização desse processo, foi pesado 3700 g da mistura para a prensagem de cada tijolo com o resíduo do corte de granito (RCG) em suas respectivas granulometrias (Figura 17) pois após testes de prensagem realizados, foi possível notar que a quantidade ideal para que o tijolo desmoldasse sem rupturas ou esfarelamento do mesmo era o peso de 3700 g .

Os tijolos foram fabricados em uma prensa manual de tijolos ecológicos (Figura 18).

Figura 16 – Materiais para mistura manual



Fonte: Autor, 2019

Figura 17 – Prensagem dos tijolos



Fonte: Autor, 2019

Figura 18 – Prensa utilizada

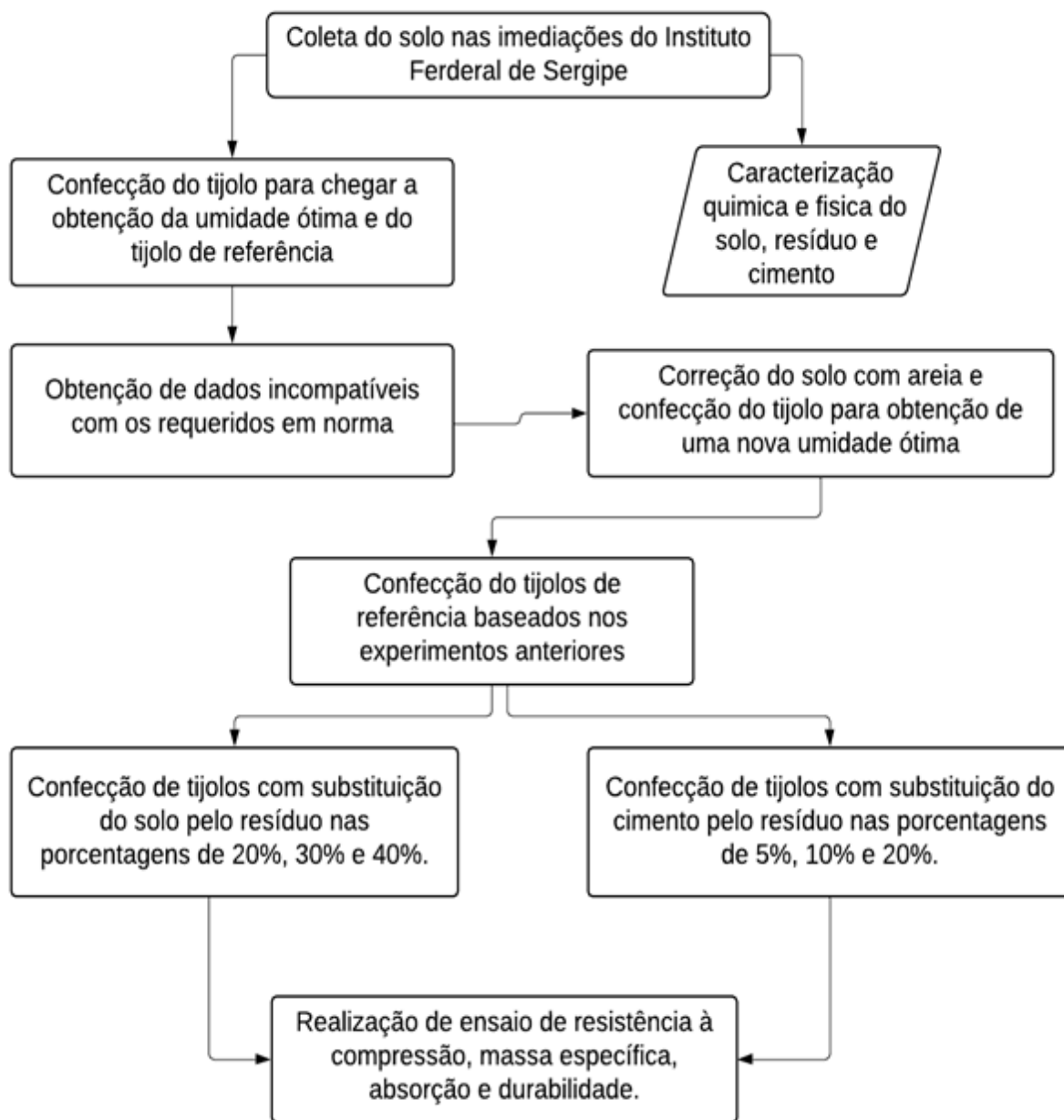


Fonte: Autor, 2019

A cura dos tijolos foi feita abrigada do sol e do vento por um período de sete a dez dias. Após a cura, os tijolos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, massa específica, absorção e durabilidade.

A seguir é possível ver o método utilizado para o desenvolvimento e confecção dos tijolos para esta pesquisa e cada etapa realizada, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Fluxograma de etapas



3.2.1 Procedimento de dosagem, mistura e moldagem

Foram produzidas 7 formulações (de acordo com a Tabela 5 e 6), adotou-se o traço de 1:8 (cimento: solo), em que 1 foi o de referência, 3 com substituição parcial do cimento por resíduo de granito com 5%, 10% e 20% e 3 com substituição parcial do solo por resíduo de granito com 20%, 30% e 40%. De cada formulação foram moldados 13 tijolos com dimensões de 24,6 cm de comprimento, 6,1 cm de altura, 12,1 cm de largura e abertura do furo de 5,8 cm. Após a moldagem, durante os 7 primeiros dias, os elementos passaram pela cura necessária conforme prescrito em norma. A umidade utilizada de 14% para a mistura foi obtida através do ensaio de compactação.

Tabela 5 – Formulações dos tijolos de solo-cimento por substituição do cimento

Traço do tijolo	Material substituído	Resíduo	Teor do resíduo	Nomenclatura
1:8	-	-	-	REF
0,95:8:0,05	Cimento	RCG ¹	5%	Ts1/5 C ²
0,90:8:0,10	Cimento	RCG	10%	Ts2/10 C
0,80:8:0,20	Cimento	RCG	20%	Ts3/20 C

Legenda:

¹ RCG: Resíduo do corte do granito.

² Ts1/5 C: Traço 1, por substituição de 5% do cimento.

