



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RENAN TOSCANO DE MEDEIROS

**ESTUDO DE TIJOLO VAZADO DE SOLO-CIMENTO COM SOLOS
ENCONTRADOS NO MUNICÍPIO DE ANGICOS/RN**

ANGICOS-RN

2018

RENAN TOSCANO DE MEDEIROS

**ESTUDO DE TIJOLO VAZADO DE SOLO-CIMENTO COM SOLOS
ENCONTRADOS NO MUNICÍPIO DE ANGICOS/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Kleber Cavalcanti Cabral, Prof.
Dr.

ANGICOS-RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M488e Medeiros, Renan Toscano.
Estudo de tijolo vazado de solo-cimento com
solos encontrados no município de Angicos/RN /
Renan Toscano Medeiros. - 2018.
61 f. : il.

Orientador: Kleber Cavalcanti Cabral.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Tijolo solo-cimento. 2. Construção civil. 3.
Construção sustentável. I. Cabral, Kleber
Cavalcanti, orient. II. Título.

RENAN TOSCANO DE MEDEIROS

**ESTUDO DE TIJOLO VAZADO DE SOLO-CIMENTO COM SOLOS
ENCONTRADOS NO MUNICÍPIO DE ANGICOS/RN**

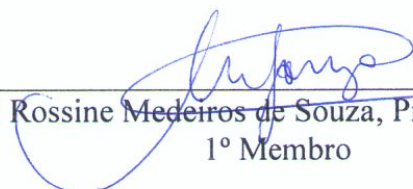
Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 12 / 09 / 2018.

BANCA EXAMINADORA



Kleber Cavalcanti Cabral, Prof. Dr. (UFERSA)
Orientador



Wendell Rossine Medeiros de Souza, Prof. Dr. (UFERSA)
1º Membro



Adna Érica Melo de Sousa, Engenheira Civil.
2º Membro

AGRADECIMENTOS

Gratidão tem sido uma palavra e um gesto que tem me acompanhado durante todos esses anos de graduação. Primordialmente agradeço a Deus, que me sustentou durante todo esse tempo distante de casa para que eu pudesse estudar e concluir um sonho que há 7 anos eu não enxergava mais. Agradeço pela força, pelo sustento, pela vitalidade, pela persistência e pelas pessoas que Ele colocou em meu caminho que contribuíram para que alcançasse esse sonho.

Agradeço essa conquista aos meus pais. Minha mãe por acreditar em mim em todo tempo, me aconselhando, incentivando e orando constantemente por mim. Meu pai, por mesmo não demonstrar muito o que sente, era perceptível a sua credibilidade e suas intenções em ajudar. Sem vocês eu não sou a pessoa que me tornei hoje, obrigado.

Agradeço a pessoa que estive comigo durante pouco mais de cinco anos, Clara Braga. Agradeço pela companhia durante todo esse tempo, agradeço pelo amor que teve por mim, pela preocupação, por me incentivar, me apoiar, me questionar, me ajudar, me fazer sonhar mais alto. Por mais que atualmente não esteja comigo, eu serei eternamente grato por tudo que foi por mim e fez para mim.

Agradeço aos companheiros de República Tcheca, por ordem alfabética, Alanderson Arthu, Johnata, Matheus Moraes, Maxwuell, Júnior (Baú), Guilherme de Lucena e Guilherme Lopes. Agradeço pelas resenhas, descontrações, aprendizados, companheirismo e pela amizade de todos.

Agradeço a turma que me acolheu de engenharia civil, em especial as meninas que me acolheram em atividades acadêmicas, Hericássia Sayonnah e Nayara Trindade, sou eternamente grato pela amizade de vocês, companheirismo, resenhas, estudos em grupo, trabalhos em grupo, atividades em grupo e inúmeras outras coisas que somou coisas boas em minha vida. Eternamente planeta de cores.

Agradeço a minha professora Roselene Alcântara, pela oportunidade da bolsa de iniciação científica, por me proporcionar conhecimento na área em que almejo galgar e pela submissão da nossa pesquisa em capítulo de livro.

Agradeço ao meu orientador, Kleber Cavalcanti Cabral que me deu a oportunidade de estudar sobre esse tema que me atraiu muito, pela confiança depositada para escrever sobre esse tema e pela orientação e incentivo em continuar até conseguir o resultado desse trabalho.

Agradeço aos técnicos de laboratório, Adna Érica e Valteson, por me ajudarem na parte prática e por me fornecerem conhecimentos.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha formação contribuindo com seus conhecimentos, conselhos e incentivos.

Agradeço a todos os terceirizados que colaboraram comigo durante esse período de graduação, em pesquisas e neste trabalho.

Gratidão a UFERSA!

“Semear ideias ecológicas e plantar sustentabilidade é ter a garantia de colhermos um futuro fértil e consciente.”

(Sivaldo Filho)

RESUMO

O setor da construção civil vem consumindo desenfreadamente os recursos naturais e a energia. Dessa forma, o setor estabelece uma preocupação para minimizar esse consumo de modo que tenham novos conceitos e soluções técnicas, visando a sustentabilidade de suas atividades. Uma dessas soluções é a utilização do tijolo solo-cimento na construção civil, de caráter sustentável, utilizando solo, cimento e água, além de reduzir o consumo de argamassa na sua aplicação e demais características vantajosas. O Rio Grande do Norte possui apenas cinco fábricas de tijolo solo-cimento, mesmo com toda simplicidade em seu processo de fabricação. Diante disso, o objetivo do trabalho é identificar solos no município de Angicos/RN, caracteriza-los conforme as normas vigentes, para verificar a viabilidade na produção do tijolo de solo-cimento. Referente a esse proposto, foram coletadas amostras de três tipos de solo (solo A, solo B e solo C) e caracterizados por meio de análise granulométrica e limites de liquidez e plasticidade e comparados com a literatura e ABNT NBR 10833:2012, após isso foram feitas tentativas com traços de 1:10, 1:9, 1:8 e 1:7, variando o teor de água de 10%, 7,5% e 6%, até obter êxito na modulação do tijolo. Das três amostras de solo, apenas o solo C conseguiu êxito. O solo C, por sua vez, conseguiu ser modulado com o traço de 1:7 e teores de água de 7,5% e 6%. Pode-se concluir que o solo C modulado com o teor de água de 6% obteve resultados estéticos mais favoráveis.

Palavras-chaves: Tijolo solo-cimento. Construção civil. Construção sustentável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Prensa manual e hidráulica de fabricação de tijolo de solo-cimento, respectivamente.	18
Figura 2 - Etapas de fabricação do tijolo solo-cimento.	18
Figura 3 - Tipos de tijolo solo-cimento.	20
Figura 4 - Estrutura do solo.	22
Figura 5 - Escala granulométrica da ABNT.	23
Figura 6 - Tipos de granulometria.	24
Figura 7 - Aparelho de Casagrande: aspecto da ranhura antes e depois do ensaio.	25
Figura 8 - Ensaio de LP.	26
Figura 9 - Mapa exploratório: reconhecimento de solos do município de Angicos, RN.	32
Figura 10 - Fonte da extração do solo A (a); Amostra do solo A (b).	34
Figura 11 - Disposição do solo B.	34
Figura 12 - Localização da origem do solo C (a); Fonte da extração do solo C (b).	35
Figura 13 - Cimento CP V – ARI – RS, MIZU, 40kg.	36
Figura 14 - Secagem das amostras na estufa.	38
Figura 15 - Peneiramento dos solos A, B e C, respectivamente, na peneira ABNT de nº4 (4,8mm).	38
Figura 16 - Peneiramento dos solos A, B e C, respectivamente, na peneira ABNT de nº10 (2,0mm).	39
Figura 17 - Pesagem das amostras de solo para peneiramento fino: solo A, B e C, respectivamente.	39
Figura 18 - Agitador de peneiras.	40
Figura 19 - Ensaio para a determinação do limite de liquidez (LL).	41
Figura 20 - Ensaio para a determinação do limite de plasticidade (LP).	42
Figura 21 - Proveta de 1L e proveta de 100ml, respectivamente.	43
Figura 22 - Homogeneização dos materiais secos na argamassadeira.	44
Figura 23 - Mistura do solo, cimento e água.	44
Figura 24 - Método da bolinha de solo, cimento e água.	45
Figura 25 - Máquina de prensa mecânica para a fabricação de tijolos de solo-cimento.	46

Figura 26 - Compactação da mistura pela máquina de prensas mecânica.	46
Figura 27 - Curva granulométrica do solo A.....	50
Figura 28 - Curva granulométrica do solo B.	50
Figura 29 - Curva granulométrica do solo C.	51
Figura 30 - Limite de liquidez do solo A.	52
Figura 31 - Limite de liquidez do solo C.....	52
Figura 32 - Tijolo vazado de solo-cimento modulado com 6% de teor de água.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frações granulométricas.....	23
Tabela 2 - Características do solo para a fabricação de tijolo de solo-cimento.....	27
Tabela 3 - Granulometria por peneiramento do solo A.	48
Tabela 4 - Granulometria por peneiramento do solo B.	49
Tabela 5 - Granulometria por peneiramento do solo C.	49
Tabela 6 - Limite de plasticidade do solo A.	53
Tabela 7 - Limite de plasticidade do solo C.	53
Tabela 8 - Índice de plasticidade dos solos A e C.	53
Tabela 9 - Dosagens para a modulação do tijolo vazado de solo-cimento.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARI	Alta Resistencia Inicial
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CINVAM	<i>Centro Interamericano De Vivienda Y Planejamento</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Defesa do Meio Ambiente
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
M_h	Massa úmida
M_s	Massa seca
NBR	Norma Brasileira
NP	Não Plástico
RN	Rio Grande do Norte
RS	Resistencia a Sulfato
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	17
3.1.1 Definição	17
3.2 ETAPAS DE FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO	17
3.3 MATÉRIAS PRIMA DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	21
3.3.1 Solo	21
3.3.1.1 Determinação granulométrica	22
3.3.1.2 Determinação dos Limites de Atterberg	24
3.3.1.3 Critérios para escolha do solo	27
3.3.1.4 Estabilização solo-cimento	28
3.3.3 Cimento Portland	29
3.3.4 Água	30
3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO TIJOLO SOLO-CIMENTO	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 MATERIAIS	33
4.1.1 Matérias prima	33
4.1.1.1 Solos utilizados	33
4.1.1.2 Cimento utilizado	35
4.1.1.3 Água de amassamento	36
4.1.2 Equipamentos	36
4.2 MÉTODOS	37
4.2.1 Preparação e caracterização do solo	38
4.2.1.1 Ensaio granulométrico	38

4.2.1.2 Ensaio dos Limites de Atterberg	41
4.2.2 Preparação da mistura.....	42
4.2.2.1 Dosagem	42
4.2.2.2 Mistura.....	43
4.2.3 Modulação dos tijolos vazados de solo-cimento	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	48
5.1.1 Granulometria	48
5.1.2 Limites de Atterberg	51
5.2 DOSAGENS	54
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção é o setor que consome mais recursos naturais e faz uso da energia intensamente, gerando relevantes impactos ambientais. (BRASIL, 2018).

