



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

FRANCISCO ESTEVÃO DAMASCENO FILHO

**UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO COMO PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DE
CIMENTO EM TIJOLOS ECOLÓGICOS DE SOLO-CIMENTO: UMA ANÁLISE
FÍSICO-MECÂNICA**

MOSSORÓ - RN

2018

FRANCISCO ESTEVÃO DAMASCENO FILHO

**UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO COMO PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DE
CIMENTO EM TIJOLOS ECOLÓGICOS DE SOLO-CIMENTO: UMA ANÁLISE
FÍSICO-MECÂNICA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Duílio Assunção Marçal de Araújo

MOSSORÓ - 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 tornar-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.

D155u Damasceno Filho, Francisco Estevão.

Utilização da fibra de coco como proposta de substituição de cimento em tijolos ecológicos de solo-cimento: uma análise físico-mecânica / Francisco Estevão Damasceno Filho. - 2018.
77 f. : il.

Orientador: Duílio Assunção Marçal de Araújo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de , 2018.

1. microscopia. 2. absorção de água. 3. resistência à compressão. I. Araújo, Duílio Assunção Marçal de, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO ESTEVÃO DAMASCENO FILHO

**UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO COMO PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DE
CIMENTO EM TIJOLOS ECOLÓGICOS DE SOLO-CIMENTO: UMA ANÁLISE
FÍSICO-MECÂNICA**

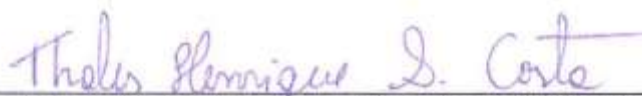
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 15 / 03 / 2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Duílio Assunção Marçal de Araújo (UFERSA)
Presidente



Prof. Esp. Thales Henrique Silva Costa (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Me. Jonathas Iohanathan Felipe de Oliveira (IFCE)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

A Francisco Erivelton Damasceno Estevão (In Memoriam), meu irmão, que cuidou de mim, sempre me ajudou, principalmente a formar meu caráter e é minha fonte de inspiração.

Ao meu Deus misericordioso, por sempre me proteger e dar força nos momentos mais difíceis. Por me proporcionar saúde para alcançar meus objetivos.

A meus pais Francisco Estevão Neto e Maria Ileana Damasceno Estevão que enfrentaram várias lutas para que meu sonho fosse possível dando todo o amor, conselhos e força possível.

A meus irmãos Francisco Éder Damasceno Estevão e Francisco Matheus Damasceno Estevão por servirem como referências e me ajudarem em tudo que eu precisei.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por ser um ser que tem a capacidade de amar incondicionalmente, perdoar e nos proporcionar as graças alcançadas em nossa vida. Agradecer a Ele por permitir realizar mais um objetivo dando saúde, força e paciência nos momentos mais difíceis que enfrentamos tanto na vida pessoal quanto profissional.

A minha mãe Maria Ileana Damasceno Estevão, que me deu a vida, todo o amor incondicional, carinho, conselhos, lições de vida. Agradecer a ela por ter me dado toda a educação necessária e ajudar a formar o caráter que tenho hoje. Por nunca ter me abandonado e sempre ter feito o possível para que eu tivesse todas as condições de crescer como ser. Obrigado minha mãe por tudo, te amo.

A meu pai Francisco Estevão Neto, que junto de minha mãe, abdicou de seus desejos para que o meu e de meus irmãos fossem possíveis. Obrigado por sempre acreditar no meu potencial e estar sempre próximo em me ajudar no que for preciso. Te amo meu pai.

A meu irmão Francisco Erivelton Damasceno Estevão, que não está mais entre nós, mas ajudou a me criar e foi fundamental na formação do meu caráter, me dando conselhos que vou restar para o resto da vida. Obrigado por tudo irmão, para sempre vou te levar em minha memória e em meu coração.

A meus irmãos Francisco Éder Damasceno Estevão e Francisco Matheus Damasceno Estevão por sempre estarem me ajudando e me incentivando a conseguir alcançar meus objetivos. Por sempre dar força e acreditando em minha capacidade.

As minhas tias Maria Edvanir, Francisca da Conceição, Ileana Damasceno e aos outros também que de forma direta ou indireta sempre me ajudaram e acreditam em todo o meu potencial.

A meus avós maternos Francisca Mirtes Damasceno Almeida e Francisco Alves de Almeida por acreditarem em mim e sempre torcer pelo meu sucesso.

A meus primos que me ajudaram ao longo da minha vida no que eu precisei e continuam comigo torcendo e me dando força pelo meu sucesso.

À minha amiga Letícia Azevedo de Farias Pereira, por ter participado ativamente da pesquisa durante todas as etapas e também pela paciência para com minha pessoa. Sem a sua ajuda não teria conseguido.

Queria agradecer também ao técnico do Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação, Marcelo Padre, por me ajudar a realizar alguns procedimentos, que duraram alguns dias e exigiram um pouco de paciência do mesmo. Muito obrigado Marcelo pela sua disponibilidade e atenção.

Gostaria de agradecer também ao técnico do Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Mossoró, Valteson da Silva Santos, que me ajudou na execução dos ensaios de resistência à compressão. Muito obrigado pela atenção.

Queria agradecer aos amigos mais próximos Ana Sarah Maia, Eduardo Graciliano, José Victor Sombra, Marina Macedo, Laryssa Vasconcelos, Thayanne Lara, Vinícius Dutra e Victor Hugo, que participaram ativamente dessa caminhada até o presente momento.

Aos professores Me. Jonathas Iohanathan e Esp. Thales Henrique por terem dedicado seu tempo para ler meu trabalho e darem suas contribuições.

E por fim, e não menos importante gostaria de agradecer ao meu orientador, o professor Me. Duílio Assunção Marçal de Araújo por ter me aceitado como orientando. Agradecer pela paciência comigo, por ajudar e acompanhar cada etapa de construção desse presente trabalho. Que Deus abençoe hoje e sempre o senhor e sua família. Muito obrigado por tudo.

O saber se aprende com os mestres, a sabedoria,
só com o corriqueiro da vida.

Cora Coralina

RESUMO

A construção civil é um setor que consome uma grande quantidade de insumos naturais, o que requer uma certa preocupação quanto ao meio ambiente. Dessa forma, os profissionais da área estão cada vez mais em busca de materiais e técnicas que possam ser utilizados no processo construtivo de forma a atenuar os impactos causados a área ambiental. Com a ideia das construções sustentáveis surgindo de forma intensiva, o tijolo de solo-cimento se mostra muito útil para ser empregado nesse sentido. O trabalho consistiu na obtenção do menor teor de cimento que estabilizasse o solo caracterizado e a partir dessa determinação fazer substituição de parte do teor de cimento empregado por fibra de coco triturada e não triturada para confeccionar os tijolos. O menor teor de cimento que estabilizou o solo foi de 10% em relação a massa de solo empregado, sendo este teor utilizado como referência para a confecção dos tijolos com fibra. Após isso foram produzidos tijolos substituindo parte do teor de cimento por 0,5%, 1,0% e 2,0% (em massa) de fibra de coco das duas formas mencionadas. A partir dos tijolos produzidos foram feitos ensaios de resistência à compressão e absorção de água. Os resultados de resistência à compressão mostraram que a substituição de parte do teor de cimento pela fibra na matriz de solo-cimento apresentou uma redução da resistência, sendo que entre os traços que continham fibra, os que possuíam 0,5% foram os de melhor resultado. Quanto a absorção de água, os tijolos com fibra de coco triturada para os teores de 0,5 % e 1% apresentaram valores inferiores ao tijolo comum com 10% de cimento, ao passo que na utilização da fibra não triturada, para todos os teores analisados, seus resultados foram superiores. É importante que sejam feitos novos estudos para observar melhor o comportamento da fibra e a relação que esta apresenta com a mistura de solo-cimento, assim como também uma análise realizando uma limpeza na superfície da fibra a fim de melhorar a aderência com a matriz.