Para os traços do tijolo: cimento:solo:resíduo.

Fonte: Autor, 2019

Tabela 6 – Formulações dos tijolos de solo-cimento por substituição do solo

Traço do tijolo	Material substituído	Resíduo	Teor do resíduo	Nomenclatura
1:8	-	-	-	REF
1:6,4:1,6	Solo	RCG	20%	Ts1/20 S ³
1:5,6:2,4	Solo	RCG	30%	Ts2/30 S
1:4,8:3,2	Solo	RCG	40%	Ts3/40 S

Legenda:

³ Ts1/20 S: Traço 1, por substituição de 20% de solo.

Para os traços do tijolo: cimento:solo:resíduo.

Fonte: Autor, 2019

3.2.2 Ensaios de resistência à compressão, absorção de água e massa específica

Os ensaios foram realizados segundo a NBR 8492 (ABNT, 2012) Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.

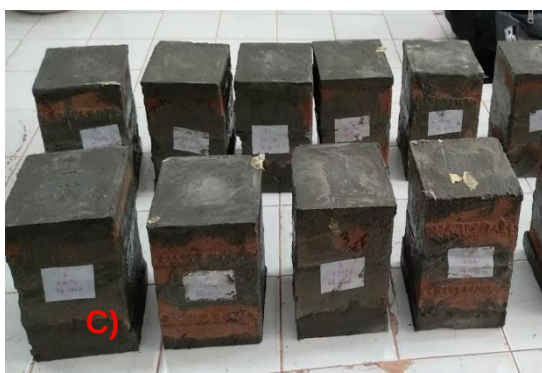
Os tijolos foram prensados e pelos 7 primeiros dias os mesmos passaram pela cura, logo em seguida ensaiados quanto à resistência à compressão. A norma descreve as seguindo as etapas que foram realizadas (Figura 20):

- Cortados ao meio perpendicularmente à maior dimensão, com o uso de uma máquina de corte;
- Foram superpostas por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas, ligando-as com uma fina camada de cimento Portland, pré-contraída (repouso de aproximadamente 30 min.), com 2 mm a 3 mm de espessura, e aguardando o endurecimento da pasta, a mesma obtinha a resistência idêntica à da pasta de cimento;
- Os corpos de prova obtidos anteriormente, antes de serem submetidos ao ensaio, devem apresentar suas faces planas e paralelas para que haja perfeito contato entre as superfícies de trabalho da prensa. Os furos centrais dos prismas não foram preenchidos no processo de capeamento;
- Após 12h, obtendo total endurecimento da argamassa, os prismas foram rompidos. A Figura 20 mostra as etapas para realizar o ensaio de resistência à compressão. A máquina utilizada foi a de modelo Contenco HD-200T.

Para a absorção dos tijolos foram confeccionados 3 tijolos específicos para este fim, os mesmos foram imersos em água por 24 horas, pesado e logo em seguida foram colocados na estufa por 24 horas e pesado.

Para o ensaio de massa específica do tijolo, foram medidas todas as dimensões do mesmo, obtendo assim seu volume e posteriormente foram pesados, obtendo a massa para dividir a mesma pelo volume, encontrando a massa específica do tijolo.

Figura 20 – Etapas realizadas para ensaio de resistência à compressão, A) Corte dos tijolos ao meio; B) Capeamento das partes; C) Tijolos prontos para o ensaio; D) Máquina utilizada para realizar o ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor, 2019

3.2.3 Durabilidade

O ensaio de durabilidade foi realizado moldando-se 3 corpos de prova de acordo com a NBR 13554 (ABNT, 2012). O primeiro (n° 1) foi utilizado para obter a variação de umidade e volume durante o ensaio e os demais (n° 2 e 3) foram utilizados para obter a perda de massa durante o ensaio como prescreve a norma já citada. O corpo de prova n° 1 teve seu peso inicial determinado assim que foi desmoldado e os 3 foram curados por 7 dias. Após esta etapa determinou-se o volume do corpo de prova n°1. Em seguida colocou-se os 3 imersos em água e os mesmos foram retirados após 5 h e, logo após, foi removido o excesso de água no corpo de prova n° 1 com um pano levemente umedecido. Posteriormente, pesou-se e determinou sua massa.

A próxima etapa consistiu em colocar os 3 corpos na estufa por 42 h e após isso retirou-se e determinou-se o peso e a massa do corpo de prova n° 1. Logo em seguida

foi escovada a superfície do corpo de prova n° 2 e n° 3 com uma escova específica citada em norma, com 18 a 20 escovações verticais para cobrir a área lateral e 4 escovações para cada uma das bases. As escovações foram feitas 1h após a retirada dos corpos de prova da estufa (Figura 21). O procedimento, desde a imersão até a escovação, foi repetido mais 5 vezes. Após os 6 ciclos, os corpos de prova foram levados a estufa até atingir massa constante.

Figura 21 – Etapas realizadas para ensaio de resistência de durabilidade, A) Tijolos postos na estufa; B) Escovação dos tijolos 2 e 3; C) Tijolos na água; D) Tijolos retirados da água para secagem; E) Pesagem depois de úmido



Fonte: Autor, 2019

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados encontrados a partir dos ensaios descritos no capítulo anterior.

Para os dados coletados que possuíam uma variação estatística foi utilizado o software ANOVA que é uma coleção de modelos estatísticos no qual a variância amostral é particionada em diversos componentes devido a diferentes fatores (variáveis), que nas aplicações estão associados a um processo, produto ou serviço. Através desta partição, a ANOVA estuda a influência destes fatores na característica de interesse utilizando o nível de significância (valor-p).

O valor p, é definido como o menor nível de significância para o qual uma hipótese nula pode ser rejeitada. O mesmo afirma o qual a probabilidade de se obter amostra como a que foi obtida, partindo do pressuposto que as diferenças observadas se devem ao acaso ou à variação natural das medidas (PAES, 2008).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DE PARTIDA

O solo inicial, sem a correção com a areia possuía uma granulometria correspondente (Tabela 7) com a determinação disposta em norma o que justificaria a sua utilização na fabricação do tijolo, entretanto, como disposto nos capítulos anteriores, o mesmo não foi utilizado devido a não atender a resistência e ao seu alto teor de finos.