A primordialidade da preservação ambiental e a propensão da escassez dos recursos naturais estabelecem com que a construção civil tenha novos conceitos e soluções técnicas direcionando a ótica para a sustentabilidade de suas atividades.

Salvador Filho (2007) detalha que, no setor da construção civil, as técnicas habituais costumeiramente fazem alusão a uma imagem de qualidade, durabilidade e economia.

Uma dessas soluções técnicas que visam diminuir os impactos gerados pelo setor da construção civil e proporcionam mais economia na sua produção, é a fabricação de tijolos de solo-cimento. Diante disso, “o tijolo de solo-cimento, conhecido como um tipo de tijolo modular ou ecológico, surge como um elemento que busca atender à demanda de construção sustentável.” (CORDEIRO; MACHADO, 2017, p. 12).

Fiais e Sousa (2017) explicam que os tijolos ecológicos são sustentáveis, pelo fato de não passarem pelo processo de cozimento como os tijolos cerâmicos, onde são queimados em fornos, sendo assim, eles contribuem para a preservação de inúmeras árvores que poderiam ser cortadas para virar lenha, que proporcionariam a emissão de gases poluentes. Além disso, Grande (2003) ainda ressalta que a necessidade do transporte pode ser reduzida comparada aos tijolos cerâmicos convencionais, uma vez que, quando possível, os tijolos podem ser produzidos com o solo do próprio local da obra.

Além do tijolo de solo-cimento passar por um processo de fabricação ecológica, sua matéria prima é constituída de solo, cimento e água, onde as proporções de cimento para uma viabilidade sustentável, segundo a ABCP (2000), variam de 7% a 14% do seu volume total de massa seca, e o teor de água também é baixo, variando conforme o traço. Além disso, a ABCP (1988) informa que o processo de moldagem possibilita manter a regularidade dimensional das faces dos tijolos, implicando em menor consumo de argamassa de assentamento e de revestimento.

Diante dessa solução técnica sustentável, o Rio Grande do Norte, segundo Melo (2015), possui apenas cinco fábricas de tijolo solo-cimento, as quais se localizam nos municípios de Doutor Severiano (Alto Oeste potiguar), Mossoró (Mesorregião Oeste), Lagoa de Velhos (Microrregião da Borborema Potiguar), Bom Jesus (Agreste Potiguar) e Natal (Mesorregião Leste do Estado).

Considerando o viés sustentável, a facilidade em seu processo construtivo e o solo ser um recurso em grande quantidade, é intrigante estudar sobre o solo do município de Angicos/RN para criar a possibilidade de iniciar uma produção de tijolo de solo-cimento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem por objetivo identificar solos na região do município de Angicos/RN que sejam possíveis produzir tijolos de solo-cimento conforme requisitos da ABNT NBR 10833:2012 e literaturas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Escolher os solos;
- Caracterizar os solos;
- Determinar as dosagens de solo, cimento e água que atendam aos critérios;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

3.1.1 Definição

O tijolo solo-cimento é conhecido pelo nome composto de suas matérias prima constituinte pelo fato de sua composição ser em maior parte formada de solo, somados com uma menor parcela de cimento.

De acordo com Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1986, p. 9), a definição para “solo-cimento é o produto endurecido resultante da mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem racional, executada de acordo com as normas aplicáveis ao solo em estudo.”

Seguindo o mesmo raciocínio, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da Norma Brasileira (NBR) 12253 (ABNT, 2012, p. 01), define de forma enxuta o solo-cimento como “um produto endurecido resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem.”

No tocante ao tijolo de solo-cimento, Motta *et al.* (2014), define que é composto de solo, água e cimento, o mesmo é considerado um novo método construtivo sustentável, pois não é necessário realizar a queima do tijolo, eliminando a extração de madeira e evitando a emissão de monóxido de carbono.

Diante do fato de não necessitar da queima do tijolo, Motta *et al.* (2014) informa que o tijolo de solo-cimento é conhecido também por tijolo ecológico.

3.2 ETAPAS DE FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO

Após a criação em 1961 da “Prensa Cinvam-Ram”, fruto da evolução do Centro Interamericano De Vivienda Y Planejamento (CINVAM), na qual era uma prensa manual de fabricação de tijolo solo-cimento, houve uma propagação de fabricantes desenvolvendo prensas manuais e hidráulicas de variados tipos de tijolos e blocos de solo-cimento compactados (GRANDE, 2003).

De acordo com a ABCP (2000), a fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais tem início na etapa de preparação do solo, na qual o solo contendo baixa umidade é retirado da jazida e transportado para um depósito.

As fabricações dos tijolos solo-cimento podem ser realizadas pela prensa manual e hidráulica, Figura 1.

Figura 1 - Prensa manual e hidráulica de fabricação de tijolo de solo-cimento, respectivamente.

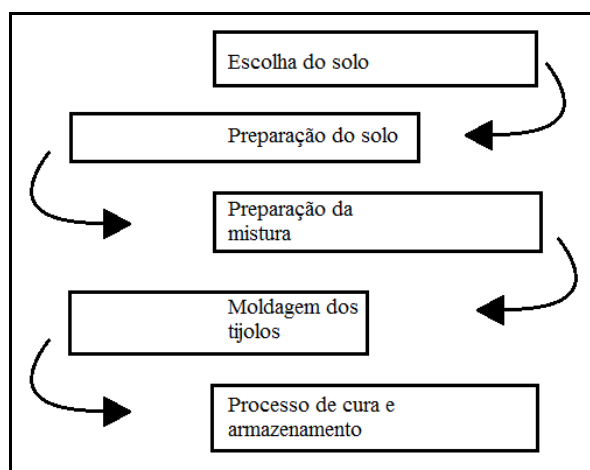


Fonte: VIMAQPRENSAS (2018).¹

Ambas as prensas passam pelas mesmas etapas de fabricação, só divergem na praticidade e rapidez na produção.

As etapas de fabricação do tijolo solo-cimento podem se dividir, segundo Ribeiro (2013), em 5 etapas, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Etapas de fabricação do tijolo solo-cimento.



Fonte: Adaptado de Silva (2013).

¹ Disponível em: < <http://vimaqpreensas.com.br/>>. Acesso em: 23 ago. 18

As etapas ilustradas de forma adaptada mostram que a escolha do solo é primordial para que se idealize a fabricação de um tijolo de solo-cimento. Ribeiro (2013, p. 39) enfatiza que a “escolha do solo é importante porque o mesmo é adicionado em maior quantidade, e de acordo com suas características poderá ocorrer uma mistura com outros tipos de solos para melhorar as suas propriedades para então serem adicionados o cimento e água.”

A preparação do solo se dá pela caracterização do mesmo. Para isso, a preparação da amostra de solo para compactação e caracterização é orientada pela NBR 6457 (ABNT, 2016), onde para preparar a amostra para caracterização, é preciso passar por uma análise granulométrica, e determinação do limite de liquidez e plasticidade. Ainda conforme a norma supracitada, para realizar esses ensaios, de forma abrangente e resumida, é preciso passar pela secagem prévia, destorroamento do solo evitando quebrar os grãos e peneiramento.

Após a preparação do solo, mistura o cimento com o solo, onde as proporções (traço cimento: solo) irão depender do tipo de solo. De acordo com Ribeiro (2013), a proporção de cimento incorporado no solo será menor quando o solo obter característica arenosa, comparado a um solo argiloso. Essa mistura deve ser feita até que a cor do solo e do cimento se torne uma coloração homogênea. Nessa mistura, será incorporada a água de forma que sua aplicação seja semelhante a um chuveiro até atingir a úmida ideal.

A moldagem é realizada pela transferência imediata da mistura para o molde, onde será prensado e sairá modulado conforme as dimensões da máquina. A grande maioria das prensas produzem blocos com dimensões de 12,5cm x 25cm na qual sua espessura pode ser alterada conforme necessidade.

A máquina de prensagem mecânica ou hidráulica podem proporcionar vários tipos de tijolo solo-cimento, como é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de tijolo solo-cimento.

Tipo	Dimensões	Uso	Exemplo
Tijolo maciço comum	(5 x 10 x 20) cm	Assentamento de alvenaria semelhante ao tijolo convencional	
Tijolo maciço com encaixe	(5 x 10 x 21) cm	Assentamento com baixo consumo de argamassa	
½ tijolo com encaixe	(5 x 10 x 10,5) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Tijolo com dois furos e encaixe	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Assentamento a seco, com cola rança ou argamassa plástica. As tubulações das instalações hidro-sanitárias, elétricas e outras, passam pelo furos	
½ tijolo com furo e encaixe	(5 x 10 x 10) cm (7 x 12,5 x 12,5) cm (7,5 x 15 x 15) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Caneletas	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Empregado em execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagem de tubulações horizontais	

Fonte: Lima (2010).

Segundo conforme a NBR 10833 (ABNT, 2012), para tijolos com espessura superior a 80mm e inferior a 200mm, é recomendado a utilização de prensa com duplo sentido de compressão.

Após modulados os tijolos são recomendados pela NBR 10833 (ABNT, 2012) passar por 7 dias de cura úmida. Essa etapa da cura, segundo Ribeiro (2013), tem por objetivo impedir que a água incorporada na mistura da qual se localiza na superfície do tijolo não evapore, controlar a temperatura do tijolo até que alcance a resistência idealizada pelo fabricante e se necessário aumentar o volume de água no processo da reação de hidratação.

Quando seu armazenamento só é possível em local sem cobertura, a ABCP (2000) enfatiza que a cura pode ser feita cobrindo os tijolos com uma lona. Dessa forma evita uma perda maior de água por evaporação.

Após os tijolos modulados e prontos, os tijolos devem ser ensaiados conforme a norma ABNT NBR 8492:2012 - Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio, para determinar a resistência à compressão e a absorção de água.