Palavras-chave: microscopia; absorção de água; resistência à compressão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação das fibras têxteis	28
Figura 2: Camadas que formam o coco	31
Figura 3: Perfil do solo utilizado na confecção dos tijolos	34
Figura 4: Fibra de coco obtida para a confecção dos tijolos	35
Figura 5: Etapa do peneiramento fino	36
Figura 6: Homogeneização da amostra de solo	37
Figura 7: Massa de solo cortada no aparelho de Casagrande	38
Figura 8: Verificação da espessura do bastão	39
Figura 9: Amostras de solo úmidas em cápsulas de alumínio	39
Figura 10: Processo de compactação do solo	41
Figura 11: Extrator retirando a amostra de solo	41
Figura 12: Destorroamento da amostra de solo	42
Figura 13: Medição do comprimento das fibras	43
Figura 14: Beneficiamento da fibra de coco	43
Figura 15: Preparação do solo para a confecção dos tijolos	45
Figura 16: Preparação da mistura de solo-cimento	46
Figura 17: Testes de verificação da umidade	47
Figura 18: Prensagem dos tijolos	47
Figura 19: Processo de cura	48
Figura 20: Confecção dos tijolos com fibra de coco triturada	49
Figura 21: Confecção dos tijolos com fibra sem beneficiamento	50
Figura 22: Preparação dos tijolos para ensaio de resistência à compressão	50
Figura 23: Processo de colagem dos tijolos	51
Figura 24: Finalização da preparação para o ensaio de resistência à compressão	52
Figura 25: Ensaio de resistência à compressão	52
Figura 26: Ensaio de absorção de água	53
Figura 27: Superfície externa da fibra de coco aumentada em 200 vezes	57
Figura 28: Medições realizadas ao longo da fibra aumentada em 100 vezes	58
Figura 29: Tijolo apresentando não uniformidade da distribuição das fibras	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição granulométrica do solo empregado para a confecção dos tijolos.....	56
Gráfico 2: Resistência à compressão dos tijolos comuns.....	59
Gráfico 3: Relação linear entre a resistência e o teor de cimento.....	60
Gráfico 4: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 0,5% de fibra triturada.....	61
Gráfico 5: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 1,0 % de fibra triturada.....	62
Gráfico 6: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 2,0 % de fibra triturada.....	62
Gráfico 7: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 0,5% de fibra não triturada	64
Gráfico 8: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 1,0 % de fibra não triturada	65
Gráfico 9: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 2,0 % de fibra não triturada	65
Gráfico 10: Taxa de absorção de água dos tijolos comuns	67
Gráfico 11: Comparativo entre a resistência máxima média dos tijolos com fibra e a NBR 8491 (2012)	70
Gráfico 12: Comparativo entre a absorção média dos tijolos com fibra e a NBR 8491 (2012)	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos materiais subgraduados de estrada.....	20
Tabela 2: Tipo e composição do cimento Portland no Brasil.....	24
Tabela 3: Propriedades das fibras de coco.....	31
Tabela 4: Quatro formulações de traços com teor de argila e areia compatível, cimento, água e fibra de coco.	32
Tabela 5: Teste de resistência à compressão médio das quatro formulações.....	33
Tabela 6: Formulações com a composição dos tijolos confeccionados	54
Tabela 7: Características físicas e mecânicas do solo	55
Tabela 8: Taxa de absorção das fibras de coco	58
Tabela 9: Comparação dos resultados de resistência à compressão dos tijolos comuns com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012).....	60
Tabela 10: Comparativo dos resultados de resistência à compressão com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos com fibra de coco triturada	63
Tabela 11: Comparativo entre a tensão obtida pelo ensaio de resistência à compressão e pela equação da reta gerada.....	63
Tabela 12: Comparativo dos resultados de resistência à compressão com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos com fibra de coco não triturada.....	66
Tabela 13: Comparativo entre a tensão obtida pelo ensaio de resistência à compressão e pela equação da reta gerada para os tijolos com fibra não triturada	67
Tabela 14: Comparativo dos resultados da taxa de absorção de água com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos comuns	68
Tabela 15: Comparativo dos resultados da taxa de absorção de água com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos com fibra de coco triturada	69
Tabela 16: Comparativo dos resultados da taxa de absorção de água com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos com fibra de coco não triturada.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	centímetro
CITED	Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semi-Árido
CPVSA	Centro de Pesquisas Vocacionadas do Semi-Árido
eq.	equação
g	grama
HRB	Highway Research Board
IP	Índice de Plasticidade
kg	Quilograma
L	Litro
LAMESP	Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
m	metro
ml	mililitro
MPa	megapascal
mm	milímetro
mm ²	milímetro quadrado
n°	número
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NP	Não Plástico
RN	Rio Grande do Norte
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	14
2.0 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3.0 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 ORIGEM E DEFINIÇÃO DE SOLO	16
3.2 TAMANHO DAS PARTÍCULAS	16
3.3 LIMITES DE CONSISTÊNCIA	17
3.3.1 Limite de Liquidez (LL)	17
3.3.2. Limite de Plasticidade (LP)	17
3.3.3 Índice de Plasticidade (IP)	18
3.4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO	18
3.4.1 Sistema de classificação HRB	19
3.5 COMPACTAÇÃO	21
3.6 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS	22
3.7 CIMENTO PORLAND	22
3.8 SOLO-CIMENTO	24
3.9 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	25
3.10 FIBRAS TÊXTEIS	27
3.11 FIBRA VEGETAL	28
3.12 FIBRA DE COCO	30
4.0 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS	34
4.1.1 Solo	34
4.1.2 Cimento Portland	35
4.1.3 Água	35
4.1.4 Fibra de coco	35
4.2 MÉTODOS	36
4.2.1 Caracterização do solo	36
4.2.2 Estabilização do solo com cimento	42
4.2.3. Caracterização das fibras	42

4.2.4 Tijolos comuns de solo-cimento.....	44
4.2.5 Tijolos com fibras de coco.....	48
4.2.5 Ensaio de resistência à compressão.....	50
4.2.6 Ensaio de absorção de água.....	53
4.2.7 Composição dos traços de massa.....	54
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	55
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO.....	57
5.2.1 Microscopia	57
5.2.2 Absorção de água.....	58
5.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES.....	59
5.3.1 Tijolos comuns	59
5.3.2 Tijolos com fibra de coco triturada.....	61
5.3.3 Tijolos com fibra de coco não triturada	64
5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	67
5.4.1 Tijolos comuns	67
5.4.2 Tijolos com fibra de coco triturada.....	68
5.4.3 Tijolo com fibra de coco não triturada.....	69
5.5 COMPARATIVO ENTRE OS TIJOLOS COM FIBRA TRITURADA E NÃO TRITURADA	70
6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS	72

1.0 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que cresce, no mundo, de forma exponencial, o que requer uma certa preocupação quanto ao meio ambiente, já que o setor da construção é um dos que mais consome matéria-prima no planeta. Dessa forma, os profissionais da área estão cada vez mais em busca de materiais e técnicas que possam ser utilizadas no processo construtivo de forma que tente atenuar os impactos causados a área ambiental.

Com a ideia das construções sustentáveis surgindo com mais força, entre as tecnologias empregadas, o tijolo de solo-cimento se mostra de forma muito útil para ser empregado nesse sentido. O tijolo de solo-cimento, conhecido também como tijolo ecológico, é um material alternativo de baixo custo, obtido pela mistura de solo, água e baixo teor de cimento, em proporções que são previamente determinadas, que podem ser compactadas na forma de tijolo. Sendo bem executado o processo pode-se obter um tijolo com durabilidade e adequada resistência à compressão (FIQUEROLA, 2004).

Apesar da técnica do uso do solo-cimento na construção não ser tão recente, hoje em dia existem pesquisas procurando cada vez mais melhorar o processo produtivo. A partir dessa iniciativa, com relação em específico ao tijolo de solo-cimento, um dos desafios atuais é encontrar algum material que possa ser incluído na mistura de modo a tornar o tijolo mais econômico e, agregado a isso, possa haver eventualmente melhoraria de outras propriedades como: propriedades térmicas, acústicas e de luminosidade.

Como pesquisa vai-se utilizar a fibra de coco, bastante comum no Brasil, na composição da mistura fazendo a substituição de certo percentual de cimento pela mesma a fim de observar o que acontece com o tijolo em termos de resistência à compressão e absorção de água.

O fato de se fazer pesquisas nesse sentido é conseguir obter um material relativamente mais barato, pois a ideia é primeiramente encontrar o menor teor de cimento que possa estabilizar o solo quando feita a mistura, de forma que ao obter a resistência necessária conforme a norma vigente, haja a substituição de parte desse teor de cimento por fibra de coco a fim de verificar com que percentual de fibra há a garantia da resistência necessária e também quais modificações a inserção da mesma provoca na mistura.

2.0 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a possibilidade de redução do teor de cimento no tijolo ecológico através da substituição de parte desse teor por fibra de coco, de forma que o tijolo continue a atender as especificações normativas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o solo extraído para a produção de tijolos de solo-cimento;
- Selecionar qual teor de cimento mínimo para a estabilização do solo na produção dos tijolos;
- Determinar os parâmetros de compressibilidade e absorção de água de tijolos de solo-cimento;
- Determinar qual teor de fibra proporciona um tijolo ecológico com melhores propriedades;
- Comparar os resultados entre os tijolos com fibra beneficiada (triturada) e não beneficiada (não triturada).

3.0 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ORIGEM E DEFINIÇÃO DE SOLO

Os solos se originam da decomposição das rochas da crosta terrestre, e isso pode acontecer em função de agentes físicos como o vento e variações de temperaturas, ou químicos como uma chuva ácida ou ainda presença de fauna e flora gerando ataques da mesma natureza. Esses agentes acabam provocando a fragmentação das rochas em partículas de tamanhos variados e composições distintas o que consequentemente vai dar origem aos solos (PINTO,2006).

Pelo fato das partículas terem tamanhos variados, entre elas irá haver espaços, comumente chamados de vazios, que podem ser preenchidos por água (ou outro líquido) e ar, ou ambos ao mesmo tempo. Dessa forma, de acordo com Blücher (1951) o solo se configura como uma estrutura de característica porosa, onde as partículas de uma forma geral se encontram livres para se deslocarem.

Assim, os processos atuantes são a desintegração mecânica formando os pedregulhos e areias (solos de partículas grossas), podendo ir até silte (partículas intermediárias) e só em alguns casos especiais argila (partículas finas) e a decomposição química onde há uma modificação química ou mineralógica da rocha de origem. Com isso os solos são função da rocha de origem e dos diferentes agentes de alteração. (CAPUTO, 2013).

3.2 TAMANHO DAS PARTÍCULAS

A primeira característica que permite diferenciar os tipos de solo é o tamanho das partículas que o constituem. Por exemplo, enquanto alguns solos possuem grãos visíveis a olho nu, outros possuem grãos tão finos que quando umedecidos se tornam uma pasta onde não se consegue visualizar as partículas (PINTO, 2006).

Conforme Das e Sobhan (2014) o tamanho das partículas que compõem o solo varia muito. Geralmente o solo recebe a denominação de pedregulho, areia, silte ou argila, dependendo do tamanho predominante das partículas presentes na sua composição. Numa forma de descrever os solos pelo tamanho das partículas, diversas organizações desenvolveram classificações granulométricas.

3.3 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Quando a fração de solo possui uma certa quantidade de partículas finas, o mesmo pode ser moldado na presença de alguma umidade sem se desintegrar. Isso acontece em função da água adsorvida em volta das partículas de argila. O cientista sueco Atterberg elaborou o método para descrever a consistência dos solos granulares finos variando o teor de umidade, e a partir disso ele pode diferir o comportamento do solo nos estados básicos: sólido, semissólido, plástico e líquido. Dessa forma as transições de um estado para outro foram definidas como limite de contração, quando transita do sólido para o semissólido; limite de plasticidade quando vai do semissólido para o plástico e limite de liquidez quando vai do plástico para o líquido. Os três em função do desenvolvedor ficaram conhecidos como limites de Atterberg (DAS e SOBHAN, 2014).

3.3.1 Limite de Liquidez (LL)

O limite de liquidez é determinado pelo aparelho de Casagrande, que consiste basicamente em um prato de latão, em forma de concha sobre um suporte de ebonite. Por meio de um excêntrico se aplica ao prato, de forma repetida, quedas de altura de 1 cm com intensidade constante (CAPUTO, 2013).

Ainda segundo Caputo (2013), o limite de liquidez é o teor de umidade no qual o sulco se fecha com 25 golpes. No Brasil o ensaio para definir o limite de liquidez é padronizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) pela Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 6459 (2016).

3.3.2. Limite de Plasticidade (LP)

De acordo com Caputo (2013), o limite de plasticidade “é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento”. No Brasil o ensaio é normalizado pela ABNT NBR 7180 (2016).