Tabela 7 – Granulometria do solo inicial

Peneiras	Solo inicial (%)
1,18	0
0,6	0,88
0,42	19,23
0,25	42,61
0,15	49,88
0,075	66,15
Passante na 0,075 mm	33,85

Fonte: Autor, 2019

Na Tabela 8 são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização física, realizados com o solo corrigido, o resíduo e as misturas do solo corrigido com resíduo, conforme os traços adotados. Os ensaios foram realizados com os materiais nas granulometrias utilizadas na composição dos tijolos de solo-cimento. Sendo o solo passante na peneira de 600 μm , a areia na peneira de 1,18 mm e o resíduo substituindo cada material na sua granulometria correspondente.

Tabela 8 – Caracterização física do solo, resíduo e misturas do solo com resíduo

Parâmetros		Solo ¹	Resíduo		Subst. ² parcial do solo por 20% de resíduo	Subst. ² parcial do solo por 30% de resíduo	Subst. ² parcial do solo por 40% de resíduo
			1,18 mm Sub. areia	600 μm Sub. solo			
Composição granulométrica (%) – acumulada	1,18	0,00	0,11	0,13	0,12	0,07	0,09
	0,6	5,63	4,45	1,75	4,40	3,81	4,13
	0,42	20,84	8,01	4,39	19,55	15,09	14,71
	0,25	53,75	19,66	16,49	56,51	47,11	42,87
	0,15	74,73	52,51	50,67	73,75	64,59	58,62
	0,075	87,96	83,35	80,54	87,41	80,42	78,07
Passante na 0,075 mm		12,04	16,65	19,46	12,59	19,58	21,93
Índices físicos	Índice de plasticidade de (%)	7,34	-	-	6,52	5,46	2,17
	Limite de liquidez (%)	18,31	-	-	14,91	16,28	16,25
	Massa específica aparente (g/cm^3)	1,430	1,020	1,005	1,229	1,517	1,619
	Massa específica real (g/cm^3)	2,640	2,641	2,707	2,646	2,650	2,645

Legenda:

¹ Solo corrigido, sendo 70 partes de areia para 30 de solo.

² Substituição

Fonte: Autor, 2019

A descrição das características dos parâmetros de caracterização estará disposta a seguir.

4.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica, por peneiramento, foi realizada com o objetivo de se determinar a distribuição em tamanho das partículas do solo, do resíduo em estudo e das misturas, de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984).

Através da Tabela 8 pode ser avaliado que o solo e o resíduo de granito têm granulometrias aproximadas referente ao material retido na peneira de menor diâmetro. À medida que se aumentou a percentagem de substituição, do solo pelo resíduo, houve um aumento na quantidade de finos pois o material passante na peneira de 0,075 mm variou entre 12,59% a 21,93% nas substituições, demonstrando assim que o resíduo influenciou a composição granulométrica das misturas tornando-a mais fina. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos anteriores (SILVA *et al.*, 2005; WEIZENMANN *et al.*, 2013; BRUXEL, 2011).

4.1.2 Massa específica real e Massa específica aparente

A massa específica foi determinada conforme a DNER – ME – 093 (1994) e são apresentados, na Tabela 8, os valores obtidos para o solo, o resíduo e o solo com resíduo.

Os valores obtidos para a massa específica real, apresentados na Tabela 8, foram determinados segundo a DNER – ME – 093 (1994) – Solos – Determinação da densidade real. Os dados, avaliados segundo o software ANOVA, demonstram que as misturas não variaram significativamente as massas específicas reais, e que a resistência encontrada nos produtos finais não sofreu influência devido a este parâmetro.

Para o resíduo é possível encontrar resultados próximos em algumas pesquisas realizadas como o disposto na Tabela 9

Tabela 9 – Valores da literatura para massa específica dos grãos dos resíduos de rocha ornamental

Materiais	Massa específica dos grãos (g/cm³)
RMG ¹ (MIRANDA, 2007)	2,63
RCG ² (LAMEIRAS <i>et. al.</i> , 2004)	2,67
RCG (GONÇALVES, 2000)	2,81

Legenda:

¹ RMG: Resíduo de mármore e granito.

² RCG: Resíduo do corte do granito.

Fonte: Autor, 2019

Para a massa específica aparente determinada pela NBR 7185 (ABNT, 2016), os valores obtidos variaram para as amostras do resíduo e suas respectivas granulometrias dispostos na Tabela 8, é possível observar que entre a massa obtida apenas do solo e a massa na percentagem de substituição de 20% houve uma queda pouco expressiva assim como para a mistura de 40% houve um aumento pouco relevante, em ambos os casos citados não houve influência significativa na resistência do produto final (Tabela 12), pois a variação, como já citado, foi mínima.

4.1.3 Limites de consistência

Os limites de liquidez e plasticidade foram estabelecidos de acordo com a NBR 6459 (ABNT, 1917) e a NBR 7180 (ABNT, 1916), respectivamente. Na Tabela 8 são apresentados os valores dos limites de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) do solo e das composições de solo com resíduo.

Nota-se, com a análise dos resultados que os resíduos em suas respectivas granulometrias são considerados não plástico (NP) e não líquidos. Os resultados obtidos demonstram que o solo se situou na faixa $7 < IP < 15$ que o classifica como plasticidade média e a mistura com 20% do resíduo reduziu consideravelmente o índice de plasticidade dificultando a trabalhabilidade da mesma. As demais composições (30% e 40%) obtiveram resultados de IP próximos, no entanto, abaixo da do solo, evidenciando assim que nessas mesmas porcentagens, o resíduo não influenciará de maneira significativa a plasticidade da composição.

4.1.4 Composição química do resíduo

Para a análise dos compostos químicos presentes no resíduo de granito, é válido ressaltar que, na Tabela 10, o resíduo de granito apresentou além de elevados teores de sílica (48,67%), presença de óxidos de ferro (14,05%) e de cálcio (19,67%), tornando o resíduo um material pozzolânico, que segundo Grande (2003) é aquele que contém sílica na sua forma ativa ou amorfa (SiO_2) e que, por sua vez, contribui para a melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos tijolos. O óxido de ferro e de cálcio encontrados foram provenientes provavelmente da granalha de ferro e da cal moída que são utilizadas nas etapas de corte e polimento de rochas graníticas.