Os índices específicos para aceitação do material estão descritos na ABNT NBR 8491:2012 - Tijolo de solo-cimento – Requisitos, por meio dele são estabelecidos os valores mínimos de referência para a resistência à compressão dos tijolos, de 2,0 MPa, com idade de 7 dias, não devendo ser inferior a 1,7 MPa, e em relação a absorção de água tem-se que não deve ser superior a 20% de seu volume, não devendo ser maior do que 22%.

3.3 MATÉRIAS PRIMA DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

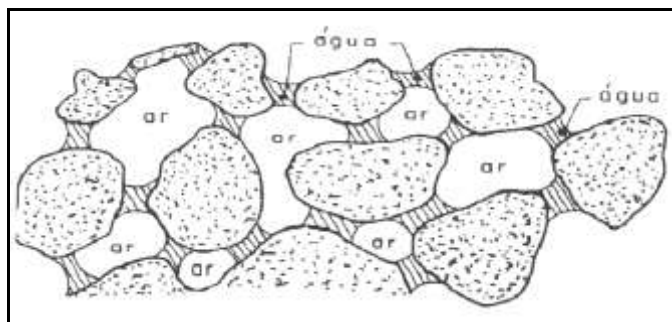
3.3.1 Solo

“O solo, nos últimos anos é o material mais utilizado na construção civil, seja direta ou indiretamente, podendo substituir ou reduzir diversos tipos de materiais e proporcionar uma redução de custos.” (NASCIMENTO et al., 2018, p. 1).

Diante disso, Grande (2003, p. 01), afirma também que o solo além de ser “material apropriado para as mais diversas aplicações em construções devido a sua abundância, facilidade de obtenção e de manuseio e baixo custo”, tem sua eficiência comprovada por meio de inúmeras construções realizadas há vários séculos que, mesmo assim, resistem aos intemperismos sem modificar drasticamente sua estabilidade estrutural.

De acordo com Fonsêca (2018), tomando como referência a Mecânica dos Solos, “os solos consistem em material particulado em cujos espaços intermediários há a presença de água - ou outro líquido - e ar.” Grande (2003) explica que o movimento das partículas sólidas diverge as porcentagens de cada componente que constitui o solo (sólidos, água e ar) (Figura 4), dessa forma o comportamento do solo é alterado.

Figura 4 - Estrutura do solo.



Fonte: Grande (2003, p. 04).

Essas partículas sólidas que compõem o solo possuem tamanhos variados de grossos a finos, podendo assim subdividir o solo por frações de tamanho.

No tocante as frações grossas, Grande (2003) explica que como as areias, são formadas em sua relevância por grãos de quartzo com características arredondadas ou angulares, sendo assim, agregados não coesivos constituído de partículas de até 4,8 mm.

Sobre as frações finas ou muito finas, Grande (2003) fala que elas são providas do intemperismo químico, de forma achatadas, angulares, lamelares ou em formato de agulhas, subdividindo-se em dois grupos: Siltes (0,002 mm a 0,074 mm) e Argilas (grãos menores que 0,002 mm).

Os solos, conforme Vieira (2017), podem apresentar dois tipos de classificações: por aspectos físicos e por índices de consistência.

Ainda de acordo com Vieira (2017), existem formas de caracterizar o solo, fisicamente, é através da sua granulometria, que é a distribuição percentual dos diversos diâmetros dos grãos, e a outra forma é por meio dos índices de consistência, que servem para a análise do comportamento dos solos quando apresentam certo grau de umidade, índices estes determinados pelos Limites de Attenberg (limites de liquidez e de plasticidade).

3.3.1.1 Determinação granulométrica

O significado de granulometria é, segundo E-Civil (2018, p. 1)², “a propriedade do agregado que está relacionado com a distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões, e é usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas maiores ou menores do que cada uma das aberturas de uma série de peneiras.”

² E-Civil: Descomplicando a Engenharia. Granulometria. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-granulometria.html>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

Caputo (1988, p. 25) afirma que, “segundo as dimensões das suas partículas e dentro de determinados limites convencionais, as frações constituintes dos solos recebem designações próprias que se identificam com as acepções usuais dos termos.”

As frações citadas por Caputo (1988), são determinadas da seguinte forma pela Oliveira (2011), determinada na Tabela 1.

Tabela 1 - Frações granulométricas.

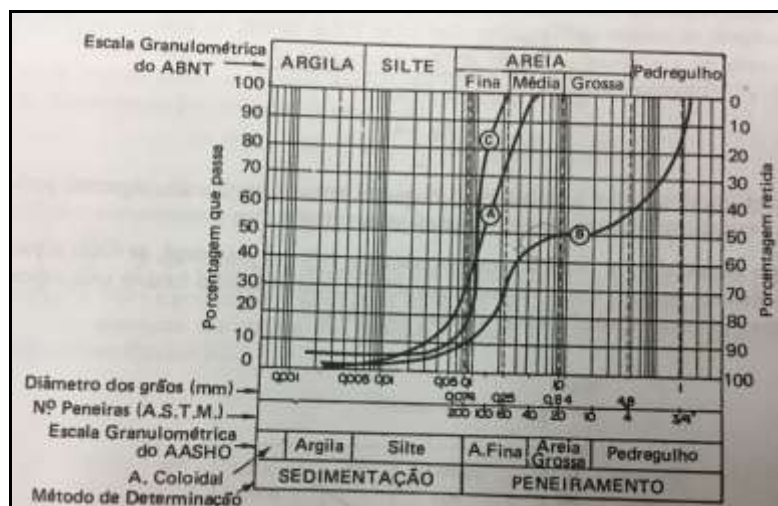
Tipo	Tamanho das partículas (mm)
Argila	0,002
Silte	0,002 - < 0,05
Areia fina	0,05 - < 0,2
Areia grossa	0,2 - < 2
Pedregulho	2 - < 76,0

Fonte: Oliveira (2011, p. 24).

Para Caputo (1988), essas frações podem ser determinadas conforme a granulometria brasileira, referente a ABNT, que são (Figura 5):

- Pedregulho - 76 a 4,8 mm;
- Areia – 4,8 a 0,05 mm;
- Silte – 0,05 a 0,005 mm;
- Argila – inferiores a 0,0005 mm.

Figura 5 - Escala granulométrica da ABNT.



Fonte: Caputo (1988, p. 25)

“A análise granulométrica, ou seja, a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que elas se encontram, é representada, graficamente, pela curva granulométrica.” (CAPUTO, 1988, p. 25).

As curvas, identificadas pelas letras A, B e C, representadas no gráfico da Figura 5, refere-se à os tipos de granulometria de acordo com Caputo (1988) (Figura 6):

- Curva A: granulometria contínua e bem graduada ou mal graduada (conforme apresente, ou não, um predomínio das frações grossas e porcentagem suficiente das finas);
- Curva B: granulometria descontínua;
- Curva C: granulometria uniforme.

Figura 6 - Tipos de granulometria.



Fonte: Caputo (1988, p. 26)

Para que seja possível identificar a granulometria do solo é preciso seguir a NBR 7181 – “Solo – Análise granulométrica.” (ABNT, 2016). A norma informa os instrumentos para sua utilização e o método para se executar o ensaio.

3.3.1.2 Determinação dos Limites de Atterberg

“Os índices de Atterberg, propostos pelo engenheiro químico Atterberg, e padronizados pelo professor de Mecânica dos solos Arthur Casagrande, são os chamados limites de plasticidade (LP) e limite de liquidez (LL).” (PINTO, 2015, p. 26). A determinação desses limites é regida pelas respectivas normas: ABNT NBR 6459:2016 e ABNT NBR 7180:2016.

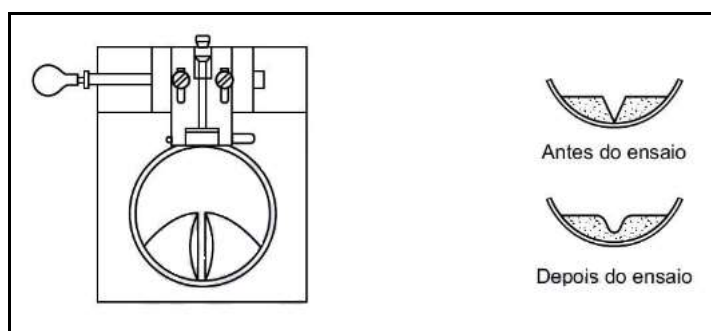
De acordo com a explicação de Oliveira (2011, p. 57), esses limites “são as variáveis que melhor expressam as condições de menor ou maior capacidade dos solos serem moldados, sob condições de certas de umidade, sem variação de volume.”

Diante disso, os limites têm como base na verificação de que um solo argiloso mostra aspectos bem distintos conforme o seu teor de umidade. (PINTO, 2015).

Na condição de muito úmido se compara a líquidos, em condições que a perda da parcela da sua água se torna plástico, e quando seco se torna quebradiço (PINTO, 2000).

Para descobrir o teor de umidade por meio do ensaio de LL, é utilizado o aparelho de Casagrande, onde segundo a NBR 6459 (ABNT, 2016), é colocada uma porção de massa de solo com uma determinada umidade na concha do aparelho, separa a porção de solo ao meio com um cinzel, e aplica entre 15 a 35 golpes contra a base, até que as bordas inferiores se unam em aproximadamente 13mm de comprimento (Figura 7).

Figura 7 - Aparelho de Casagrande: aspecto da ranhura antes e depois do ensaio.



Fonte: NBR 6459 (ABNT, 2016, p. 4).

Ainda conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016), após as ranhuras se unirem, anota os golpes dados e coleta uma pequena amostra de massa de solo próximo as bordas inferiores e transfere imediatamente para um recipiente adequado para a determinação da umidade conforme a NBR 6459, onde é calculado por meio da Equação 2.

$$LL = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

LL : Limite de Liquidez (calculado em %);

M_h : Massa úmida (g);

M_s : Massa seca em estufa (g).

Diferentemente do LL, o LP é definido como o menor teor de umidade, onde é possível com a massa do solo, se moldar um cilindro com 3mm de diâmetro, quando se rola o solo na palma da mão. (PINTO, 2000).

Para Caputo (1988, p. 56), “o LP (Figura 8), é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.”

Figura 8 - Ensaio de LP.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Logo após identificar as fissuras no cilindro, a NBR 7180 (ABNT, 2016), explica que é preciso transferir as partes dele para um recipiente adequado para a determinação da umidade, onde é calculado por meio da Equação 2.

$$LP = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

LP: Limite de Plasticidade (calculado em %);

M_h : Massa úmida (g);

M_s : Massa seca em estufa (g).