3.3.3 Índice de Plasticidade (IP)

O índice de plasticidade é obtido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. Esse índice conforme Caputo (2013) serve para definir a zona em que o terreno se encontra no estado plástico, e por ser máximo para as argilas e o mínimo possível, ou até melhor nulo para as areias, fornece um critério para saber o caráter do solo, ou seja, quanto maior o IP, mais plástico será o solo. Quando um material não tiver plasticidade como as areias por exemplo, considera-se seu índice de plasticidade nulo e escreve-se $IP = NP$ (não plástico).

3.4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Os solos que apresentam propriedades semelhantes foram classificados em grupos ou subgrupos em função do seu comportamento. Atualmente há alguns métodos de classificação, e eles foram baseados em propriedades simples de índice, como distribuição granulométrica e plasticidade (DAS e SOBHAN, 2014).

Basicamente os sistemas de classificação se enquadram em duas categorias:

- 1 - Classificação textural – baseada na distribuição granulométrica da porcentagem de areia, silte e frações de argila presentes no solo.
- 2 - Comportamento de engenharia de solos – considera a distribuição granulométrica e plasticidade (ou seja, limite de liquidez e índice de plasticidade). A mesma apresenta dois principais sistemas que estão entre os mais empregados. São eles o sistema de classificação rodoviário Highway Research Board - (HRB) e o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS).

Pelo fato dos sistemas de classificação textural não levarem em consideração a plasticidade do solo, e não indicarem muitas propriedades importantes do solo, finda que não são tão adequados para muitas das finalidades da engenharia. Assim o método HRB é mais empregado pelos departamentos de estrada estaduais e municipais e o método SUCS é mais usado pelos geotécnicos.

3.4.1 Sistema de classificação HRB

Esse sistema que já passou por diversas revisões desde 1929, quando foi desenvolvido. Atualmente classifica o solo em 7 grupos principais indo de A-1 a A-7. Os solos classificados em grupos A-1, A-2 e A-3 são materiais granulares onde 35% no máximo das partículas passam na peneira nº 200 (0,075 mm). Quando mais de 35% do solo passa pela peneira nº 200 são classificados nos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, onde vão possuir mais silte e argila.

Como critérios para essa classificação temos os seguintes:

1 - Tamanho dos grãos

- a. Pedregulho: fração que passa na peneira 75 mm e fica retida na peneira nº 10 (2 mm)
- b. Areia: fração passante na peneira nº 10 (2 mm) e fica retida na peneira nº 200 (0,075 mm)
- c. Silte e argila: fração passante na peneira nº 200.

2 - Plasticidade: se aplica o termo “siltoso” quando a fração de grãos finos do solo têm índice de plasticidade no máximo igual a 10. “Argiloso” se utiliza quando tem um índice de plasticidade de no mínimo 11.

3 - Se pedras de calçada e pedregulhos forem encontrados, elas serão excluídas da amostra na qual se faz a classificação do solo, no entanto a porcentagem de material é registrada.

Assim, para fazer a classificação se emprega a Tabela 1, onde se deve aplicar os dados do ensaio da esquerda para a direita. Assim, por processo de eliminação, o primeiro grupo da esquerda em que os dados se ajustem será a classificação correta.

Tabela 1: Classificação dos materiais subgraduados de estrada

Classificação geral	Materiais granulares (35% ou menos da amostra total passam pela peneira nº 200)						
Classificação de grupo	A-1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Ensaio de peneiramento (porcentagem passante)							
Nº 10	50 no máximo						
Nº 40	30 no máximo	50 no máximo	51 no máximo				
Nº 200	15 no máximo	25 no máximo	10 no máximo	35 no máximo	35 no máximo	35 no máximo	35 no máximo
Características de fração passante nº 40				40	41	40	41
Limite de liquidez				no máximo	no mínimo	no máximo	no mínimo
Índice de plasticidade	6 no máximo		NP	10 no máximo	10 no máximo	11 no mínimo	11 no mínimo
Tipos comuns de materiais constituintes significantes	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia fina	Silte ou pedregulho argiloso e areia			
Avaliação geral subgraduada				Excelente para bom			
Classificação geral	Materiais granulares (mais de 35 % da amostra total passante pela peneira nº 200)						
Classificação de grupo	A - 7						
	A - 7 - 5 ^a						
	A - 4						
	A - 5						
	A - 6						
	A - 7 - 6 ^b						
Ensaio de peneiramento (porcentagem passante)							
Nº 10							
Nº 40							
Nº 200	36 no mínimo						
Características de fração passante nº 40				40	41	40	41
Limite de liquidez				no máximo	no mínimo	no máximo	no mínimo
Índice de plasticidade				10 no máximo	10 no máximo	11 no mínimo	11 no mínimo
Tipos comuns de materiais cosntituíntes significantes				Solos com silte		Solos argilosos	
Avaliação geral subgraduada				Fraco pra ruim			

^aPara A - 7 - 5, $IP \leq LL - 30$ ^bPara A - 7 - 6, $IP > LL - 30$

Fonte: Das e Sobhan, 2014.

Outro fator que também é muito utilizado para saber a qualidade de um solo, é o índice de grupo (IG), onde é principalmente aplicado para verificar se o solo é um material subgraduado de estrada. Para o cálculo se usa a Equação 1:

$$IG = (F_{200} - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

F_{200} = porcentagem passante pela peneira nº 200;

LL = limite de liquidez;

IP = índice de plasticidade

3.5 COMPACTAÇÃO

De acordo com a ABNT NBR 6502 (1995), compactação seria um “processo artificial de aumento da massa específica de um solo, por redução do seu volume de vazios, através de aplicação de energia mecânica”.

A compactação consiste em um processo de densificação do solo pela retirada do ar dos vazios do mesmo, sendo necessário para isso a aplicação de energia, conhecida como energia de compactação. Esse processo tem como consequência um aumento da resistência do solo e entre os fatores que vão influenciar o quanto o solo vai ficar compactado temos a distribuição granulométrica, o peso específico dos sólidos, forma dos grãos, a quantidade e tipo de minerais de argila (DAS e SOBHAN, 2014).

A partir do momento que o solo passa por um processo de compactação e há a expulsão do ar dos poros do mesmo, as partículas do solo irão ficar mais próximas umas das outras, ou seja, os grãos estão melhor acomodados (fator de empacotamento) e isso significa também uma menor absorção de umidade, além do ganho de resistência (ROSÁRIO e TORRESCASANA, 2011). Assim, além das características citadas anteriormente, o teor de umidade e a energia de compactação empregada também influenciam em seu grau de compactação.

O ensaio adotado no Brasil para determinar a umidade ótima e o peso específico máximo de um solo é o Ensaio de Proctor, proposto em 1933, pelo americano que lhe forneceu o nome (PINTO, 2006). No Brasil ele foi padronizado pela ABNT com a norma NBR 7182 (2016).

3.6 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

É importante ressaltar o cuidado que se deve ter com o solo quando utilizado como material de construção, e é necessário ser bem criterioso quanto a sua utilização, haja vista que podem ocorrer alguns problemas devido as propriedades do mesmo, as quais são muito complexas e heterogêneas (GRANDE, 2003).

De acordo com Houben e Guillaud (1994) são três os principais métodos de estabilização do solo:

- estabilização mecânica;
- estabilização física;
- estabilização química.

A estabilização mecânica consiste na correção granulométrica do solo a partir de processos de compactação, pois esta também é uma maneira de conferir ao solo uma melhor densificação e atingir um valor de umidade ótima. Os resultados acabam afetando a densidade, a resistência mecânica, a compressibilidade, a permeabilidade e a porosidade (SARTORI, 2015).

A estabilização física vai ter papel fundamental na textura do solo, pois adicionam-se frações de grãos de diferentes granulometrias, otimizando assim as proporções entre silte, argila e areia, obtendo um fator de empacotamento maior dos grãos, já que os espaços serão melhor preenchidos.

A estabilização química acontece “quando outros materiais são adicionados ao solo, modificando suas propriedades ou por reação físico-química entre os grãos e o material, ou criando uma matriz que aglutina e cobre os grãos” (SILVA, 2001). Como aditivos podemos citar: cimento, cal, betume, fibras, entre outros.

3.7 CIMENTO PORLAND

O cimento Portland é um material fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que vai passar por um processo de endurecimento quando em contato com a água. Este foi criado pelo inglês Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824, e recebeu esse nome “Portland” pelo fato de possuir cor e dureza semelhantes a pedra de Portland, a qual era bastante utilizada

nas construções inglesas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP), 2002).

De acordo com Oliveira (2011), o cimento Portland é obtido pela pulverização do clínquer, sendo composto principalmente por silicatos hidráulicos de cálcio, contendo também uma proporção de sulfato de cálcio natural, podendo ser acrescido de outras substâncias que vão modificar suas propriedades de acordo com sua utilização.

Segundo Neville (2013), os silicatos (C_3S e C_2S) são os mais importantes, pois serão os responsáveis pela resistência da pasta de cimento hidratada, e terão efeito principalmente no arranjo atômico, forma dos cristais obtidos e nas propriedades hidráulicas dos silicatos. Já com relação ao aluminato tricálcico (C_3A) sua presença não é tão desejável, pois ele contribui pouquíssimo para a resistência com exceção das primeiras idades. E também, devido a sua presença, em um ataque de sulfatos, pode haver a formação de sulfoaluminato de cálcio (etringita), podendo ocasionar a desagregação de concreto, que é uma das principais aplicações do cimento Portland. Como lado positivo tem o fato do C_3A facilitar a combinação do óxido de cálcio com a sílica. Por fim o C_4AF é o que se apresenta em menor quantidade entre os quatro, e ele pouco influencia no comportamento do cimento, mas ele pode reagir com a gipsita e formar sulfoferrito de cálcio, e sua presença pode acelerar a hidratação dos silicatos.

Atualmente no Brasil são produzidos diversos tipos de cimentos Portland, os quais irão se diferenciar pela sua composição química, e quando hidratados, irão apresentar propriedades diferentes. Dessa forma, a composição dos cimentos é feita para atender determinadas propriedades desejadas para o mesmo (NEVILLE, 2013). De acordo com a ABCP (2002), os tipos mais empregados nas obras são:

- Cimento Portland comum;
- Cimento Portland composto;
- Cimento Portland de alto-forno;
- Cimento Portland pozolânico.

Além desses, há aqueles que são produzidos em menor escala, e tem uma aplicação um pouco mais específica, sendo eles:

- Cimento Portland de alta resistência inicial;
- Cimento Portland resistente aos sulfatos;
- Cimento Portland branco;
- Cimento Portland de baixo calor de hidratação;

- Cimento para poços petrolíferos.

A Tabela 2 apresenta a composição mais detalhada dos tipos de cimento Portland, assim como a norma brasileira que rege a sua produção.