O resíduo em estudo apresentou análise química similar aos estudos de Oliveira (2015b). Segundo a autora, o resíduo de granito mostrou uma grande predominância de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O e CaO . SiO_2 , Al_2O_3 originário das argilas e feldspato e o K_2O feldspato biotita.

Tabela 10 – Composição química do resíduo

Matéria prima	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	MgO	ZrO_2	TiO_2	SO_2	TOTAL
Resíduo	48,67	2,86	19,67	14,05	10,9	-	0,25	0,24	2,49	10,9	100,00

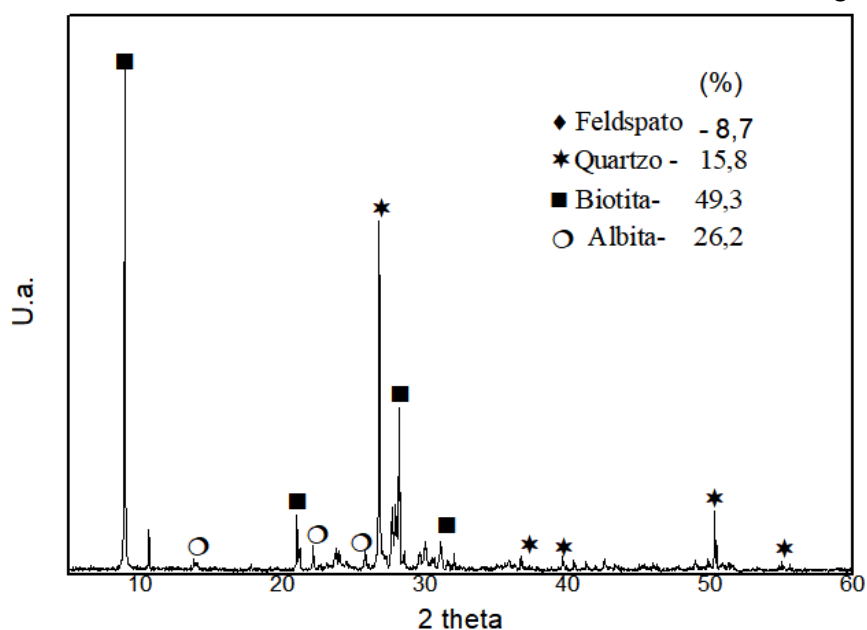
Fonte: Autor, 2019

4.1.5 Difractometria de Raio-X

A Figura 22 ilustra o difratograma de raios-x do resíduo de corte de granito. Através da análise é possível notar que há uma predominância das fases biotita, albita e quartzo. O trabalho de Taguchi *et al.* (2012) Moreira e Holanda (2003) traz os mesmos resultados referentes a análise do resíduo do corte de granito.

Segundo Gonçalves (2000), a escala referente ao ângulo de difração (disposto horizontalmente) apresenta o espaçamento do arranjo cristalino, e a escala relativo à altura do pico (disposta verticalmente) apresenta a intensidade do raio. A intensidade de picos específico a cada material é equivalente à sua quantidade. Logo, a forma apresentada no difratograma revela que os compostos químicos presentes no RCG se apresentam particularmente na forma cristalina.

Figura 22 – Padrão de difratometria de raios X do resíduo de granito



Fonte: Autor, 2019

4.1.6 Composições física e química do cimento

A Tabela 11 possui os dados encontrados na caracterização do cimento e das misturas com substituição parcial do mesmo.

Tabela 11 – Propriedades físicas e químicas do cimento

Características	Cimento	Resíduo	Cimento + 5% do resíduo	Cimento + 10% do resíduo	Cimento + 20% do resíduo
Índice de Finura	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Consistência normal	35%	35%	35%	35%	35%
Início de pega	130 min	-	116 min	138 min	170 min
Massa específica real	3,037 g/cm ³	2,750 g/cm ³	3,067 g/cm ³	3,097 g/cm ³	3,128 g/cm ³
Resistência à compressão aos 7 dias	34,3 MPa	-	34,0 MPa	35,7 MPa	29,4 MPa

Fonte: Autor, 2019.

Para o índice de finura é pontua-se a importância de se conhecer o valor da finura dos cimentos, pois quando esse valor é alto, indica que ocorreu hidratação do cimento e conseqüentemente, perda de suas características. Quanto mais fino for o cimento melhor será a sua reação de hidratação e a resistência mecânica. De acordo com a

Tabela 11 o cimento utilizado, bem como as misturas, atende ao índice de finura estabelecido em norma.

Nota-se que, quanto ao tempo de pega, houve um aumento do tempo na mistura com 20% de substituição e as demais misturas não houveram modificações significativas, demonstrando que a substituição pelo resíduo não comprometeu a reação de endurecimento do cimento, pois todas as misturas atenderam o limite prescrito em norma.

A partir da mesma Tabela, é possível notar uma redução considerável da resistência à compressão quando há substituição do cimento pelo RCG no teor de 20%, indicando assim que a mistura perde a capacidade de resistir a cargas axiais se há uma redução significativa na quantidade de cimento da mesma. Porém, é importante salientar que as misturas de 5% e 10% permaneceram em uma faixa satisfatória se comparada a resistência que foi obtida apenas com o cimento.

É válido ressaltar que algumas características são importantes para uma avaliação pozolânica, tanto o grau de amorfismo de um material rico em sílica e alumina, bem como sua finura. A portlandita na hidratação do cimento relaciona-se com a reatividade que a instabilidade estrutural de uma pozolana possui (METHA; MONTEIRO, 2014). Faz-se necessário ressaltar que para uma melhor avaliação da atividade pozolânica devem ser observados os aspectos físicos e químicos do material. Segundo Barbosa (2017) a difração de raios X é uma valiosa técnica para o estudo de materiais pozolânicos, em que é possível avaliar o grau de desordem de sua estrutura.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DOS TIJOLOS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados nos corpos de prova para caracterização físico-mecânica.