O índice de plasticidade (IP) é o teor de umidade dentro da qual o solo possui plasticidade, sendo calculado pela diferença numérica entre LL e LP. (OLIVEIRA, 2011).

A NBR 7180 (ABNT, 2016), apresenta a seguinte Equação 3 para a determinação do IP:

$$IP = LL - LP \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

IP: Índice de Plasticidade;

LL: Limite de Liquidez (determinado de acordo com ABNT NBR 6459);

LP: Limite de Plasticidade.

3.3.1.3 Critérios para escolha do solo

Para a determinação da escolha do solo adequado para a fabricação de tijolo de solo-cimento, são precisos seguir alguns critérios.

A ABCP (2000) explica que os solos adequados são aqueles que possibilitem uma quantidade pequena de cimento para se estabilizar, considerando que o solo é a maior parcela de contribuição na mistura solo-cimento.

Diante disso, para a ABCP (2000) e NBR 10833 (ABNT, 2012), os solos mais adequados para a fabricação de tijolo solo-cimento devem possuir os seguintes critérios demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do solo para a fabricação de tijolo de solo-cimento.

Passando na peneira	100%
ABNT 4,8 mm (nº 4)	
Passando na peneira	10 a 50%
ABNT 0,075 mm (no 200)	
Limite de Liquidez	$\leq 45\%$
Índice de Plasticidade	$\leq 18\%$

Fonte: ABCP (2000) e NBR 10833 (ABNT, 2012).

No tocante a granulometria, Pinto (1980) apud Souza, Segantini e Pereira (2008, p. 206) menciona que:

O solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, sendo que os solos arenosos bem graduados e com razoável quantidade de silte mais argila, são os mais indicados, de vez que exigem baixo consumo de cimento; já a Portland

Cement Association (PCA, 1969) considera excelentes os solos arenosos e pedregulhosos, contendo de 65 a 90% de areia e quantidade de silte mais argila variando de 10 a 35%.

Diante dessa citação, Lima (2010, p. 28), afirma que:

A areia pura não contém argila, logo é inadequada para o solo-cimento, pois acabaria produzindo blocos de concreto ao invés de tijolos de solo-cimento. O solo argiloso, que contém mais argila do que areia, também é inadequado, já que requer uma quantidade maior de cimento, dificultando a misturara e compactação.

O tipo de solo citato por Lima (2010), de acordo com Grande (2003), pode ser corrigido com a adição de areia, as correções, porém devem respeitar os limites econômicos e técnicos.

3.3.1.4 Estabilização solo-cimento

A estabilização de solos é uma prática muito antiga, a princípio, desenvolvida de forma rustica, e foi sendo aperfeiçoada com o tempo. Tem sido considerada a principal preocupação dos pesquisadores que buscam por soluções mais eficientes e econômicas.

Para Brito e Paranhos (2017, p. 3), a estabilização do solo “é um processo realizado para estabilizar e suplementar as propriedades de resistência do solo, maximizando a adequação deste para um determinado uso.”

Conforme Fonsêca (2018), a estabilização do solo pode ser realizada por três métodos: estabilização mecânica, granulométrica e por adição de aglomerantes.

O método mecânico de estabilização do solo é definido por Fonsêca (2018) da seguinte forma, é quando a granulometria é conservada ou corrigida antes da compactação, gerando uma maior coesão entre as partículas do solo.

A estabilização granulométrica, para Fonsêca (2018, p.11) “consiste na introdução de frações de diferentes granulometrias provenientes de areias, siltes e argilas, promovendo o melhor empacotamento entre as partículas.” Podendo assim promover uma correção granulométrica, ou seja, introduzir frações de determinados tipos de solo para proporcionar um solo bem graduado, ideal para a fabricação de tijolo de solo-cimento.

A estabilização por adição de aglomerantes também é conhecido como estabilização química. Como este trabalho é direcionado a estabilização solo-cimento, Brito e Paranhos (2017, p. 6) explicam que, “o cimento é um aglomerante hidráulico, considerado um agente

estabilizador de solos primário porque não depende dos minerais disponíveis no solo, depende apenas da presença de água, e esta por sua vez está disponível na maioria dos solos.”

Para concluir, Brito e Paranhos (2017, p. 6) ainda mencionam que:

A estabilização de solos com cimento refere-se à mistura homogênea entre o solo, o cimento e a água, posterior compactação e cura; a dosagem usada geralmente é determinada a partir de ensaios padronizados pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e pela NBR 12253/93 Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento (FRANÇA, 2003).

3.3.3 Cimento Portland

O cimento é o componente que fornece a estabilização química da mistura do tijolo de solo-cimento.

Mehta e Monteiro (2014, p. 207) definem o cimento Portland, como um aglomerante hidráulico do qual é provido da moagem de clínqueres que tem por componentes os silicatos de cálcio hidráulicos e uma pequena fração de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.

Os compostos do clínquer, citado por Ribeiro (2013, p. 20), são: “alita ou silicato tricálcico (C3S), belita ou silicato dicálcico (C2S), aluminato tricálcico (C3A) e ferrita ou ferroaluminato tetracálcico (C4AF)” [...] “As características de cada um desses compostos são de grande importância para a preparação dos tijolos de solo-cimento porque na mistura de solo-cimento o cimento Portland é o material ligante.”

“Clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sintetizado que é produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida em altas temperaturas”. (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 207).

Esse material quando se incorpora com outros materiais e por sua vez é hidratado de forma adequada por água, proporciona características de grande resistência mecânica, obtendo suas propriedades conservadas ao permanecer imerso em água, após o processo de endurecimento.

O cimento Portland, de acordo com Fonsêca (2017), é utilização de forma abrangente pela indústria da construção civil com o propósito de proporcionar propriedades de resistência e durabilidade aos materiais de construção.

No tocante à o processo de fabricação de tijolo de solo-cimento, a ABCP (1986) informa que a mistura de solo, cimento e água deve apresentar uma faixa de 5 % a 10 % de cimento no solo para que o mesmo seja estabilizado e ganhe resistência.

Sobre o cimento recomendado para a utilização no processo de fabricação do tijolo solo-cimento, a NBR 10833 (ABNT, 2012), exige o Cimento Portland comum, Cimento Portland de alta resistência inicial, Cimento Portland de alto forno e Cimento Portland pozolânico, atendendo as respectivas normas, ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735 e ABNT NBR 5736. Além desses tipos, o Cimento Portland compostos com escória de alto forno, Cimento Portland compostos com pozolana e o Cimento Portland compostos com fíler, se incluem nas exigências da NBR 10833, citado como Cimento Portland composto por meio da ABNT NBR 11578 (não vigente).

3.3.4 Água

A água para a confecção do tijolo solo-cimento é essencial para proporcionar as reações químicas dos aglomerantes estabilizadores que por sua vez podem compor o tijolo.

Para o uso na argamassa e do concreto, a água manuseada na construção civil segue a vigente NBR 15900 (ANBT, 2009), água para amassamento do concreto, que tem por objetivo exigir uma água de qualidade ótima sem prejudicar a durabilidade da edificação construída.

De uma forma não tão diferente, a NBR 10833 (ABNT, 2012), orienta que a água utilizada para o processo produtivo do tijolo de solo-cimento precisa ser livre de impurezas. De acordo com a ABCP (2000), é necessário que a água seja isenta de impurezas que possam prejudicar à hidratação do cimento, ainda presumi que as águas potáveis são as mais adequadas.

Diante desse pressuposto, de acordo com o disposto na Portaria nº 2.914 de 12/12/2011 (BRASIL, 2011, p. 01), artigo 5º, inciso II, água potável é aquela “água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde”.

3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO TIJOLO SOLO-CIMENTO

Segundo Silva e Oliveira (2015), o tijolo ecológico, como também é conhecido, se destacada por possuir grandes vantagens ambientais, devido sua matéria-prima abundante e de baixo custo, além de não precisar ser queimado, proporcionando economia de energia em seu processo de fabricação.

Grande (2003) menciona algumas vantagens no uso do tijolo solo-cimento nos sistemas construtivos:

- Possibilidade de controle de perdas das alvenarias modulares, evitando o desperdício;
- Maior acessibilidade para abastecimento;
- Menor custo comparado as alvenarias cerâmicas;
- Durabilidade vinculada a segurança da estrutura;
- Maior funcionalidade de seus equipamentos, permitindo seu funcionamento no canteiro de obras;
- Eficiência construtiva devido ao sistema modular, pelo qual os tijolos são somente encaixados ou assentados com pouca quantidade de argamassa. Além disso, os tijolos podem ser produzidos com furos internos que permitem a passagem de tubulações sem a necessidade de cortes ou quebras;
- Facilidade de manuseio devido aos encaixes que agilizam a execução da alvenaria;
- Menor agressividade ao meio ambiente, pois dispensa a queima;
- Economia de transporte quando produzido no próprio local da obra

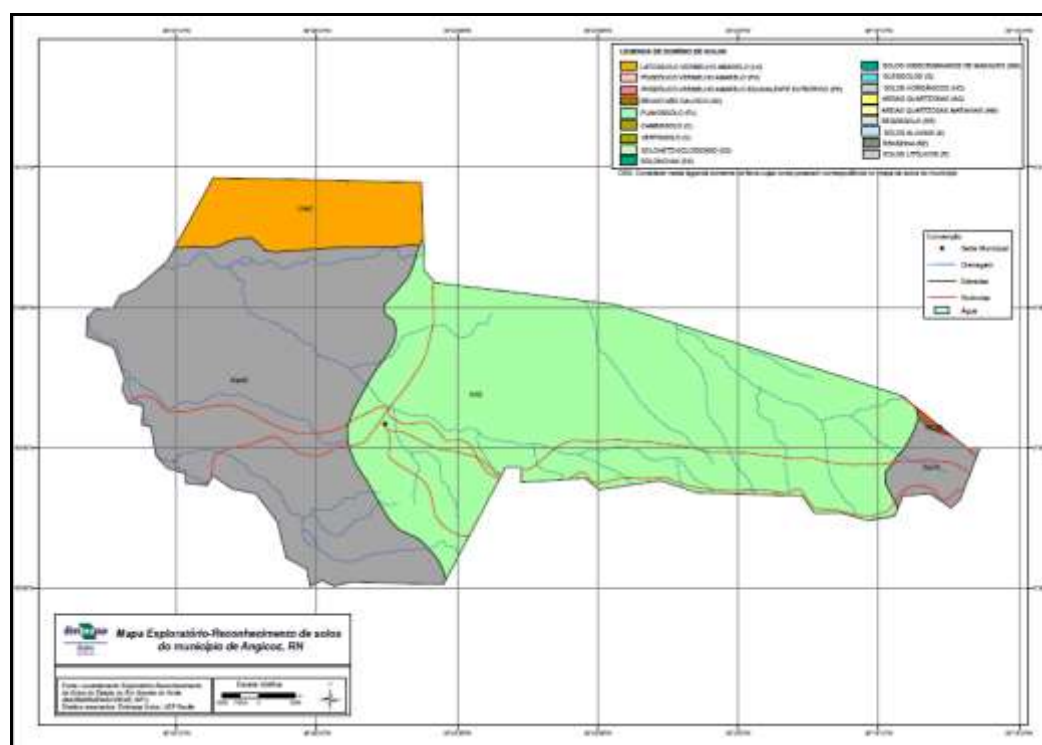
A principal desvantagem, conforme Santos (2009), se encontra na ampla diversidade de solos existentes, sendo exigido, conforme normas, a execução de ensaios para a caracterização dos solos utilizados. Ainda conforme o autor, dessa maneira, os ensaios podem ser executados em qualquer laboratório pela simplicidade de sua execução e frequência, ensaios esses, que são: granulometria, compactação e compressão simples.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desse trabalho para a obtenção de resultados foi realizado no município de Angicos/RN, o qual possui uma área total de 741.582 km², sua população foi estimada em 2010 pelo IBGE para o ano de 2017 em aproximadamente 11.909 habitantes e, segundo o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2005), situa-se na mesorregião Central Potiguar e na microrregião Angicos, localizado entre os municípios de Afonso Bezerra, Pedro Avelino, Santana do Matos, Fernando Pedroza, Lajes, Itajá e Ipanguaçu.