Tabela 2: Tipo e composição do cimento Portland no Brasil.

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I-S	99 - 95		1-5		
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V- ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), (2002).

3.8 SOLO-CIMENTO

Quando ao solo se adiciona o cimento Portland, obtém-se um material de construção conhecido atualmente como solo-cimento. De acordo com Teixeira Filho (1996) o solo-cimento é o produto resultante da mistura de solo, cimento Portland e água, que compactados ao teor ótimo de umidade e sob a máxima densidade, em proporções estabelecidas, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento.

Ao realizarmos essa adição de cimento ao solo, conseguimos obter um material onde a absorção e a perda de umidade não causam variações volumétricas consideráveis, o mesmo não se deteriora quando submerso em água, adquire um aumento de resistência, e pelo fato de possuir uma menor permeabilidade, consegue ser mais durável (GRANDE, 2003).

Silva (2011) comenta que no ano de 1929, com as descobertas de Proctor sobre a compactação referentes a umidade e peso específicos ótimos, permitiu que se utilizasse o solo-cimento para aplicações diversas como: pavimentação revestimento de canais, diques, reservatórios, estabilização de taludes, tijolos, blocos, paredes monolíticas entre outras aplicações.

É um material que supre boa parte das necessidades, principalmente econômicas de regiões rurais e suburbanas do país, sendo empregado principalmente na pavimentação, no qual suas primeiras aplicações aconteceram na década de 40 no Brasil, a exemplo da experiência americana (FERREIRA FILHO, 2014).

É importante ressaltar que o teor de cimento pode comprometer a qualidade da mistura, assim como o tipo de solo, o método de mistura e a compactação. Pelo fato de entrar em maior quantidade na mistura, tem-se que ter maior cuidado com o solo, pois se o mesmo for inadequado, não haverá grande probabilidade de se obter um produto com qualidade desejável. Com relação ao teor de cimento, se o mesmo for muito elevado pode ocasionar fissuras no material, caso não passe por um processo de cura adequado (MIELLI, 2009).

Apesar de ser um material não tão recente, a estabilização do solo por um aglomerante hidráulico como o cimento ainda não é um processo totalmente conhecido. Tem-se como mais aceito que em função da hidratação do cimento, haverá uma atração entre as partículas em função de uma alteração das cargas elétricas no meio argiloso, pela troca de cátions, e isso vai resultar em partículas maiores, ocasionando perda de plasticidade da mistura (SILVA, 2011).

3.9 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

O tijolo de solo-cimento ou tijolo ecológico é obtido a partir de uma mistura de solo, água e cimento, que em seguida são prensados resultando em uma produção sem a necessidade de queima em forno a lenha, evitando assim o desmatamento e a emissão de resíduos tóxicos ao meio ambiente (SALA, 2006).

Segundo Faria (1990 *apud* Grande, 2003) a qualidade e o desempenho do tijolo ecológico são função do fator de empacotamento dos grãos após a compactação e vai resultar em um material com baixa porosidade e alta densidade. Com isso o equipamento utilizado na prensagem desempenha papel fundamental, pois o mesmo condiciona a taxa de compactação do material e as características produtivas em si.

Como o solo é o principal componente na composição, recomenda-se utilizar um tipo que proporcione a produção dos tijolos com o menor teor de cimento possível, ressaltando que os solos mais finos necessitarão de um teor maior de cimento para a sua estabilização do que solos grossos em função da uma maior superfície específica (LOPES, 2002). Podem ser utilizados os mais variados tipos de solos para a confecção do tijolo de solo-cimento, mas os mais apropriados são aqueles que possuem teor de areia entre 45 e 50% (RIBEIRO, 2013).

De acordo com ABNT NBR 10833 (2012) e o Boletim Técnico BT – 111 elaborado pela ABCP (2000), no intuito de ter-se uma confecção dos tijolos eficientes os solos têm que possuir as seguintes características:

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

Ainda conforme o boletim da ABCP (2000), deve-se evitar a utilização de solos que apresentem muita matéria orgânica, pois a mesma acaba perturbando a hidratação do cimento, devido a sua acidez, e isso pode afetar a estabilização da mistura. Ainda sobre a matéria orgânica, aconselha-se tolerar um teor máximo de 2%, a fim de haver uma viabilidade econômica (LOPES, 2002).

Entre algumas vantagens do tijolo de solo-cimento, a ABCP (2000) destaca as seguintes:

- Podem ser produzidos com solo local (ou da região) e no próprio canteiro de obras, reduzindo ou até mesmo eliminando custos com transporte;
- Utiliza equipamentos simples, se for utilizado uma prensa manual;
- Não consome combustível em seu processo de produção, pelo fato de não envolver queima;
- Requerem espessura mínima para argamassa de assentamento em função da regularidade de suas formas, planeza e lisura das faces;
- Não necessita de mão-de-obra especializada;
- A sua resistência à compressão simples é similar à de um tijolo cerâmico.

Neves *et al.* (2001) ainda cita uma outra vantagem do tijolo de solo-cimento, que seria o fato do mesmo permitir a incorporação de outros materiais em sua fabricação, como por exemplo, agregados advindos de entulho reciclado e rejeitos industriais (sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto-forno).

Há de ressaltar que outras pesquisas também foram feitas com outros materiais, como por exemplo Silva (2005) em sua dissertação, onde fez tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira. Além disso já foram feitas pesquisas usando também casca de arroz, fibra de coco, sisal entre outras.

Basicamente o processo de confecção dos tijolos segue as seguintes etapas de acordo com a ABCP (2000):

- preparação do solo: consiste em destorroar o solo e realizar o peneiramento passando na peneira ABNT 4,8 mm;
- preparação da mistura: faz-se a mistura entre o solo e o cimento até que apresente uma coloração uniforme. Em seguida adiciona-se água e faz novamente a homogeneização até a mistura adquirir uma umidade uniforme;
- fabricação do tijolo: após a máquina estar regulada, coloca-se a mistura preparada no molde e faz-se a prensagem, levando em seguida o tijolo para o processo de cura.
- cura: após 6 horas da moldagem e durante os 7 primeiros dias os tijolos devem ser mantidos úmidos a fim de fazer a cura adequada.

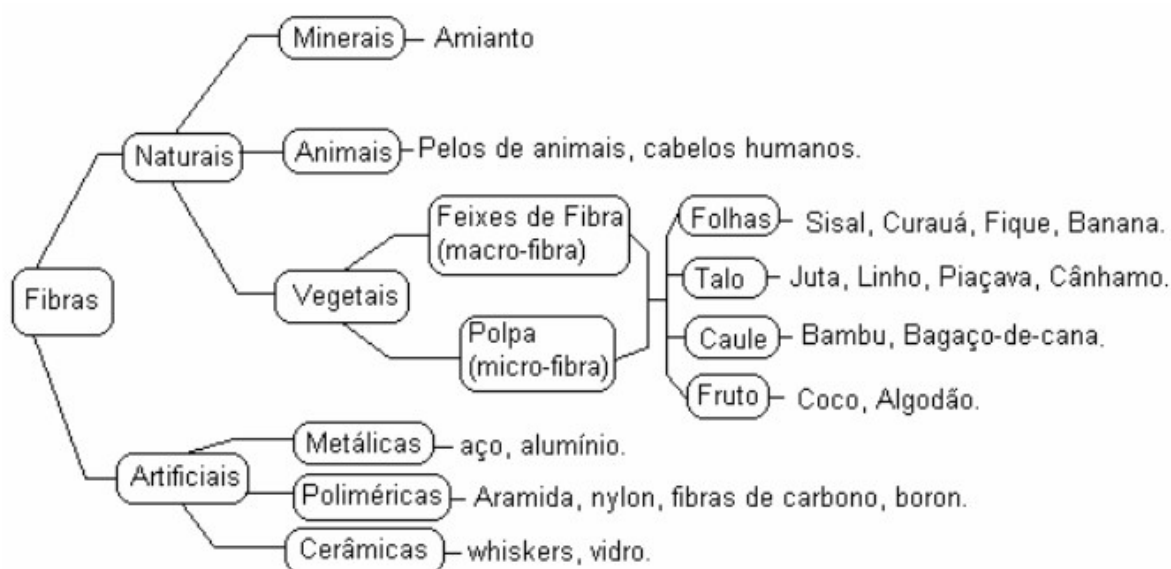
Apesar do tijolo apresentar inúmeras vantagens, o mesmo possui algumas desvantagens e cuidados que devem ser tomados. Conforme Motta *et al.* (2014), o uso do solo indiscriminado pode causar problemas ambientais, como a erosão do solo. Além disso a dosagem incorreta pode ocasionar patologias na construção. Ribeiro (2013) ainda comenta que não se deve produzir os tijolos de solo-cimento em locais muito úmidos em função da presença de húmus, substâncias deletérias, cloretos e sulfatos inviabilizando a utilização do solo e tendo que submeter o tijolo a análises laboratoriais, o que encarece o processo.

3.10 FIBRAS TÊXTEIS

As fibras têxteis são elementos que possuem forma de filamento, e são caracterizados principalmente por possuírem flexibilidade, finura e grande comprimento em relação a sua

seção transversal (LADCHUMANANANDASIVAM, 2006). Com relação a origem, as mesmas podem ser naturais ou manufaturadas (artificiais), como mostra a Figura 1.

Figura 1: Classificação das fibras têxteis



Fonte: Picanço, 2005.

3.11 FIBRA VEGETAL

As fibras vegetais são constituídas basicamente de celulose, hemicelulose, lignina, e ainda podem possuir em pequenas quantidades outras substâncias como pectina, sais inorgânicos, corantes naturais e também substâncias nitrogenadas (CUNHA, 2012).

Conforme mostrado na Figura 1, as fibras naturais por sua vez se dividem em minerais, animais e vegetais. Apesar de não serem ainda tão utilizadas no Brasil, as fibras vegetais possuem um grande potencial de substituir as fibras sintéticas, que são bastante utilizadas na confecção de materiais compósitos (CUNHA, 2012).

Pela tentativa de procurar sempre soluções alternativas em meio a utilização dos recursos naturais, as fibras vegetais que antes não eram tão utilizadas passaram a ser mais estudadas e estão sendo empregadas cada vez mais em diversas áreas. Em relação as fibras manufaturadas ou sintéticas, as fibras vegetais apresentam características que fazem com que seu uso se torne vantajoso. Entre elas temos: origem natural abundante, são de baixo custo, possuem uma facilidade quanto a renovação, apresentam baixa densidade, altas propriedades

específicas, sendo menos abrasivas que as fibras de vidro por exemplo, e além disso são biodegradáveis e não tóxicas (BLEDZKI; GASSAN, 1999).