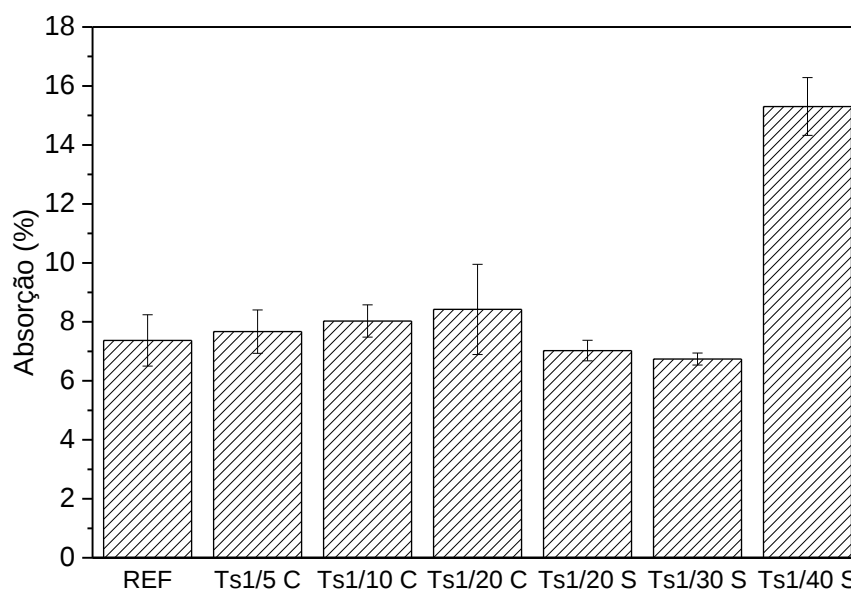
Todos os tijolos medidos tiveram variações de massa e umidade inferiores a 1%.

4.2.1 Ensaio de absorção

A Figura 23 possui os dados encontrados no ensaio de absorção, realizado conforme as recomendações da NBR 10836 (ABNT, 2013). Esse ensaio tem por objetivo avaliar a relação entre ganho de resistência à compressão e a absorção.

De acordo com as especificações da NBR 10834 (ABNT, 2012), todos os traços com resíduo se enquadraram no estabelecido. Nota-se que para os traços com substituição parcial do cimento até 20% há uma tendência de aumento gradativo da absorção de água. Para os traços de substituição do solo há uma tendência a não alterar significativamente a absorção levando em consideração o tijolo de referência, entretanto para uma substituição de 40% há um aumento considerável na absorção. Um estudo com incorporações maiores que 40% do resíduo seria necessário para determinar se há uma tendência de aumento gradativo na absorção dos tijolos a medida em que se aumenta a percentagem do resíduo nas misturas.

Figura 23 – Resultados de absorção de água



Fonte: Autor, 2019

4.2.2 Ensaio de resistência à compressão simples

A Tabela 12 apresenta os valores encontrados no ensaio de resistência à compressão simples, realizado aos 7 dias de idade, conforme as recomendações da NBR 10836 (ABNT, 2013). Este ensaio tem como objetivo a verificação da resistência à compressão mínima de cada tijolo, exigida pela NBR 10834 (ABNT, 2012) para que possam ser utilizados como componente de construção e, ainda, a influência da substituição pelo resíduo nos resultados, quando comparados apenas com o solo corrigido.

Tabela 12– Resultados do ensaio de resistência à compressão simples (MPa)

Tijolos	REF	Ts1/5 C	Ts1/10 C	Ts1/20 C	Ts1/20 S	Ts1/30 S	Ts1/40 S
1	1,7	2,1	1,6	1,3	1,9	1,4	1,9
2	1,9	2,2	1,2	1,3	1,1	1,3	1,3
3	1,8	2,1	1,8	1,3	1,8	1,1	1,6
4	2,3	2,4	1,9	1,4	1,8	1,8	1,2
5	1,7	2	2,1	1,4	2,0	1,4	1,5
6	1,7	2,1	1,3	1,3	1,9	1,7	1,9
7	1,6	2,3	1,9	1,6	1,6	1,7	1,5
Média	1,8 ± 0,2	2,2 ± 0,1	1,7 ± 0,3	1,4 ± 0,1	1,7 ± 0,2	1,5 ± 0,2	1,6 ± 0,3
Melhores resultados individuais	2,3	2,4	2,1	1,6	2,0	1,8	1,9
ANOVA $p=1,1 \times 10^{-5}$ F calculado > F crítico							

Fonte: Autor, 2019

Os resultados indicados na Tabela 12 mostraram que uma comparação entre a composição de referência e as demais, com substituição parcial do solo, não houve variação significativa nos resultados obtidos, em média, para a resistência à compressão realizada nos tijolos.

Ainda, analisando a Tabela 12, é possível notar que a substituição do solo pelo resíduo em porcentagens até 40%, em substituição ao solo, não resultou em grandes perdas de resistência em comparação com o tijolo de referência.

Os resultados indicados na Tabela 12 mostraram que o melhor resultado de resistência à compressão foi com o traço Ts1/5 C (5% de resíduo), com resistência média obtida de 2,2 MPa.

Analisando ainda a tabela com os resultados do ensaio, torna-se visível que à medida em que se aumenta a substituição do cimento pelo resíduo há uma queda na resistência à compressão dos tijolos com substituição parcial do cimento. Dessa forma, é possível afirmar que se aumentar a substituição do cimento acima dos citados e estudados nessa pesquisa a resistência tenderá a cair.

Para os valores de p na análise do software ANOVA deve-se levar em consideração que o valor- p , é a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, sob a hipótese nula.

De acordo com análise dos dados, utilizando o software mencionado anteriormente, para os valores de $p > 0,05$, significa que não existe variação entre os valores obtidos e, portanto, são considerados iguais.

4.2.3 Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem

A Tabela 13 apresenta os valores encontrados no ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, realizado aos 7 dias de idade, onde foi avaliada a perda de massa. O processo é descrito anteriormente nessa pesquisa no item 3.2.3 e tem por finalidade determinar variação de umidade dos corpos de prova, como também a perda de massa.