Foi realizado uma pesquisa sobre a classificação do tipo de solo de Angicos/RN, onde foram encontradas duas classificações. Em estudos antecedentes, EMBRAPA (1971)³, Figura 9, classifica os tipos de solos dentro dos limites territoriais do município.

Figura 9 - Mapa exploratório: reconhecimento de solos do município de Angicos, RN.



Fonte: EMBRAPA (1971).³

O território ficou classificado em quatro tipos de solo: Latossolo Vermelho Amarelo (laranja), Regossolo (lilás), Solonetz Solodizado (verde claro) e Bruno Não Cálculo (marrom).

Em estudos mais recentes, IDEMA (1999 *apud* Brasil, 2005), afirma que os tipos de

³ Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/rn/angicos.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2018.

solos encontrados na cidade de Angicos são: Solonetz Solodizado e Solos Litólicos Eutróficos.

O trabalho foi desenvolvido por meio de um levantamento bibliográfico, no quesito levantar informações para obter um embasamento teórico para que fosse possível realizar a parte prática experimental do trabalho, modulação do tijolo solo-cimento.

A execução do trabalho experimental foi realizada no laboratório de materiais de construção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizado no município de Angicos, Rio grande do Norte.

4.1 MATERIAIS

Os materiais, em geral, utilizados para a fabricação do tijolo vazado de solo-cimento desse trabalho foram divididos em: matérias prima e equipamentos.

4.1.1 Matérias prima

4.1.1.1 Solos utilizados

Foram coletados três tipos de amostras de solos dentro do município de Angicos/RN. A escolha desses solos foi determinada pela acessível disponibilidade e, a princípio, de forma visual e tátil, obtivessem características apresentáveis de silte e argila, pois, conforme a ABCP (1996), o solo deve conter um somatório de silte e argila entre 10% a 50%.

Um desses solos escolhidos já foi estudado por Silveira (2017) e Araújo (2017).

Esses solos foram nomeados como solo A, solo B e solo C, para melhor compreensão na identificação de cada um.

O solo A, segundo Silveira (2017), foi extraído em um local caracterizado como Zona do Sertão, à margem esquerda do rio Pataxó ou Angicos, pertencente a zona rural do município de Angicos/RN, Figura 10(a). Dessa extração, foi coletada uma amostra e separada, como mostra na Figura 10(b).

Figura 10 - Fonte da extração do solo A (a); Amostra do solo A (b).



(a)



(b)

Fonte: Araújo (2017) – (a); Acervo do autor (2018) – (b).

Na Figura 10, é mostrado o local da extração e a sua amostra seca em estufa, peneirada e separada no Laboratório de Materiais de Construção.

Diferentemente do solo A, foi coletada uma amostra do solo B em frente a o cemitério da cidade, esse solo foi provido de um material de construção local, segundo moradores da localidade (Figura 11).

Figura 11 - Disposição do solo B.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Seguindo o mesmo padrão, foi realizada a coleta em um balde, foi colocado na estufa, em seguida foi peneirado e separado no laboratório de materiais de construção.

O solo C foi localizado nas dependências da UFERSA *campus* Angicos/RN, próximo ao Bloco Administrativo, Figura 12.

Figura 12 - Localização da origem do solo C (a); Fonte da extração do solo C (b).



Fonte: GOOGLE MAPS (2018) – (a); Acervo do autor (2018) – (b).

Na Figura 12 (b), é possível perceber que o solo é disposto superficialmente. Da mesma forma, foi repetido o procedimento de coleta com um balde, onde foi colocado em estufa para secar, destorroado e peneirada a amostra e separada no laboratório.

4.1.1.2 Cimento utilizado

O cimento utilizado para estabilizar o solo em sua homogeneização, não obteve critério de escolha com relação ao seu tipo, foi usado o CP V – ARI – RS, da marca MIZU, único tipo de cimento disponível para comercialização em um material de construção local (Figura 13).

Figura 13 - Cimento CP V – ARI – RS, MIZU, 40kg.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Esse tipo de cimento oferta uma alta resistência inicial nos primeiros dias de aplicação, além de apresentar maior durabilidade e resistência a sulfato.

O cimento foi armazenado de maneira adequada dentro do laboratório, em cima de um palete e afastado da parede, onde era fechado de forma adequada quando era necessário, evitando o contato com a umidade e intempéries.

4.1.1.3 Água de amassamento

A água de amassamento utilizada na mistura do solo-cimento foi proveniente da Companhia de Água de Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN), considerando assim a confiabilidade da água ser livre de impurezas que prejudiquem as propriedades do tijolo solo-cimento.

4.1.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para a caracterização do solo na questão de verificar a sua viabilidade para a fabricação do tijolo solo-cimento:

- Peneiras ABNT de nº 4, 8, 10, 16, 30, 40, 50, 100, 200;
- Vibrador para o peneiramento;

- Balança de precisão digital 0,01g;
- Aparelho de Casa Grande;
- Placa de vidro, cilindro de metal com as dimensões de 10cm de comprimento e 3mm de espessura.
- Estufa.

Os equipamentos utilizados para a fabricação dos tijolos de solo-cimento foram:

- Pá: manipulada para extrair as amostras de solos;
- Balde: utilizado para armazenar as amostras de solos;
- Estufa: utilizado para secar as amostras de solo coletado em campo;
- Peneira ABNT de nº4 (4,8mm): para peneirar os solos secos na estufa;
- Balança de precisão digital 0,01g;
- Provetas de 1L e 100ml: para medir o solo/ cimento e água em volume;
- Argamassadeira: para homogeneizar o solo, cimento e a água.
- Máquina de prensa manual: utilizado para a fabricação dos tijolos vazados de solo-cimento nas dimensões de 12,5x25,6,25cm.

4.2 MÉTODOS

No âmbito do desenvolvimento desse trabalho, a parte experimental consiste em três etapas: preparação e caracterização do solo, preparação da mistura, modulação dos tijolos vazados de solo-cimento.

4.2.1 Preparação e caracterização do solo

4.2.1.1 Ensaio granulométrico

Para a preparação das amostras do solo A, solo B e solo C, coletadas para ensaio de caracterização, foi realizada, conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016), a secagem prévia das amostras (Figura 14), a qual foi realizada na estufa, pelo fato do solo se apresentar úmido no ato da coleta e, diante disso, agilizar o processo de secagem para demais procedimentos, como o destorroamento e o peneiramento na peneira ABNT de nº4 (4,8mm), onde este, é representado na Figura 15.

Figura 14 - Secagem das amostras na estufa.



Fonte: Acervo do autor (2018).

As amostras permaneceram na estufa por aproximadamente 24h, logo em sequência foram destorroadas para que por fim fosse possível peneira-los.

Figura 15 - Peneiramento dos solos A, B e C, respectivamente, na peneira ABNT de nº4 (4,8mm).



Fonte: Acervo do autor (2018).

Foi possível verificar que todas as amostras de solos passaram 100% na peneira ABNT de nº4 (4,8mm), diante disso, e de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016), como se tem amostras de solo com as dimensões dos grãos menores que 5mm (< 5), foi realizada a pesagem em uma balança de resolução 0,1g, uma amostra de 1,5kg, para o procedimento de peneiramento grosso, passando na peneira de ABNT de nº8 (2,36mm) e nº10 (2,0mm), Figura 16.

Figura 16 - Peneiramento dos solos A, B e C, respectivamente, na peneira ABNT de nº10 (2,0mm).



Fonte: Acervo do autor (2018).

Após o peneiramento, o material passante de cada solo que ficou retido no recipiente, foi separado uma amostra de 150g já pesadas em uma balança de resolução de 0,01g, Figura 17, para concluir a determinação granulométrica das amostras de solo.

Figura 17 - Pesagem das amostras de solo para peneiramento fino: solo A, B e C, respectivamente.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Feito a pesagem das amostras, foram organizadas peneiras com as numerações de nº16 (1,18mm), nº30 (0,6mm), nº40 (0,425mm), nº50 (0,297mm), nº100 (0,150mm) e nº200 (0,075mm), em coluna, uma sobre a outra de maneira decrescente, de cima para baixo. Logo em seguida, foi lançado o material pesado nessa coluna de peneiras, e transferido para um agitador com uma tampa e um recipiente ao fundo, conforme visualizado na Figura 18.

Figura 18 - Agitador de peneiras.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Foi agitada a coluna de peneiras, e retirou-se depois as peneiras uma a uma, iniciando pela de maior abertura, agitou-se cada peneira manualmente garantindo que não existisse perda de material, foi despejado em um recipiente os solos retidos em cada uma, limpo com uma escova, pesados e registrados.

Esse procedimento para a determinação da granulometria dos solos foi de grande proveito para identificar a porcentagem de solos e que passam nas peneiras de nº4 (4,8mm) e na de nº200 (0,075mm), conforme exigido pela ABCP (2000), na confecção de tijolos de solo-cimento.