Agopyan (1991), em seu trabalho sobre as fibras vegetais como reforço de matrizes frágeis, conseguiu relacionar 19 fibras potencialmente úteis para a construção civil. A partir de propriedades mecânicas (resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura), características físicas, relação entre comprimento e diâmetro, possibilidade de cultivo no Brasil, custo e durabilidade ambiental natural, algumas foram selecionadas como mais adequadas. Dessa forma as pesquisas, tanto no Brasil quanto no exterior se concentraram nas fibras de coco e sisal, disponíveis a preços relativamente baixos.

Além do trabalho de Agopyan (1991), outros trabalhos envolvendo fibras em materiais de construção existiram. Por exemplo, Izquierdo (2011), aplicou o uso da fibra natural de sisal em blocos de concreto para a alvenaria estrutural. No trabalho a autora incorporou fibras de sisal, com comprimento de 20 a 40 mm em frações volumétricas de 0,5 e 1,0% em concretos para alvenaria de blocos estruturais fazendo análises quanto à execução de prismas e mini-paredes. A partir de seu trabalho a mesma verificou que os blocos com e sem adição de fibras atingiram as exigências da norma em relação as propriedades físicas, validando assim seu uso. Também constatou com os ensaios de resistência à compressão que as mini-paredes reforçadas com a fibra de sisal obtiveram resultados bem próximos e até mesmo superiores as mini-paredes sem fibras. Com o trabalho foi observado que todos os elementos que sofreram adição apresentaram melhoras quanto a capacidade de deformação assim como ductilidade, e isso graças a fibra de sisal.

Outro pesquisador também que fez estudos de compósitos cimentícios com fibras vegetais foi Picanço (2005), trabalhando com fibra de curauá, visando substituir o amianto, que é tóxico nos compósitos. De acordo com o seu trabalho o autor procurou comparar o desempenho das fibras de curauá e de seus compósitos com as fibras e compósitos de amianto e também com outras fibras vegetais como sisal, coco e juta. Por fim os resultados indicaram que a fibra de curauá apresentou características físicas e mecânicas que a qualificam para ser utilizada como reforço de matrizes cimentícias, principalmente em casos que se busque uma maior ductilidade e capacidade de resistência após a fissuração da matriz.

Agopyan (1991) em sua tese comentou que uma das maiores dificuldades mostradas com as pesquisas em relação ao emprego de fibras vegetais é a falta de durabilidade das mesmas principalmente em meio alcalino, como nas matrizes cimentícias. A partir disso novos estudos estão sendo voltados para entender a degradação dessa fibra e desenvolver técnicas que possam

ser utilizadas para protegê-las, como por exemplo impregnar as fibras com alguma substância ou espécie de revestimento.

Outro fator que pode influenciar de forma negativa com relação a macroestrutura da fibra é a questão do volume de vazios. De acordo com Griffin, (1994 *apud* Savastano Júnior *et al.*, 1997) a absorção de água já é alta, nos primeiros instantes de imersão em função da grande porcentagem volumétrica de vazios permeáveis. Apesar do grande volume proporcionar um menor peso, maior absorção acústica e menor condutibilidade térmica dos compósitos, pode interferir negativamente na relação água/aglomerante da matriz, bem como intumescimento e posterior retração da fibra.

O autor Agopyan (1991) ainda cita que vários outros pesquisadores, como por exemplo, Cook (1980) observaram que as fibras de coco são as mais resistentes em meio alcalinos, e as de sisal sendo uma das que apresentam melhor resistência mecânica.

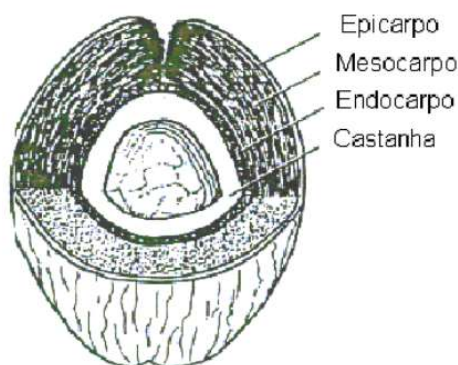
Além dessas pesquisas mostradas, cada vez mais cresce o número de pesquisas quanto a utilização de fibras em compósitos, sejam eles de matrizes cimentícias ou matriz de resina epóxi, poliméricas, usando fibra de piaçava, malva, jacitara e outras.

3.12 FIBRA DE COCO

O coqueiro é um membro da família Arecaceae (família das palmeiras), no qual é o único classificado no gênero *Cocos*. Sua árvore pode chegar a 30 metros de altura, e suas raízes podem alcançar comprimentos de 4 a 6 metros, com pinas de 60 a 90 cm. O coqueiro, típico de clima tropical, é bastante introduzido em todo território brasileiro, principalmente na região Nordeste (CUNHA, 2012).

Entre as camadas que compõe a estrutura do coco, tem-se: epicarpo, camada mais externa, lisa e fina; mesocarpo, a camada abaixo do epicarpo e de onde são retiradas as fibras; na parte mais interna tem-se o endocarpo e a castanha, também chamada de albúmen sólido, que é a parte mais valiosa comercialmente e por fim o albúmen líquido, conhecido popularmente como água de coco (CUNHA, 2012). As camadas estão melhor representadas na Figura 2.

Figura 2: Camadas que formam o coco



Fonte: Cunha, 2012.

A fibra de coco é extraída da parte fibrosa e espessa do fruto onde apresenta uma elasticidade superior a outras fibras vegetais, além de uma elevada capacidade de resistir a umidade e variações climáticas. O seu processo de extração pode acontecer de duas formas, a maceração realizada nas fibras de coco verde e o desfibramento mecânico nas de coco seco (CASTILHOS, 2011).

Com relação as propriedades da fibra de coco, Agopyan (1991) em seus estudos apresenta algumas delas, evidenciando a absorção de água (%), diâmetro (mm), alongamento à ruptura (%) e resistência à tração (MPa), sendo que ele fez os ensaios com sete tipos de fibra de coco, as quais ele deu um código para cada uma, apresentadas na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3: Propriedades das fibras de coco

Código	Designação	Comprimento (cm)	Absorção de água (%)	Diâmetro ¹ (mm)	Alongamento à ruptura ¹ (%)	Resistência à tração ¹ (MPa)
I	Longa A	> 12	120	0,259	44,7	118
II	Longa B	> 12	148	0,366	51,4	103
III	Curta	8 a 12	153	0,262	29,4	95
IV	"Fibrinha"	1 a 6	117	0,212	23,9	99
V	Resíduo A	6	171	0,274	36,9	116
VI	Resíduo B	6	161	0,230	36,0	101
VII	Chumaço	6	159	0,366	25,0	114

¹ Conforme o método de ensaio ASTM D 3822 - 79

Nota: Cada valor é a média do resultado de 30 ensaios

Fonte: Agopyan (1991).

Assim como com as outras fibras, pesquisas estão sendo feitas para analisar a viabilidade da fibra de coco. Entre alguns trabalhos, houve a dissertação de mestrado de Nascimento (2011), que fez o estudo da fibra como reforço em tijolo de solo-cimento. No seu trabalho o mesmo utilizou a formulação FS para os tijolos sem fibra de coco e F1, F2 e F3 para os tijolos com fibra. A Tabela 4 mostra a composição dos traços usados para a confecção dos tijolos.

Tabela 4: Quatro formulações de traços com teor de argila e areia compatível, cimento, água e fibra de coco.

Tijolo sem e com fibra de coco							
(30% Argila + 70% Areia) e (20% Argila + 80% Areia)							
Tipo de formulações (traços)	% Argila	% Areia	% Cimento	% Fibra de coco	ml Água	Lotes/Série	Total de unidades
FS	0,2	0,8	0,07	0	400	L1,L2,L3 A,B,C,D,E	15
F1	0,2	0,8	0,1	0,05	400	L1 A,B,C,D,E	15
F2	0,3	0,7	0,1	0,08	400	L2 A,B,C,D,E	15
F3	0,3	0,7	0,1	0,06	400	L3 A,B,C,D,E	15

Fonte: Nascimento, 2011.

Com relação a resistência à compressão, os resultados do autor mostraram que a fibra de coco melhorou consideravelmente os níveis de resistência dos tijolos em relação aos tijolos sem fibra, apesar de que o percentual de cimento utilizado nos tijolos com fibra ter sido um pouco maior que o utilizado nos tijolos sem fibra, fato esse que pode também ter influenciado no aumento da resistência além da presença da fibra de coco. Os resultados médios da resistência dos corpos de prova são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Teste de resistência à compressão médio das quatro formulações.

Teste de Resistência à compressão			
Formulação	Carga média (N)	Área (mm²)	Resistência à compressão média (MPa)
FS	201,4	115	1,75
F1	575,33	115	5,00
F2	841,33	115	7,32
F3	1268,66	115	11,03

Fonte: Nascimento, 2011.

Por fim o pesquisador pode concluir que os tijolos com fibra de coco secas apresentaram propriedades que comprovam sua aceitação em relação ao tijolo convencional, e que os mesmos podem ser utilizados como alvenaria de vedação, tendo como principal vantagem a função social que o mesmo representa.

Outro trabalho onde se avaliou tijolo de solo-cimento com fibra de coco foi o de Silva *et al.* (2004), onde avaliaram a mesma como indutor de isolamento térmico nos tijolos. Para o mesmo produziu-se tijolos sem fibra de coco com 70% de areia e 30% de argila, e tijolos com as mesmas quantidades adicionando 6% de fibra de coco. A partir das análises verificou-se que a influência do pó da fibra de coco proporcionou uma redução de 36,3% na condutividade térmica do tijolo.

Os trabalhos apresentados acima mostram que continuam acontecendo pesquisas envolvendo fibras de coco em materiais da construção, sendo a fibra no caso adicionada à composição original, como no caso dos tijolos de solo-cimento. Foi observado que não foi encontrado trabalhos onde se fizesse uma substituição de certa parcela do teor de cimento pela fibra, a fim de verificar essa relação. A partir disso a pesquisa presente está mais voltada para essa questão, verificar o que acontece quando se faz essa substituição.