A partir dos dados expostos na Tabela 13, observa-se que ao substituir o solo pelo resíduo, houve uma redução da perda de massa nos traços dos tijolos, com exceção da mistura Ts1/30 S, onde ocorre um aumento dessa perda. No entanto, com substituição do cimento, no traço Ts1/20 C há um aumento significativo na perda de massa, indicando que a diminuição da percentagem de cimento e o aumento da quantidade de resíduo pode influenciar nesta característica. De acordo com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento – CEPED (1984), o limite de perda de massa para construção de solo cimento é de 10%, sob essa perspectiva é possível afirmar que com exceção do traço Ts1/20 C, todos os demais atenderam esse parâmetro.

Tabela 13 – Perda de massa dos tijolos aos 7 dias (média após 6 ciclos)

Traço	Massa seca inicial (g)	Massa seca final(g)	Perda de massa (%)
REF	2750	2800	4,55
Ts1/5 C	2900	2930	1,54
Ts1/10 C	2860	2880	2,08
Ts1/20 C	3270	3330	13,96
Ts1/20 S	2780	2800	2,86
Ts1/30 S	2890	2910	6,87
Ts1/40 S	2840	2850	3,51
ANOVA $p=5,7 \times 10^{-1}$			
F calculado > F crítico			

Fonte: Autor, 2019

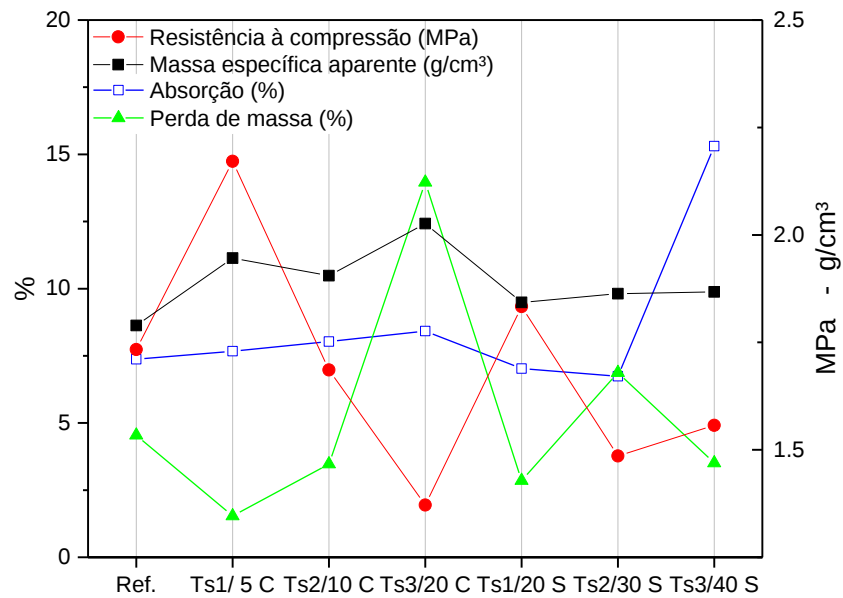
4.2.4 Comparativo entre as características físico-mecânicas dos tijolos

Na Figura 24 constata-se que para nenhuma das misturas utilizadas houveram grandes variações da massa específica, o que ressalta que a substituição do resíduo não influenciou nessa característica, é provável que esta constância tenha se dado devido a adoção de um padrão de quantidade de massa colocada na prensa para a confecção do tijolo.

Ainda referente a Figura 24, o melhor traço confeccionado foi o Ts1/5 C, para o mesmo é pertinente salientar que possuiu uma perda de massa inferior as demais

misturas com uma resistência à compressão superior, além de manter o valor de absorção próxima ao tijolo de referência.

Figura 24 – Resultados de compressão, absorção, perda de massa e massa específica do tijolo



Fonte: Autor, 2019

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo serão abordadas as conclusões sobre a presente pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES PRINCIPAIS

O objetivo geral da pesquisa foi produzir tijolo de solo-cimento com o solo situado no Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância e fazer substituições parciais do material que compõe o tijolo (solo e cimento) pelo resíduo do corte de granito, sem alterações significativas das suas propriedades iniciais.

A caracterização dos materiais utilizados para compor o produto final, bem como o tijolo de solo-cimento, foi obtida por meio de procedimentos experimentais realizados em laboratório, fundamentados em normas técnicas para a determinação das propriedades físicas dos materiais isoladamente, determinação da porcentagem entre os materiais para definição do melhor traço e determinação das propriedades físico-mecânicas.

Durante a realização dos ensaios, observou-se que uma maior atenção deve ser dada ao controle de umidade da composição da mistura de solo-cimento, pois a mesma possui intensa influência sob a prensagem do tijolo e consequentemente a sua resistência à compressão, para que se atinjam características satisfatórias que garantam a qualidade na caracterização e obtenção de um componente construtivo.

Os resultados obtidos, e apresentados no Capítulo 4, permitem uma série de considerações. Primeiramente, de acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), o solo e as misturas de solo com resíduo são adequados para a confecção de tijolos pois ambos se enquadram no requisito de 100% do material passar na peneira 4,8 mm e 10% a 50% passar na peneira de 0,075 mm.

A substituição das diferentes porcentagens do resíduo ao solo não resultou em grandes variações nos valores de massa específica dos grãos, o que indica que os resultados encontrados para resistência não sofreram influência devido a este parâmetro.

É importante salientar que a incorporação do resíduo em maiores porcentagens não alterou significativamente a massa específica aparente das misturas, o que resultou em manter a umidade ótima de compactação padrão (14%) para todas as misturas.

Quanto à capacidade de absorção de água exigida pela norma, todos os traços enquadraram-se. É exequível notar que há um aumento gradativo na absorção dos tijolos à medida que é aumentada a percentagem de resíduo na composição, indicando que o resíduo possui uma capacidade de absorção elevada, que modificará essa característica no produto final.

Em termos de resistência à compressão, a melhor combinação foi atingida pelo traço Ts1/5 C, com resultados superiores aos apresentados pelo traço de referência. Isso indica que a incorporação do resíduo na proporção de 5% em substituição ao cimento conferiu maior resistência ao componente. É possível notar que, existe a probabilidade de que a modificação da capacidade de absorção do tijolo, com o aumento da quantidade de resíduo na mistura possua influência na resistência à compressão dos mesmos.