4.2.1.2 Ensaio dos Limites de Atterberg

Foram realizadas as determinações dos limites de Atterberg, dos quais são dados pelo limite de liquidez (LL) e pelo limite de plasticidade (LP) que, por sua vez, fornecem o índice de plasticidade do solo (IP).

O limite de liquidez seguiu as orientações da NBR 6459 (ABNT, 2016), onde é realizado pelo aparelho de Casagrande.

Para a execução do ensaio, foi colocado uma porção de amostra previamente preparada, conforme descrito no item 3.2.1.1 Determinação granulométrica, em um recipiente de porcelana e incorporado água em pequenas quantidades, e com ajuda de uma espátula, foi transferido para o aparelho de Casagrande e ao meio da concha foi passado o cinzel para separar a mistura homogênea, como é ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Ensaio para a determinação do limite de liquidez (LL).



Fonte: Acervo do autor (2018).

Dessa forma, com a manivela, foi realizado golpes contra a base até que as bordas inferiores da rachadura se unissem medindo aproximadamente 13mm, dessa maneira foi anotado a quantidade de golpes para os 5 ciclos que foi incorporado água na mistura.

O limite de plasticidade seguiu os nortes da NBR 7180 (ABNT, 1984), onde foi pego o mesmo material previamente preparado supracitado, e em cima de uma placa de vidro esmerilhada, foram modelados cilindros com a palma da mão de forma que se assemelhassem ao gabarito de 3mm de diâmetro e 100mm de comprimento, como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Ensaio para a determinação do limite de plasticidade (LP).



Fonte: Acervo do autor (2018).

Após a modelagem do cilindro e verificada a comparação com o gabarito, foi transferido imediatamente as partes do mesmo para um recipiente de alumínio para a verificação da umidade. Esse ciclo foi repetido 3 vezes.

Concluído os ensaios de LL e LP, foi calculado o Índice de Plasticidade (IP) do solo, resultado da diferente entre os valores em porcentagem de LL e LP.

4.2.2 Preparação da mistura

4.2.2.1 Dosagem

Como o intuito do trabalho é obter a modulação de tijolo de solo-cimento sem a necessidades da realização de ensaios de compressão e absorção, então a dosagem dos tijolos foi elaborada para apenas uma unidade.

Para a dosagem dos materiais componentes do tijolo de solo-cimento, foi determinada a dosagem volumétrica por meio da proveta de 1L, para medição do solo e do cimento, e proveta de 100ml, para medição da água (Figura 21).

Figura 21 - Proveta de 1L e proveta de 100ml, respectivamente.



Fonte: Acervo do autor (2018).

A dosagem, a princípio, foi realizada por “tentativas de erros e acertos”.

Com relação as dosagens de cimento, a ABCP recomenda o teor mínimo de cimento em 7% do volume total da mistura. Já Vargas (1977), determina um limite de teor mínimo e máximo de cimento, que se enquadra entre 7% a 14%, diante disso, as tentativas foram realizadas dentro desse intervalo de teor de cimento até que fosse possível modular o tijolo.

Essas tentativas eram realizadas com os três tipos de solos variando na utilização dos traços para os mesmos de maneira em conjunta, incorporando água e tentando modular até obter êxito.

A máquina de prensa manual utilizada para a fabricação dos tijolos vazados de solo-cimento produz tijolos com dimensões de 12,5x25cm e foi ajustada para uma espessura de 6,25cm. Considerando essas dimensões, o volume de um tijolo maciço resulta em 1953,125 cm³.

O volume de material seco (solo e cimento) utilizado para fazer o tijolo vazado de solo-cimento foi de 2000 cm³, adotou-se o valor de um tijolo maciço para um fator de segurança, devido possíveis perdas de material durante a sua manipulação.

4.2.2.2 Mistura

O primeiro passo executado foi transferir o solo e o cimento para a argamassadeira, de forma que ocorresse uma homogeneização mais eficaz dos materiais secos (Figura 22).

Figura 22 - Homogeneização dos materiais secos na argamassadeira.



Fonte: Acervo do autor (2018).

O processo de homogeneização só terminou quando a mistura possuiu uma coloração uniforme. Após isso, foi ligada novamente a argamassadeira para a adição de água utilizando um método de chuveiro. Esse processo só terminou quando o solo se apresentou completamente úmido, como pode-se ver na Figura 23.

Figura 23 - Mistura do solo, cimento e água.



Fonte: Acervo do autor (2018).

A mistura fica com a textura de um material solto, porém contendo uma umidade significativa por conta da incorporação da água. Após isso foi realizado um método do bolo

modelado com a mão, diferentemente da ABCP (2000) que realiza esse método apenas com solo e água para determinar a umidade, foi feito de forma semelhante, porém com cimento incorporado também, como é verificado na Figura 24. A decisão de incluir o cimento nesse método, é o fato do cimento ser um aglomerante hidráulico, diante disso, o cimento consome também a água.

Figura 24 - Método da bolinha de solo, cimento e água.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Se o bolo modelado com a mão deixar marcar dos dedos, semelhantemente as determinações da ABCP (2000), quanto ao bolo de solo e água, a umidade está razoavelmente boa. Como foi o caso demonstrado na Figura 24.

4.2.3 Modulação dos tijolos vazados de solo-cimento

Diante de estudos em bibliografias, normas, tentativas de erros e acertos realizadas e informações técnicas da prensa mecânica utilizada, foi possível confeccionar o tijolo vazado de solo-cimento.

Para a modulação dos tijolos vazados de solo-cimento, foi utilizada a máquina de prensa mecânica da marca VimaqPrensas, como é representado na Figura 25.

Figura 25 - Máquina de prensa mecânica para a fabricação de tijolos de solo-cimento.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Após a mistura do solo, cimento e água, foi esperado um intervalo de 5 minutos para que o material homogeneizado “descansasse”, pois, segundo Betsuyaku (2015, p. 73), se “a mistura úmida solo cimento for deixada solta por algum tempo antes de ser compactada, o solo, principalmente os mais finos tem suas característica granulométricas transformadas, melhorando as características de compactação e resultando em melhores resultados.”

Em seguida, o material “descansado” foi transferido para a máquina, onde foi puxada e empurrada a “gaveta” uma vez, para depositar o solo no molde e respectivamente fazer o arrasamento, e logo em seguida compactada uma vez e por fim desmoldada (Figura 26).

Figura 26 - Compactação da mistura pela máquina de prensas mecânica.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Logo após a modulação do tijolo, ela foi colocada em uma bancada onde foi possível verificar sua medida de espessura para verificar a coerência do ajuste da máquina.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados a seguir e englobam os dados referentes a caracterização dos solos analisados: solo A, solo B e solo C. Os resultados dos ensaios de caracterização dos solos são correspondentes a determinação da granulometria e a determinação do limite de liquidez e plasticidade. Por meio do ensaio de granulometria foi possível identificar os resultados, em porcentagem, obtidos pelos solos passantes nas peneiras de nº 4 e nº 200.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

5.1.1 Granulometria

A realização do ensaio de granulometria foi executada apenas a parte de peneiramento, não sendo feita a parte da sedimentação. A sedimentação não foi realizada pelo fato de um dos objetivos da análise granulométrica serem de apresentar o resultado do percentual de solo passante nas peneiras de nº 4 e nº 200.

A análise granulométrica por peneiramento realizada para os solos A, B e C, apresentaram resultados divergentes, conforme visto por meio das tabelas a seguir (Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5).

Tabela 3 - Granulometria por peneiramento do solo A.

Peneira	(#)	4	8	10	16	30	40	50	100	200
	(mm)	4,75	2,36	2,00	1,18	0,6	0,425	0,297	0,15	0,075
Percentual que passa (%)		100	99,95	99,62	97,80	92,41	88,32	80,81	47,04	17,45
Percentual retido (%)		0	0,05	0,33	1,83	4,11	5,41	7,53	33,90	29,71

Fonte: Acervo do autor (2018).

Tabela 4 - Granulometria por peneiramento do solo B.

Peneira	(#)	4	8	10	16	30	40	50	100	200
	(mm)	4,75	2,36	2,00	1,18	0,6	0,425	0,297	0,15	0,075
Percentual que passa (%)		100	99,95	99,71	98,10	91,39	83,96	69,34	33,51	10,42
Percentual retido (%)		0	0,05	0,24	1,61	6,73	7,45	14,66	35,94	23,16

Fonte: Acervo do autor (2018).

Tabela 5 - Granulometria por peneiramento do solo C.

Peneira	(#)	4	8	10	16	30	40	50	100	200
	(mm)	4,75	2,36	2,00	1,18	0,6	0,425	0,297	0,15	0,075
Percentual que passa (%)		100	99,57	96,25	77,64	47,04	34,69	23,15	10,07	4,57
Percentual retido (%)		0								

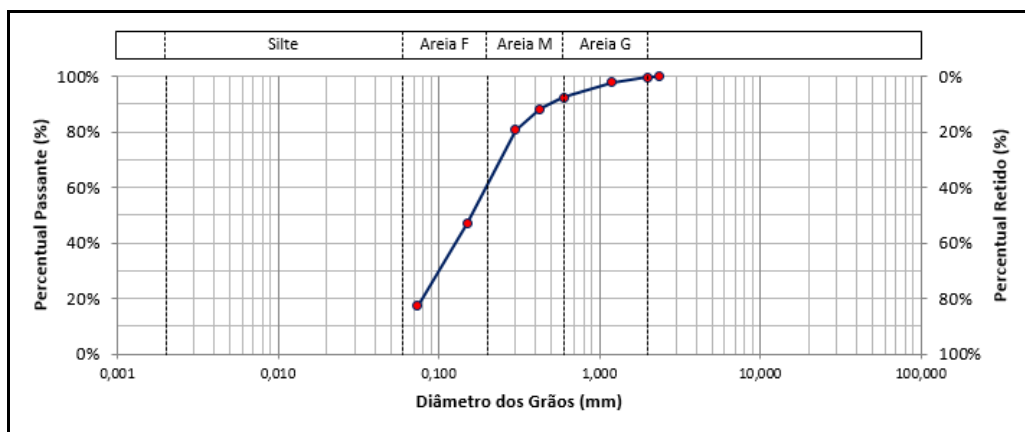
Fonte: Acervo do autor (2018).

Como é possível analisar, o solo A, solo B e o solo C passaram 100% na peneira de nº 4. Na peneira de nº 200 os resultados foram diferentes, o solo A apresentou um percentual de 17,45, o solo B apresentou seu percentual de 10,42 e o solo C resultou no menor percentual quando comparado com os solos A e B, apresentando 4,57.