4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

A parte prática do trabalho aconteceu de dezembro de 2017 a fevereiro de 2018, onde foram concluídas as etapas de coleta do solo, caracterização do solo e da fibra, estabilização do solo com o cimento, confecção dos tijolos, os quais passaram por um processo de cura, e também a realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

4.1.1 Solo

Todo o solo utilizado (Figura 3) para a confecção dos tijolos foi o mesmo empregado por Dantas (2015) em sua pesquisa, sendo coletado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Campus Mossoró – Rio Grande do Norte localizado aproximadamente a 20 metros de altitude e $5^{\circ}12'34,68$ de latitude sul e $37^{\circ}19'5,74$ de longitude oeste, sendo extraído com o auxílio de pás e picareta a uma profundidade de aproximadamente 1,5 metros. O solo foi armazenado em baldes para ser levado ao Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LAMESP), onde prosseguiram as etapas de caracterização e produção dos tijolos.

Figura 3: Perfil do solo utilizado na confecção dos tijolos



Fonte: Autoria própria, 2017.

4.1.2 Cimento Portland

O cimento empregado na produção dos tijolos foi o Cimento Portland Pozolânico Resistente a Sulfatos com resistência de 32 MPa aos 28 dias (CP IV 32 RS), cujas as suas características estão de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 5736 (1991) – Cimento Portland Pozolânico. Teve-se o cuidado de manter o cimento em um ambiente protegido da umidade a fim de que suas propriedades não fossem alteradas, de modo a não afetar as propriedades dos tijolos. O mesmo foi escolhido pela facilidade de disponibilidade no mercado.

4.1.3 Água

A água utilizada para a realização dos procedimentos necessários foi a mesma que abastece a Universidade, no caso a concessionária que abastece o estado do Rio Grande do Norte. Sendo caracterizada como uma água potável, a mesma se mostrou adequada para a produção dos tijolos sem a necessidade de realizar ensaios.

4.1.4 Fibra de coco

A fibra de coco foi obtida a partir de um produtor local que fornece a mesma em sacos de cerca de 500 gramas (Figura 4), destinada principalmente à jardinagem.

Figura 4: Fibra de coco obtida para a confecção dos tijolos



Fonte: Autoria própria, 2018

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Caracterização do solo

4.2.1.1 Ensaio de granulometria

A análise granulométrica consiste em fazer a determinação do tamanho das partículas e também suas respectivas porcentagens de ocorrência. O ensaio para que fosse executada a análise ocorreram conforme as prescrições da ABNT NBR 7181 (2016). No mesmo foi feito o peneiramento grosso onde utilizou-se as peneiras 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", 4, 10 correspondentes às seguintes aberturas em milímetros: 50; 37,5; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,0 e também o peneiramento fino (Figura 5) com as peneiras 16, 30, 40, 50, 100 e 200 referente em milímetros as aberturas 1,20; 0,60; 0,42; 0,30; 0,15; 0,075. O peneiramento foi feito de forma manual. O restante do solo que passou na peneira de número 200 (0,075 mm) seguiu para o ensaio de sedimentação.

Figura 5: Etapa do peneiramento fino



Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2.1.2 Limites de Consistência

4.2.1.2.1 Limite de liquidez (LL)

O ensaio para determinar o limite de liquidez utilizou a ABNT NBR 6459 (2016). De acordo com a norma, primeiramente a amostra de solo seca ao ar passou na peneira de abertura nº 40 (0,42 mm). Após isso adicionou-se cerca de 100 g do solo em um recipiente, onde acrescentou-se água destilada. Após isso misturou-se com uma espátula até obter uma massa homogênea (Figura 6).

Figura 6: Homogeneização da amostra de solo



Fonte: Autoria própria, 2017.

Após homogeneizada espalhou-se a massa na cápsula do aparelho de Casagrande, de forma que a parte central tivesse 1 cm de espessura aproximadamente. Em seguida fez-se um corte na parte central da massa com o cortador (cinzel) próprio do aparelho (Figura 7).

Figura 7: Massa de solo cortada no aparelho de Casagrande



Fonte: Autoria própria, 2017.

Finalizada essa etapa, foram aplicados golpes girando a manivela em uma velocidade constante de 2 rotações por segundo e se anotava o número de golpes que fechava a fenda aberta na parte central. De acordo com a norma o número de golpes deve ficar entre 18 e 32, e isso ocorrendo, uma parte da amostra deve ser retirada para determinar o teor de umidade. Caso o número de golpes seja inferior a 18 deve-se acrescentar mais solo a massa, caso seja maior que 32 deve-se adicionar mais água a mistura, e realizar novamente o ensaio.

Para determinar a umidade foram tiradas amostras de solo úmido de preferência da região próxima da ranhura e foram colocadas em cápsulas sendo pesadas e levadas a estufa à 105 °C por 24 horas. Após saírem da estufa, pesou-se novamente as amostras para obtenção da umidade e com os devidos cálculos obteve-se o limite de liquidez do solo.

4.2.1.2.1 Limite e índice de plasticidade

O limite de plasticidade foi obtido conforme as determinações da ABNT NBR 7180 (2016). O ensaio consistiu em pegar uma parte da amostra preparada para o ensaio do limite de liquidez retirando em torno de 10 a 15 gramas de forma que se formasse uma esfera. A bola de

massa foi comprimida sobre uma placa de vidro com a ajuda dos dedos até formar um bastão cilíndrico de aproximadamente 3 a 4 mm de diâmetro (Figura 8). Utilizou-se um gabarito metálico com 3 mm de diâmetro como forma de comparação.

Figura 8: Verificação da espessura do bastão



Fonte: Autoria própria, 2017.

Após a obtenção dos bastões, estes foram colocados em cápsulas de alumínio (Figura 9) para determinação de suas massas úmidas. Assim como no limite de liquidez estas foram a estufa à 105 ° C por 24 horas, onde ao serem retiradas foram pesadas para obter a massa seca e por fim calcular a umidade da amostra.

Figura 9: Amostras de solo úmidas em cápsulas de alumínio



Fonte: Autoria própria, 2017.

A partir da massa seca e úmida pode-se obter o limite de plasticidade a partir da Equação 2:

$$LP = 100 \cdot \frac{a-b}{b} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

LP = Limite de plasticidade;

a = Peso da amostra úmida, expresso em gramas (g);

b = Peso da amostra seca, expresso em gramas (g).

Após obter os limites de liquidez e plasticidade, pode-se calcular o índice de plasticidade (IP) com a Equação 3:

$$IP = LL - LP \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

IP = Índice de plasticidade;

LL = Limite de liquidez;

LP = Limite de plasticidade.

4.2.1.1 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação ocorreu conforme as diretrizes da ABNT NBR 7182 (2016). O ensaio foi realizado na energia de Proctor Normal em um cilindro grande com reuso do material, ou seja, a mesma amostra coletada. Para o procedimento foram utilizados 7 quilogramas (kg) de solo para a obtenção dos 5 pontos, que é o mínimo exigido por norma. O ensaio foi realizado para encontrar o ponto de umidade ótima do solo e sua massa específica máxima. Após a preparação da amostra de acordo com a ABNT NBR 6457 (2016), adotou-se inicialmente uma umidade de 5% abaixo da umidade ótima presumível sendo feito a homogeneização. Feito isso realizou-se o processo de compactação em 5 camadas sendo aplicado 12 golpes em cada uma com o soquete de 4530 g a uma altura de queda de 45,5 cm (Figura 10).

Figura 10: Processo de compactação do solo



Fonte: Autoria própria, 2017.

Concluída a etapa, o cilindro foi pesado, descontando o peso do mesmo para obter a massa úmida do solo. Com o auxílio do extrator se retirava a massa de solo compactada (Figura 11), e de uma parte central obtinha-se uma amostra para ir à estufa de forma a determinar a umidade.

Figura 11: Extrator retirando a amostra de solo



Fonte: Autoria própria, 2017.

Após isso destorroou-se a amostra e a mesma foi preparada novamente para repetir o procedimento, acrescentado 2% do teor de umidade (Figura 12).

Figura 12: Destorroamento da amostra de solo



Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2.2 Estabilização do solo com cimento

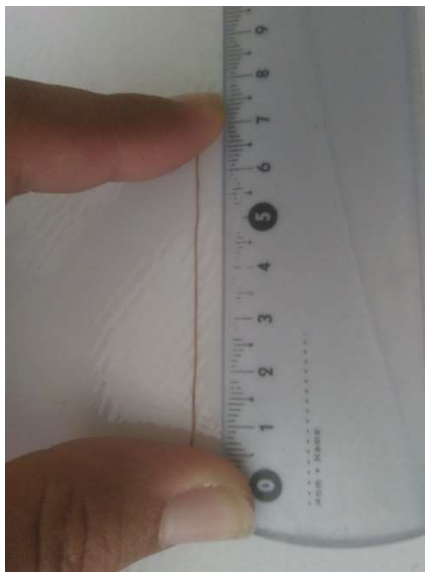
A estabilização do solo com cimento se caracteriza como uma estabilização química e ela proporciona uma alteração das propriedades em função das reações físico-químicas entre os grãos e a matriz. O que se busca com ela é principalmente melhorar as propriedades físicas e mecânicas do material obtido, principalmente a resistência à compressão. Para o trabalho buscou-se encontrar o menor teor de cimento que estabilizasse a mistura. Para isso foram confeccionados traços de solo-cimento com teores variados de cimento representando 6%, 8%, 10% e 12% da massa total de solo empregado.

4.2.3. Caracterização das fibras

4.2.3.1 Comprimento médio

Foi observado que as fibras adquiridas tinham um comprimento muito variado em função do processo de desfibramento. Dessa forma pegou-se 200 amostras onde as mesmas foram medidas com uma régua (Figura 13) para o cálculo do comprimento médio, obtendo assim 6,55 cm.

Figura 13: Medição do comprimento das fibras



Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2.3.2 Beneficiamento da fibra

Uma parte da fibra obtida passou por um processo de beneficiamento em um moinho que a deixou em uma espécie de pó caracterizada por partículas de aspecto irregular, por mais que estas tivessem passado por uma mesma abertura (Figura 14). O processo aconteceu na sala de moagem do Centro de Pesquisas Vocacionadas do Semi-Árido (CPVSA).

Figura 14: Beneficiamento da fibra de coco



a) Moinho usado para triturar as fibras; b) Fibras pós trituração. (Fonte: Autoria própria, 2018)

4.2.3.3 Absorção da fibra de coco

Na determinação da absorção das fibras, de comprimento médio de 6,55 cm, as mesmas foram colocadas na estufa do LAMESP à 105 ° C durante 24 horas a fim de obter a sua massa seca. Após isso a mesma foi submersa em água onde passou novamente 24 horas até sua completa saturação. Finalizado o procedimento anterior, se retirou o excesso de água na superfície e pesou-se novamente para obter a massa úmida. Feito isso foi possível obter a absorção de água pela Equação 4:

$$A_F = \frac{M_u - M_s}{M_s} * 100 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

A_f = Absorção de água das fibras, expressa em porcentagem (%);

M_u = Massa úmida da fibra, expressa em gramas (g);

M_s = Massa seca das fibras, expressa em gramas (g).