É possível afirmar que se aumentar a substituição do cimento acima dos citados e estudados nessa pesquisa a resistência tenderá a cair.

Quanto à durabilidade, todos os traços, exceto o Ts1/20 C, apresentaram valores aceitáveis à perda de massa, pois o limite para construção de solo-cimento é de 10% de acordo com o CEPED (1984), à medida em que o solo foi substituído pelo resíduo como também para a substituição do cimento. A melhor combinação foi para os traços Ts1/5 C quando feita a substituição pelo cimento e Ts1/20 S quando feita a substituição pelo solo.

A viabilidade da produção de tijolos solo-cimento com substituição parcial do solo pelo resíduo se mostrou uma alternativa exequível e sustentável, pois a mesma dá uma destinação adequada ao RCG além de reduzir o consumo dos demais componentes como cimento e solo. Portanto, a hipótese proposta neste trabalho foi alcançada mostrando a relevância da presente pesquisa.

5.2 CONCLUSÕES FINAIS

É notável a necessidade de uma reformulação quanto ao conceito existente dentro da construção civil a respeito de desenvolvimento sustentável, pois são visíveis o impacto ambiental causados por tais atividades humanas. Uma proposição é a incorporação de resíduos decorrentes das atividades que possuem alto índice de

geração de resíduos em todas as etapas desde a extração, passando pelo processamento industrial, transporte e destinação final. Desta forma, o emprego e o desenvolvimento da tecnologia dos tijolos de solo-cimento com resíduos está em conformidade com um dos maiores desafios impostos a pesquisadores, aos profissionais e à sociedade: a diminuição de impactos ambientais advindos das atividades do setor da indústria de rochas ornamentais, uma vez que, como citado na presente pesquisa, existe um elevado índice de resíduo gerado e pouco conhecimento a cerca de um descarte apropriado.

Inserida no contexto da sustentabilidade na construção civil, a fabricação de tijolos de solo-cimento com resíduos contribui de forma benéfica para uma discussão mais aprofundada acerca de processos construtivos que utilizam novos componentes modulares – principalmente quando são alternativa para o aproveitamento de materiais de descarte, que outrora seriam despejados inadequadamente – frente aos requisitos de projeto e diante das necessidades dos usuários.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A utilização de resíduos para fabricação de tijolos de solo-cimento é um tema de muita importância e que merece aprofundamento. Outros estudos podem e devem ser parte de pesquisas futuras, como por exemplo um melhor desempenho quanto a condutibilidade térmica e acústica, e tantos outros necessários ao entendimento das características e que melhor difundam a praticidade do tijolo de solo-cimento. Sendo assim, alguns estudos podem ser realizados para garantir um melhor entendimento e desempenho dos tijolos, como:

- Realizar um estudo para observar a influência do tipo de cura na resistência à compressão e absorção do tijolo de solo-cimento;
- Analisar a influência do resíduo na capacidade térmica do tijolo;
- Avaliar a resistência e comportamento do tijolo quanto a tração/flexão;
- Analisar a correção do solo utilizando o resíduo e observar a influência exercida nas características físicas do tijolo.
- Realizar um estudo de incorporações do resíduo, maiores que 40% para analisar a absorção de água dos tijolos.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K. **Solo-cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas**. In: Construção São Paulo n. 1963. Pini-SP.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – **O setor brasileiro de rochas ornamentais: Cenário mundial**. Outubro de 2018. São Paulo – SP.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR – 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **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: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR – 7182: Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR – 7185: Solo – Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR – 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. 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, 2012.

_____. **NBR – 10834:** Bloco de solo cimento sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR – 10836:** Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR – 11579:** Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR – 11582:** Cimento Portland – Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR – 12024:** Solo cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

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

_____. **NBR – 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR – 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. 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.

BARBOSA, J. M. **A influência da moagem na atividade pozolânica do resíduo de granito.** 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas Gerais.

BASTOS R. S. *et al.* **Revisão Bibliográfica dos Estudos Sobre a Aplicação da Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais na Produção de Materiais de Construção.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54, 2013, Gramado. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2013.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**, v.1, Rio de Janeiro, 1995.

BRUXEL, F. R. **A problemática dos resíduos provenientes do setor de gemas: avaliação da incorporação de lodo de gemas na massa cerâmica**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2011.

CAMPOS, A. R.; RIBEIRO, R. C. C.; CASTRO, N. F.; AZEVEDO, H. C. A.; CATTABRIGA, L. **Resíduos: tratamento e aplicações industriais**. In: Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 431-492, 2014.

CEPED (1984) CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DA BAHIA. **Cartilha para construção de paredes monolíticas em solo-cimento**. 3ª Edição Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro, BNH/DEPEA, 32p.

DAMASCENO, Juliana Lucena Barros. **Requisitos de sustentabilidade aplicáveis ao setor da construção civil pesada**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Unidade da Universidade de São Paulo (USP) Escola Politécnica. São Paulo, 2016.

D'AGOSTIN, L., VIDAL, F. W. H., CASTRO, N. F. Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de concreto. In: Jornada de Iniciação Científica, 24. **Anais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016. 5p.

DOS SANTOS, C. W.; SUZART, P. V.; SILVA, F. N. Tendências tecnológicas para o processo de preparação de compósito à base de solo cimento e fibra de bananeira para fabricação de tijolos e tecnologias correlatas através da pesquisa em documentos de patentes. Bahia: **Cadernos de Prospeção**, 2014. 36-44 p.

FREIRE, L. C.; CASTRO, N. F.; SILVEIRA, L. L. L. Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. In: Jornada PCI do CETEM, 2., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

GOBBO, Luciano de Andrade. **Os compostos do clínquer Portland: sua caracterização por difração de raios-X e quantificação por refinamento de Rietveld**. 157 f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. 135f. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Usp-São Carlos 2003.

LAMEIRAS, R. M., TENÓRIO, J. J. L., LIMA, L.A. Avaliação do potencial de utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG) em concretos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC2005, 47. **Anais...** Recife, 2005.