Conforme a NBR 10833 (ABNT, 2012), para a utilização de um solo adequado para a fabricação de tijolo solo-cimento, é necessário que o solo passe 100% na peneira ABNT de nº4 (4,8mm) e de 10% a 50% na peneira ABNT de nº200 (0,075mm). Considerando essa exigência, os solos A, B e C, atendem a norma referente a o total do percentual de solo passante na peneira de nº4, porém, no tocante à o limite do percentual passante na peneira de nº 200, o solo A (17,45%) e o solo B (10,42%), se enquadra entre nos limites exigidos, por sua vez, o solo C (4,57%) não se enquadra nesses limites.

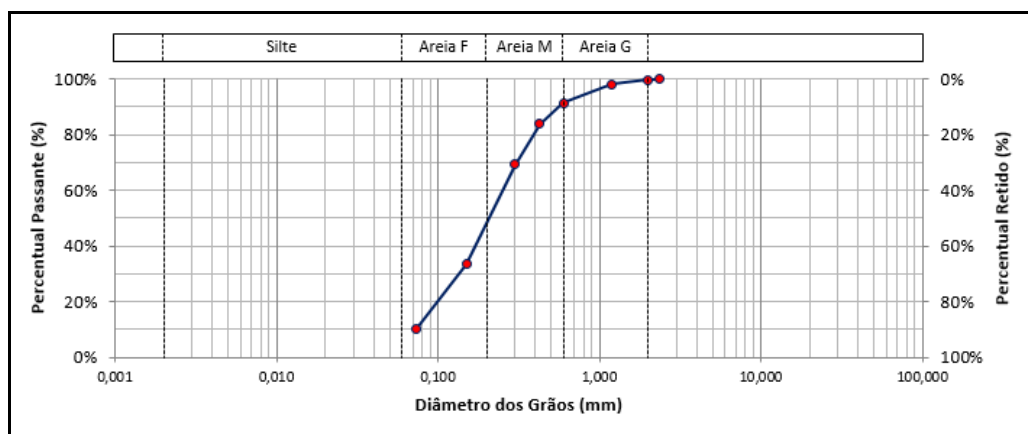
Diante dos resultados apresentados pelas tabelas, foi possível plotar as curvas granulométricas de cada solo como mostram é possível visualizar nas figuras (Figura 27, Figura 28 e Figura 29).

Figura 27 - Curva granulométrica do solo A.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Figura 28 - Curva granulométrica do solo B.

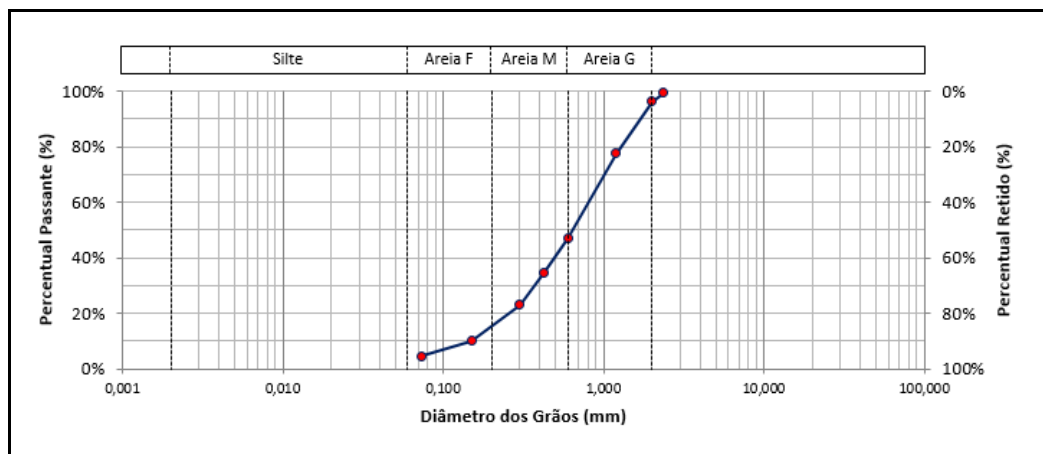


Fonte: Acervo do autor (2018).

Nas Figuras 27 e 28, é possível perceber que as curvas granulométricas dos solos A e B apresentam comportamentos um pouco semelhantes, segundo Caputo (1988), os dois solos apresentam uma granulometria descontínua entorno do diâmetro 0,3 mm.

Os solos A e B mesmo atendendo a exigência da NBR 10833, ela falha no quesito granulometria, quando se trata de um solo bem graduado ser adequado para a fabricação do tijolo de solo-cimento.

Figura 29 - Curva granulométrica do solo C.



Fonte: Acervo do autor (2018).

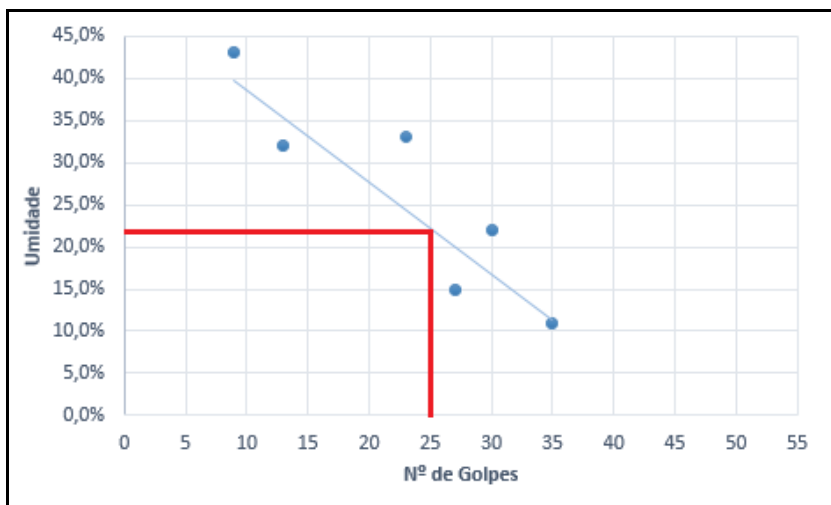
Diferentemente dos solos A e B, o solo C apresenta, segundo Caputo (1988), uma granulometria contínua e bem graduada, porém, pecando na falta de um percentual de silte e argila entre 10% e 50%.

5.1.2 Limites de Atterberg

Com relação aos ensaios realizados para determinar os limites de liquidez e plasticidade dos solos, foi possível perceber que o durante o ensaio de limite de liquidez, o solo B não possuía plasticidade, demonstrando ser arenoso, considerando assim, que o solo B é não plástico (NP).

Os ensaios dos limites de Atterberg realizados no solo B, foram anteriormente executados por Silveira (2017) e Araújo (2017), onde foram possíveis apresentar resultados satisfatórios, como é possível analisar na Figura 30, apresentando um limite de liquidez de 23%.

Figura 30 - Limite de liquidez do solo A.

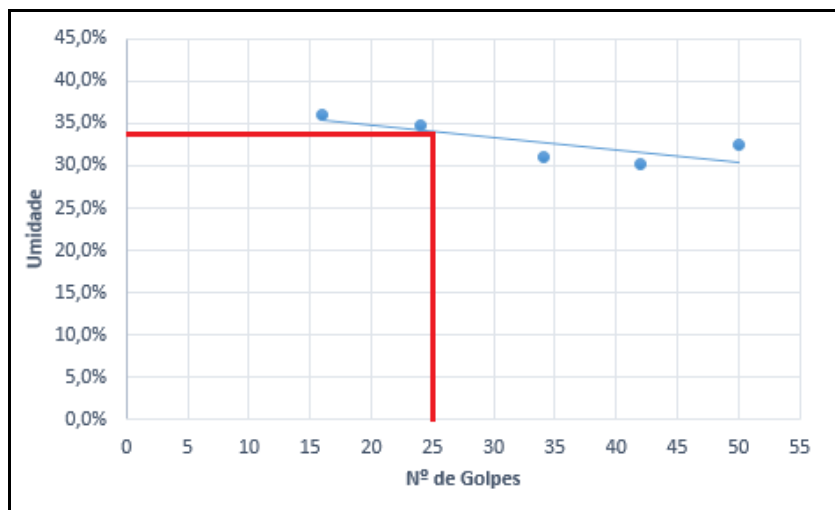


Fonte: Silveira (2017) e Araújo (2017).

De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), o limite de liquidez exigido pela norma é menor igual a 45%, atendendo adequadamente o que se pede.

O solo C apresentou resultados satisfatórios também comparados com a exigência da norma como é demonstrado na Figura 31.

Figura 31 - Limite de liquidez do solo C.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Como é possível analisar na Figura 31, o valor do teor de umidade do solo C foi de 34,82%, se enquadrando também na exigência da NBR 10833.

Sobre o limite de plasticidade, foram considerados os resultados de três amostras do solo A, analisados por Silveira (2017) e Araújo (2017) onde os valores dos teores de umidade são apresentados conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Limite de plasticidade do solo A.

Corpo de prova	Solo úmido (g)	Solo seco (g)	Cápsula (g)	h (Teor de umidade)	Média dos teores de umidade
1	8,06	7,73	6,12	20%	19%
2	9,41	9,18	7,87	18%	
3	7,18	6,99	6,01	19%	

Fonte: Silveira (2017) e Araújo (2017).

É possível identificar na Tabela 6 que a média dos teores de umidade obtidos do solo A foi de 19%, proporcionando a contribuição do IP atender a NBR 10833.

No ensaio de limite de plasticidade do solo C, também foram consideradas três amostras para se analisar e obter os valores percentuais de teores umidade mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Limite de plasticidade do solo C.

Corpo de prova	Solo úmido (g)	Solo seco (g)	Cápsula (g)	h (Teor de umidade)	Média dos teores de umidade
1	5,97	5,87	5,24	15,87%	15,36%
2	6,28	6,18	5,32	11,63%	
3	6,57	6,41	5,55	18,60%	

Fonte: Acervo do autor (2018).

O solo C apresentou sua média de teores de umidade em 15,36%. Diante dos resultados dos limites de liquidez e plasticidade dos solos, foi possível identificar o índice de plasticidade de cada como é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Índice de plasticidade dos solos A e C.

	Valor de LL (%)	Valor de LP (%)	Valor de IP (%)
Solo A	23	19	4
Solo C	34,8	15,3	19,4

Fonte: Acervo do autor (2018), Silveira (2017) e Araújo (2017).