4.2.3.4 Análise morfológica das fibras de coco

Para a análise morfológica da fibra foi utilizado um microscópio óptico para que fosse observado a microestrutura da fibra. O microscópio empregado era do modelo Nikon Eclipse MA100. Além disso aplicou-se o software de imagens *NIS Elements* para a câmera digital *Nikon DS Fi2*, que foi utilizada no registro das imagens.

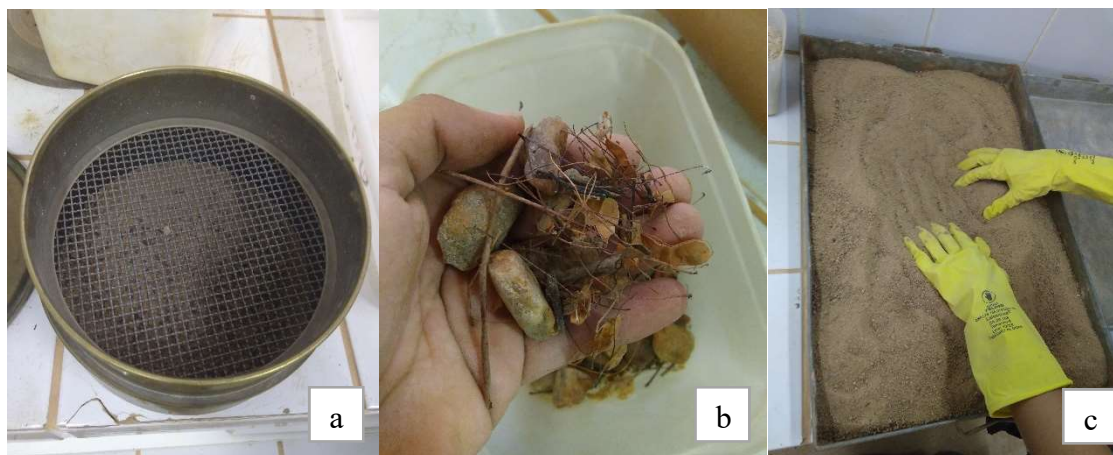
A análise aconteceu nas fibras que foram trituradas no moinho e foi realizada no Laboratório de Plasma no Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semi-Árido (CITED).

4.2.4 Tijolos comuns de solo-cimento

4.2.4.1 Confeção dos tijolos

Primeiramente houve a preparação do solo para a confecção dos tijolos onde passou-se todo o material na peneira ABNT de nº 4 (4,8 mm). Após a realização do peneiramento, onde tentou-se retirar o máximo possível de matéria orgânica, foi feita uma homogeneização do solo (Figura 15). Em seguida foram preparados os traços.

Figura 15: Preparação do solo para a confecção dos tijolos



a) Solo peneirado; b) Matéria orgânica retirada; c) Solo homogeneizado. (Fonte: Autoria própria, 2018).

A fim de obter o menor teor de cimento que proporcionasse a estabilização do solo-cimento e atendesse as exigências da ABNT NBR 8492 (2012), foram feitos traços com teores em massa de 6%, 8%, 10% e 12% de cimento em relação a massa de solo. Realizada a mistura do solo com o cimento até uma uniformização da cor, foi adicionado a água a partir da umidade ótima do solo (obtida no ensaio Proctor).

Após testes iniciais, observou-se que para a confecção de um tijolo necessitava de 16,925 kg de solo. Para cada traço foram confeccionados 6 tijolos, sendo 3 destes utilizados para o ensaio de resistência à compressão e 3 para o ensaio de absorção de água. Assim, foi empregado aproximadamente 16,5 kg de solo e 1,6 litros de água para a confecção de cada traço, variando o teor de cimento. A aplicação de água acontecia gradativamente enquanto se realizava a homogeneização da mistura (Figura 16).

Figura 16: Preparação da mistura de solo-cimento



a) Adição de cimento ao solo; b) Mistura adicionada de água sendo homogeneizada. (Fonte: Autoria própria, 2017).

O processo foi realizado até ser observado que a mistura estava na umidade adequada, ou seja, apresentando um aspecto de farofa. Para isso faziam-se dois testes (Figura 17) como recomenda o Boletim Técnico BT - 111 da ABCP (2000). O primeiro consistia em retirar uma amostra com as mãos e apertar energicamente entre os dedos e a palma da mão; ao abrir a mão, se o bolo apresentasse a marca dos dedos significava que a mistura estava em um ponto adequado. O outro teste foi deixar cair o bolo da altura de um metro aproximadamente sobre uma superfície dura, onde o mesmo ao entrar em contato devia-se esfarelar, e caso isso não ocorresse, significava que a umidade adequada ainda não tinha sido alcançada. Se a água utilizada como ponto de partida não conseguisse atingir a umidade apropriada, acrescentava-se mais água.

Figura 17: Testes de verificação da umidade



a) Teste 1 (apertar a mistura entre os dedos); b) Teste 2 (soltar o bolo de mistura sobre uma superfície dura). (Fonte: Autoria própria, 2017).

Finalizada a homogeneização da mistura a mesma era colocada em um compartimento da prensa e fazia-se a prensagem do tijolo (Figura 18). Após prensado os tijolos seguiram para o processo de cura.

Figura 18: Prensagem dos tijolos



a) Mistura sendo inserida para prensagem; b) Tijolo prensado. (Fonte: Autoria própria, 2017).

4.2.4.2 Processo de cura

Após sair da prensa, os tijolos eram colocados em sacos plásticos para que não houvesse perda de umidade (Figura 19). O processo aconteceu durante 7 dias conforme exige a ABNT NBR 10833 (2012), onde os mesmos passaram a ser preparados para os ensaios previstos.

Figura 19: Processo de cura



a) Cura em sacos plásticos; b) Umidade retida no saco plástico. (Fonte: Autoria própria, 2017).

4.2.5 Tijolos com fibras de coco

4.2.5.1 Tijolos com fibra de coco beneficiada (triturada)

O processo de confecção de uma forma geral foi o mesmo que o dos tijolos comuns, com a diferença nesse caso da substituição de uma parte do teor de cimento pela fibra de coco triturada. De acordo com os resultados dos tijolos comuns, e adotado o menor teor de cimento que atendesse aos padrões da ABNT NBR 8492 (2012), foram confeccionados tijolos com três teores diferentes de fibra em relação a massa de cimento, sendo utilizados assim 0,5 %, 1,0% e 2,0% de fibra de coco triturada. A quantidade de água foi a mesma empregada para os tijolos comuns. A Figura 20 apresenta as etapas do processo.

Figura 20: Confecção dos tijolos com fibra de coco triturada



a) Adição de fibra de coco à mistura; b) Homogeneização finalizada; c) Tijolo com fibra de coco. (Fonte: Autoria própria, 2018).

4.2.5.2 Tijolos com fibra de coco sem beneficiamento

Além dos tijolos com a fibra triturada, também foram produzidos tijolos com a fibra de coco sem ter passado por nenhum processo de beneficiamento (Figura 21). Em função disso as fibras possuíam um comprimento bastante variado se comparado as fibras trituradas, onde umas tinham por exemplo 3,2 cm enquanto outras 14,9 cm. A fim de comparar os resultados em relação aos tijolos com fibra triturada empregou-se os mesmos teores (0,5;1,0 e 2,0%) da massa de cimento. O processo de confecção (Figura 21) seguiu o mesmo procedimento dos outros tijolos sendo que nesse caso foram empregados aproximadamente 1,7 litros de água.

Figura 21: Confeção dos tijolos com fibra sem beneficiamento

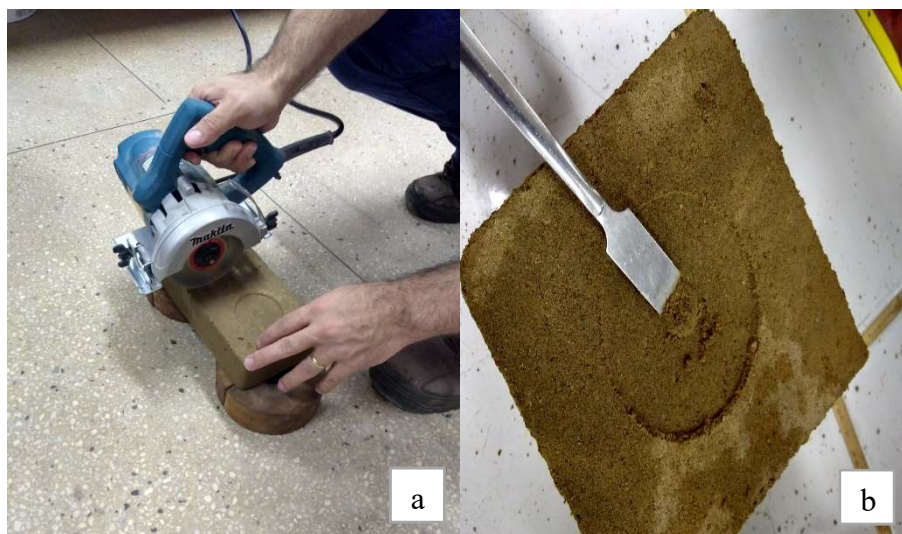


a) Fibras sem beneficiamento; b) Mistura homogeneizada com a fibra; c) Tijolo prensado (Fonte: Autoria própria, 2018)

4.2.5 Ensaio de resistência à compressão

Após os tijolos passarem pelo processo de cura, os mesmos foram preparados para o ensaio de resistência à compressão no LAMESP. Para o ensaio foram utilizados 3 tijolos de cada traço. Seguindo as recomendações da ABNT NBR 8492 (2012) primeiramente partiu-se o tijolo ao meio com uma serra de disco. Após isso foram retiradas as saliências para fazer o nivelamento do mesmo (Figura 22).

Figura 22: Preparação dos tijolos para ensaio de resistência à compressão



a) Corte do tijolo ao meio; b) Retirada de saliências (Fonte: Autoria própria, 2017).

A etapa seguinte consistiu em aderir as partes serradas usando uma pasta de cimento e água, umedecendo as faces que iriam entrar em contato com a pasta para que a mesma não retirasse umidade do tijolo, realizando na sequência o nivelamento. Com exceção dos tijolos comuns, que possuíam uma superfície já bastante nivelada, os outros tijolos passaram também pelo processo de capeamento, onde foi aplicado pasta de cimento também nas faces externas para que as mesmas ficassem planas e não interferissem nos resultados do ensaio (Figura 23).