Volume V – Inovações Tecnológicas para o Concreto. Trabalho 47CBC0331. p.V317-332.

LARUCCIA, Mauro Maia. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. **Revista ENIAC Pesquisa**, [S. l.], ano 2014, v. 3, n. 1, p. 69-84, 23 jun. 2014.

LEITÃO, A. I. B. L. S. O processo de beneficiamento de rochas ornamentais e suas implicações jurídico-ambientais. **Revista Acadêmica Clóvis Beviláqua**, Fortaleza, v. 4, n. 1, jan./jun. 2017.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ**. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2006. 107p.

LIMA, F. X. R. F. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações**. Universidade de Brasília. Curso de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2013.

LIMA, R. C. O., NEVES, G. A., CARVALHO, J. B. Q., **Aproveitamento do resíduo de serragem de granito em paredes monolíticas de solo-cimento**. In: Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru, São Paulo, 2010.

MACHADO, T. P. **Avaliação do envolvimento das construtoras no processo sustentável da construção civil em Aracaju-SE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe São Cristóvão, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2 ed. Nicole Pagan Hasparyk (tradutor). Ed. Ibracon, São Paulo 2014.

MENDES, R; ZANOTTI, R. A. R; MENEZES, J. C. S. dos S. Produção de Solo-Cimento (Tijolo Ecológico) Utilizando Resíduo do Polimento de Grés de Porcelanato como Fonte de Sílica. **Revista de Engenharia Civil IMED**, 1(1): 50-55. Videira, Santa Catarina, 2014.

MERCADO, M. C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes a sua produção e utilização em estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MIRANDA, R. A. C. **Viabilidade técnica da aplicação de resíduo de beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. Goiânia, 2007.

MOREIRA, J.; HOLANDA, J. N. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha**. *Cerâmica* 49 (2003) 262-267

MOTTA, C. J.; MORAES, W. P.; ROCHA, N. G. **Tijolo de Solo e Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte: E-XATA, 2014. 5p.

MYRRHA, M. A. de. L. **Solo cimento para fins construtivos**. In: FREIRE, W.J. BERALDO, A.L. Tecnologias e materiais alternativos de construção. São Paulo: Editora da Unicamp, 332p., cap.4, p.95-120, 2003.

OLIVEIRA, T. **Caracterização do resíduo de serragem de rochas ornamentais para aplicações geotécnicas**. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015a.

OLIVEIRA, Liliane Souza de. **Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios**. 102 p. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Fabricação) - Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2015b.

PAES, A.T. Por dentro da estatística. **Einstein: Educ Contin Saude**. pp 109-110, 2008.

PEREIRA, A. M; FAZZAN, J. V; FREITAS, V. Análise da viabilidade do uso da fibra de borracha de pneu como reforço em tijolo de solo cimento. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 03, n. 20, pp. 53-65, 2015.

PISANI, m. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento**. In: SINERGIA. V.6. N.1. 2005. São paulo, 2005, p. 53-59.

QUEIRÓZ, F. C., CASTRO, N. F. Incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais em concreto autodensável como Ecofiller. In: JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INTERNA DO CETEM, 5. Rio de Janeiro. **Anais. CETEM/MCTIC**, 2016.

REIS, C. F.; CASTRO, N. F. Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. In: Jornada do PCI do CETEM, 4. Rio de Janeiro. **Anais...Rio de Janeiro: CETEM/MCTI**, 2015.

REZENDE, D; GUILHERME, M; ALMEIDA, T. **Tijolo de solo cimento**. Faculdade Pitágoras de Ipatinga. 2013.

RIBEIRO, D.; MOURA, L. S. de; PIROTE, N. S. dos S. Sustentabilidade: Formas de Reaproveitar os Resíduos da Construção Civil. **Revista de Ciências Gerenciais**, [S. l.], ano 2016, v. 20, n. 31, p. 41-45, abr. 2019. Online.

RIBEIRO, S. V. **Reutilização de resíduo de rocha ornamental na produção de tijolo solo cimento**. 2013. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2013.

RIBEIRO, S. V.; HOLANDA, J. N. F. Soil-Cement Bricks Incorporated with Granite Cutting Sludge. **International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)**, [S. l.] v. 3, n. 2, p. 401-408, mar. 2014.

SANTANA, S. J.; CARVALHO, X. A.; FARIA, A. R. **Tijolo Ecológico versus Tijolo Comum: benefícios ambientais e economia de energia durante o processo de queima**. Mato Grosso: IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2013.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Boletim: Novos produtos ecológicos**. São Paulo. 2014. 7 p.

SILVA, A. A. A. **Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva**. VII Congresso Nacional de excelência em gestão. Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, J. B. *et al.* Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, p. 325-330, 2005.

SILVA, J. P.; CASTRO, N. F. Avaliação da viabilidade do uso de miniunidades de fabricação de argamassas com resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais. In: JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INTERNA DO CETEM, 04. Rio de Janeiro. **Anais**. CETEM/MCTI, 2015.

SOUSA, A. A. P; OLIVEIRA, D. F; FARIAS, G. G; SOUSA, M. F. N e JORDÃO, M. T. **Sinal Verde – Gestão Ambiental: a experiência do CEGAMI**. EDUEP. Campina Grande/PB. 2007.

SOUZA, Márcia I. B.; SEGANTINI, Antônio A. S.; PEREIRA, Joelma A., Tijolos prensados de solo cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p.205-212, jan. 2008.

TAGUCHI, S. P.; SOUZA, P. B.; BORLINI, M. C.; PAZETO, A. A.; RODRIGUES, M. S. **Caracterização física e química do resíduo granítico iberê crema boudeax, iberê golden e twilight proveniente do corte utilizando multifios**. In: CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Joinville, Santa Catarina, 2012.

ULIANA, Juliana Gavini. **Tratamento térmico da lama do beneficiamento de rochas ornamentais: aplicação como pozolana em matrizes cimentícias**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2014.

VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A., CASTRO, N. F. (Eds). Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. **Anais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 700p.

WEIZENMANN, M. *et al.* **Avaliação da incorporação de resíduo de gemas na massa cerâmica vermelha: um estudo de caso**. **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, n. 351, p. 442 - 447, 2013.