Os resultados obtidos dos solos A e C, são interpretados por Caputo (1988), respectivamente, como solo fracamente plásticos e solo altamente plásticos. Essa plasticidade é diretamente relacionada a quantidade de argila que o solo possui.

Dessa maneira é possível discutir sobre o percentual passante na peneira de nº 200 das duas amostras de solo. Onde o solo A, obteve um maior material passante, chegando a 17,45%, e o solo C, o material passante apresentou 4,57%.

Caputo (1988), explica que uma pequena fração de matéria orgânica no solo pode aumentar o valor do LP sem aumentar o valor do LL de forma conjunta, consequentemente apresentam baixos valores de IP. Considerando essa afirmação, o solo A pode se enquadrar nessa afirmação do autor, quando se analisam os resultados dos limites de consistência.

5.2 DOSAGENS

As dosagens foram realizadas para os solos A, B e C, porém, por apresentarem uma granulometria mau graduada e um valor de finos muito alto, não foi possível modular tijolos vazados de solo-cimento com os solos A e B, somente foi possível êxito com o solo C, mesmo o solo possuindo uma porcentagem abaixo do recomendado pela norma com relação ao solo passante na peneira de nº200, por esse motivo, as dosagens a seguir são referentes ao solo C.

A dosagem do cimento, como dito anteriormente, foi realizada por tentativas de erros e acertos. Essas tentativas de encontrarem a dosagem de cimento ideal para modular o tijolo foi baseada nos intervalos determinados por Vargas (1977), onde ele determina um limite de teor de cimento mínimo e máximo entre 7% a 14%.

Após as tentativas, utilizando teores de 10% e 11% sem êxito, foi realizável modular um tijolo com 12,5% de teor, porém, o que tijolo de solo-cimento que conseguiu sair da máquina de prensa com suas bordas e detalhes impecáveis foi o tijolo modulado com o teor de 14%.

A dosagem da água foi verificada por meio do bolo de solo amassado na mão e de forma tátil e visual do solo úmido, dessa maneira foi possível identificar, por tentativas de erros e acertos, a dosagem de água próxima do ideal para modular o tijolo.

Os teores de água testados para a modulação do tijolo foram, para as características apresentadas pelo solo C, de 10%, 7,5% e 6%. Os teores de 7,5 % e 6% de água foram os praticáveis para a modulação do tijolo vazado de solo-cimento.

A Tabela 9 mostra o processo de tentativas de erros e acertos para cada teor de cimento e água.

Tabela 9 - Dosagens para a modulação do tijolo vazado de solo-cimento.

Traço (cimento:solo)	Teor de cimento (%)	Teor de água (%)	Modulado
1:10	10%	10%	Não
		7,5%	Não
		6%	Não
1:9	11%	10%	Não
		7,5%	Não
		6%	Não
1:8	12,5%	10%	Não
		7,5%	Não
		6%	Não
1:7	14%	10%	Não
		7,5%	Sim
		6%	Sim

Fonte: Acervo do autor (2018).

Feita a modulação dos tijolos vazados de solo e cimento com o teor de 7,5% e 6%, foi possível analisar que o tijolo modulado com o teor de 6% apresentou uma melhor aparência, sem se desmanchar ou ficar torrões presos na máquina de prensa após desmoldar, como pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 - Tijolo vazado de solo-cimento modulado com 6% de teor de água.



Fonte: Acervo do autor (2018).

Portanto, o tijolo vazado de solo-cimento que apresentou melhor resultado estético foi o tijolo modulado por um traço de 1:7 com o teor de água de 6%.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou três tipos de solos encontrados no município de Angicos/RN com a finalidade de produzir tijolos de solo-cimento.

As considerações sobre os solos estudados foram feitas com base na distribuição granulométrica e na ABNT NBR 10833:2012, onde foi possível comparar as exigências da norma, quanto ao percentual de material de solo passante nas peneiras de nº4 e nº200 e o percentual dos limites de liquidez e plasticidade.

O solo A, anteriormente estudados por Silveira (2017) e Araújo (2017), apresentou uma granulometria mal graduada, demonstrando ter muitos finos. Sobre o percentual de material passante nas peneiras de nº4 e nº200, o solo A atendeu a norma, e sobre os limites de consistência, o solo A atendeu a norma no limite de liquidez e no índice de plasticidade.

O solo B apresentou uma granulometria semelhante à do solo A, se caracterizando um solo que contém muitos finos. Diante desses resultados, o solo B atendeu as porcentagens de solo passante nas peneiras de nº4 e nº200 exigidas pela norma. Com relação à os limites de consistência, o solo apresentou ser arenoso, consequentemente ele foi identificado como um solo Não Plástico.

O solo C apresentou uma granulometria bem graduada, onde foi possível identificar que o solo passou 100% na peneira de nº4, porém não passou a porcentagem exigida pela norma entre os limites de 10% a 50%, passando apenas 4,57%. Quanto aos resultados obtidos dos limites de consistência, o solo C atendeu a norma quanto a seu limite de liquidez, porém, não atendeu no seu índice de plasticidade.

Diante dos resultados e com base na literatura e instruções técnicas de manipulação da máquina mecânica de prensa, foi constatado no processo de modulação dos tijolos vazados de solo-cimento que, durante o processo, só foi possível modular tijolos com o solo C.

As dosagens de solo, cimento e água, obtidas experimentalmente, para modular os tijolos vazados de solo-cimento, só foi possível por meio da utilização do traço de 1:7 (cimento: solo), 14% de cimento, incorporando um teor de água de 7,5% e 6%, sobre o volume total.

Foi possível concluir, por meio da observação estética visual que, o tijolo modulado com o teor de água de 6% obteve melhores resultados estéticos no ato do desmolde do tijolo, permanecendo integro e sem solo grudado na máquina mecânica de prensa.

Pode-se concluir que a solução para esse caso é a correção do solo C, incorporando percentuais de silte e argila no solo até atingir uma porcentagem ideal para que não ocorra mais o desmanche do tijolo.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o estudo de futuros trabalhos relacionados a produção de tijolo solo-cimento no município de Angicos/RN, seguem algumas sugestões:

- Correção do solo C, adicionando mais silte e argila para se enquadrar a NBR10833:2012 e consequentemente apresentar melhores resultados;
- Utilizar cimento comum;
- Realizar a cura adequada;
- Desenvolver um equipamento para identificar a umidade sem que seja feito de forma empírica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento:** normas de dosagem e métodos de ensaio. 3.ed.atual.revisada pelo Eng. Márcio Rocha Pitta. São Paulo, 1986. 57 p. ilus. 30cm. (ET-35)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. (1988). **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais: prática recomendada.** Publicações ABCP, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais.** 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000.16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900: **Água para amassamento do concreto.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492 – **Tijolo de solo-cimento** – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833:** fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Solo – Determinação do Limite de Liquidez. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** Solo – Determinação do limite de plasticidade. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Solo – Análise granulométrica. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253:** Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2012. 3 p.

ARAÚJO, T. M. **Análise térmica e quanto à absorção do tijolo de solo-cimento produzido com a substituição parcial da argila por resíduo de scheelita.** 2017. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios - PRODEEM**. Recife: MME, 2005

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**. Distrito Federal.

Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde no. 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <

http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 30 ago. 2018.

BETSUYAKU R. Y. **Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea**.

Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário de Volta Redonda. Volta Redonda, 2015.

BRITO, L. C.; PARANHOS, H. S. **Estabilização de Solos**. Revista Científica

Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 425-438, Setembro de 2017. ISSN:2448-0959

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, volume1. Editora LTC. 6ª edição. Rio de Janeiro, RJ, 1988.

CORDEIRO, C. R.; MACHADO, V. C. **Sustentabilidade na fabricação do tijolo solo-**

cimento: estudo comparativo com blocos convencionais. 2017. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017.

FIAIS, B. B.; SOUZA, D. S. Construção sustentável com tijolo ecológico. **Revista**

Engenharia em Ação Uniletoledo, Araçatuba, v. 2, n. 1, p.94-108, jan. / ago. 2017. Semestral.

FONSÊCA, N. J. M. **Potencial de substituição do cimento pela cal em tijolos de solo-**

cimento com incorporação de resíduo Cerâmico. 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

GRANDE, F. M. **Fabricação de Tijolos Modulares de Tijolos de Solo- Cimento por**

Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado Arquitetura e Urbanismo), EESC-USP, São Carlos, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010. População.

Rio de Janeiro: **IBGE**. **IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010.

Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/angicos/panorama>>. Acesso em: 22 ago 2018.

LIMA, R. C. O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 4. ed. São Paulo: Ibracon, 2014. 669 p.

MELO, D. **Tijolos de solo-cimento no mercado potiguar: uma reflexão**. 2015. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2015.

MOTTA, C. J.; MORAIS, W. P.; ROCHA, N. G.; TAVARES, J. C.; GONÇALVES, G. C.; CHAGAS, M. A.; MAGESTE, J. L.; LUCAS, T. P. B. **Tijolo de Solo-Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte: E-xata, 2014. 13-26 p.

NASCIMENTO, A. M. do; FEITOSA, A. O.; ALMEIDA, T. S.; LACERDA, D. M. Tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. **Inter Scientia**, João Pessoa, v. 6, n. 1, p.187-202, 12 jun. 2018. Semestral.

OLIVEIRA, C. R. de. **Avaliação de solo-cimento reforçado com fibras do coco de babaçu para produção de tijolo modular ecológico**. 2011. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Marabá, 2011.

PINTO, L. M. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil**. 2015. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas. São Paulo, 2000. 247p.

RIBEIRO, S. V. **Reutilização de Resíduo de Rocha Ornamental na Produção de Tijolo Solo-Cimento**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2013.

SALVADOR FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

SANTOS, M. P. **Fabricação de solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes da construção civil**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SILVA, A. P. M. **O uso do tijolo de solo-cimento na construção civil**. 2013. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Belo Horizonte – MG, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

SILVA, F. H. R. F., OLIVEIRA, C. H. de. **Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil**. 2015. ICESP - Instituto Científico de Ensino Superior e Pesquisa. Brasília, DF.

SILVEIRA, J. M. **Análise térmica e de absorção do uso da vermiculita expandida na fabricação de tijolos ecológicos**. 2017. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2018.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 12, n. 2, p.1-8, set. 2008.

VARGAS, M. Introdução a mecânica dos solos. São Paulo: McGraw-Hill, 1977.

VIEIRA, G. H. V. **Avaliação de blocos de solo-cimento utilizando o solo de pato branco corrigido com areia natural ou areia de britagem**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.