Figura 23: Processo de colagem dos tijolos



a) Aplicação de pasta para a colagem; b) Umedecimento da face para o capeamento; c) Face inferior capeada e verificação do nível. (Foto: Autoria própria, 2018).

Após ser finalizado capeamento, orientado pela ABNT NBR 8492 (2012) os tijolos foram colocados em água por pelo menos 6 horas antes de serem rompidos (Figura 24). Antes disso foi feita a identificação dos tijolos, tirada suas medidas para que fosse calculado a área da superfície a fim de obter a tensão máxima e em seguida feita a imersão dos mesmos em água.

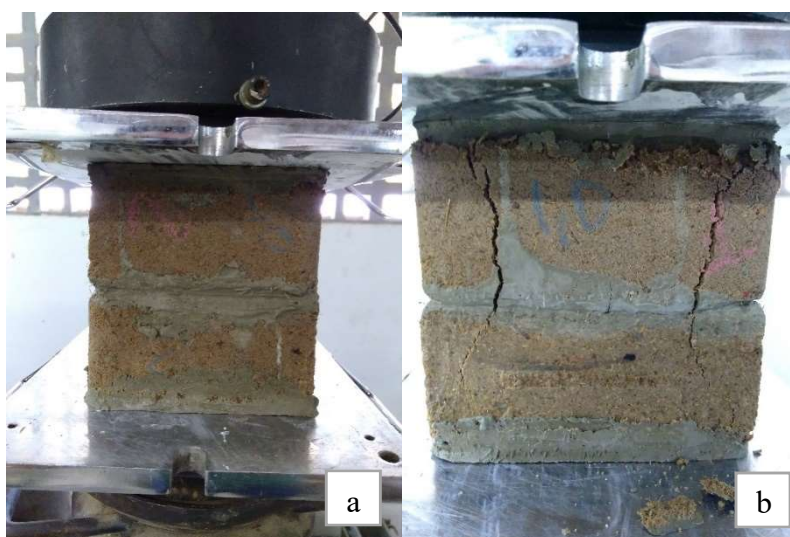
Figura 24: Finalização da preparação para o ensaio de resistência à compressão



a) Tijolos capeados e identificados; b) Tijolos imersos em água. (Fonte: Autoria própria, 2018).

Seguindo as recomendações da norma os tijolos foram retirados da água antes da ruptura e secados superficialmente com um pano e colocados no prato inferior da prensa para a realização do ensaio. O ensaio de resistência à compressão aconteceu no Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) - Campus Mossoró numa prensa servo-hidráulica Emic, modelo PC 200CS a uma velocidade de 500 N/s (Figura 25).

Figura 25: Ensaio de resistência à compressão



a) Tijolo posicionado na prensa para o ensaio; b) Tijolo rompido após ensaio. (Fonte: Autoria própria, 2018).

De posse dos dados do ensaio, no caso a força máxima aplicada e da área média das superfícies dos tijolos pode-se obter a resistência em megapascals (MPa) pela Equação 5.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

f_t = resistência à compressão simples expressa em megapascals (MPa);

F = carga de ruptura do corpo de prova, expressa em newtons (N);

S = área de aplicação da carga expressa em milímetros quadrados (mm²).

4.2.6 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água aconteceu no LAMESP da UFERSA – Campus Mossoró. Após completados os 7 dias de cura, os 3 tijolos restantes de cada traço foram identificados e colocados na estufa à 105 °C durante 24 horas para que fosse retirada toda a umidade. Em seguida estes foram pesados para registrar suas massas secas em gramas (g). Na sequência foram imersos em água durante 24 horas para que se saturassem. Completado o período, retirou-se os tijolos da água sendo feita a remoção do excesso de água. Por fim estes eram pesados para obter a massa saturada da amostra (Figura 26).

Figura 26: Ensaio de absorção de água



a) Tijolos na estufa; b) Tijolos imersos em água. (Fonte: Autoria própria, 2018).

De acordo com a ABNT NBR 8492 (2012) os valores individuais de absorção dos tijolos expressos em porcentagem são obtidos pela Equação 6.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

A = absorção de água, expressa em porcentagem (%);

m₁ = massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m₂ = massa do corpo de prova saturado, expresso em gramas (g).

4.2.7 Composição dos traços de massa

A confecção dos tijolos comuns, com fibra beneficiada e sem beneficiamento foi realizada de acordo com os traços expostos na Tabela 6, observando-se que para cada traço foram produzidos 6 tijolos, onde cada tijolo ficou denominado como corpo de prova (CP). Totalizou-se 60 unidades classificadas pelas seguintes formulações: os tijolos sem fibra de coco ficaram nomeados como TS6, TS8, TS10 e TS12. Os tijolos com fibra de coco triturada ficaram formulados como TF05, TF1 e TF2. Os tijolos com a fibra de coco não triturada foram denominados de TN05, TN1 e TN2.

Tabela 6: Formulações com a composição dos tijolos confeccionados

Tijolos sem e com fibra de coco					
Tipos de formulações (traços)	(%) solo	(%) cimento	(%) fibra de coco	Volume de água (ml)	Nº de corpos de prova
TS6	94,0	6,0	0,0	1602	6
TS8	92,0	8,0	0,0	1602	6
TS10	90,0	10,0	0,0	1602	6
TS12	88,0	12,0	0,0	1602	6
TF05	90,0	9,5	0,5	1602	6
TF1	90,0	9,0	1,0	1602	6
TF2	90,0	8,0	2,0	1602	6
TN05	90,0	9,5	0,5	1702	6
TN1	90,0	9,0	1,0	1702	6
TN2	90,0	8,0	2,0	1702	6

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A caracterização física do solo aconteceu mediante os ensaios de granulometria, limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) de acordo com as normas que estes devem seguir. Com isso pode-se obter o índice de plasticidade (IP), o índice de grupo (IG) e a classificação do solo segundo o método HRB adotado pela AASHTO. A caracterização mecânica aconteceu pelo ensaio de compactação onde obteve-se a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima do solo. Os resultados de caracterização física e mecânica estão representados na Tabela 7.

Tabela 7: Características físicas e mecânicas do solo

Caracterização do solo	
Característica	Amostra
Passante na peneira nº 4 (4,80 mm) em (%)	98,54
Passante na peneira nº 10 (2 mm) em (%)	93,01
Passante na peneira nº 40 (0,42 mm) em (%)	72,10
Passante na peneira nº 200 em (%)	50,68
Limite de liquidez - LL (%)	30,00
Limite de plasticidade - LP (%)	21,00
Índice de plasticidade - IP (%)	9,00
Classificação HRB	A - 4
Índice de Grupo (IG)	4
Umidade ótima (%)	11,95
Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	1,37

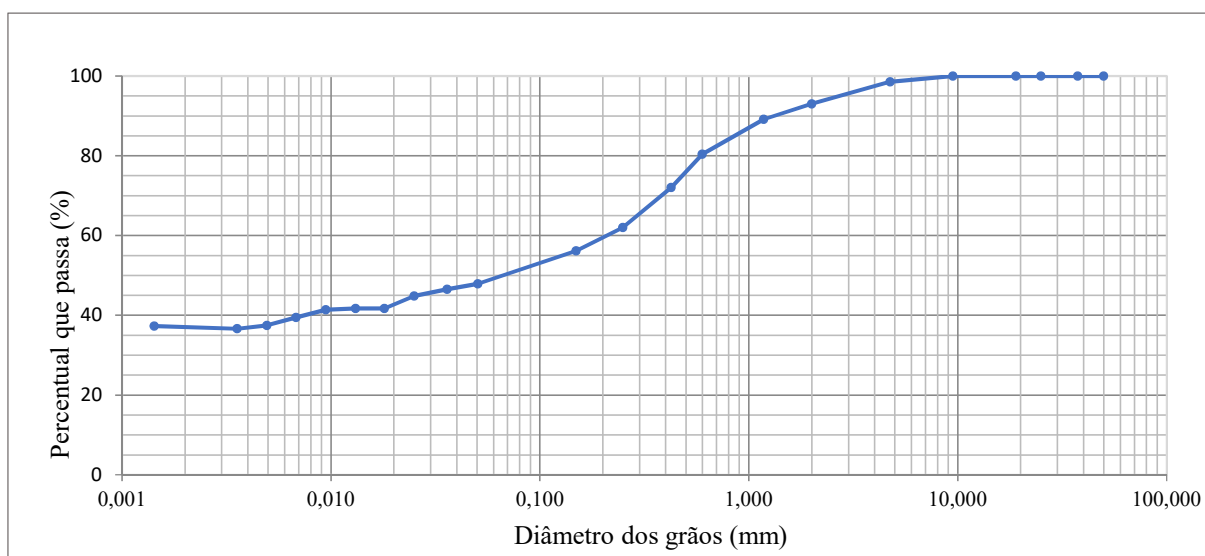
Fonte: Autoria própria, 2018.

Pela classificação do método HRB o solo é do tipo A - 4, ou seja, é um solo arenoso com uma média parcela de grãos finos. De acordo com as recomendações da ABNT NBR 10833 (2012) e o boletim da ABCP (2000) citados anteriormente, o solo utilizado se constitui como um material adequado para a produção dos tijolos. Ambos sugerem que um solo adequado deve possuir 100% do solo passante na peneira de nº 4 (4,88 mm) e o solo apresentou 98,54%. Apesar de não ter apresentado o valor recomendado, no momento de confeccionar os tijolos foram desprezadas as partículas de tamanho maior sendo apenas empregado as partículas passantes na

peneira de abertura de 4,8 mm, atendendo a recomendação. A norma também indica que deve haver passante na peneira n° 200 cerca de 10% a 50% e obteve-se um percentual de 50,68%, ficando próximo do indicado, não sendo assim um diferencial que fosse interferir na confecção dos tijolos. Ainda conforme as exigências o limite de liquidez deve ser menor ou igual a 45% e o índice de plasticidade menor ou igual a 18%. Observando a tabela percebe-se que esses requisitos foram atendidos, ou seja, o solo apresenta as especificações necessárias para a confecção dos tijolos.

A partir dos ensaios de caracterização do solo também foi possível obter a curva granulométrica do solo observada no Gráfico 1.

Gráfico 1: Distribuição granulométrica do solo empregado para a confecção dos tijolos



Fonte: Autoria própria, 2017.

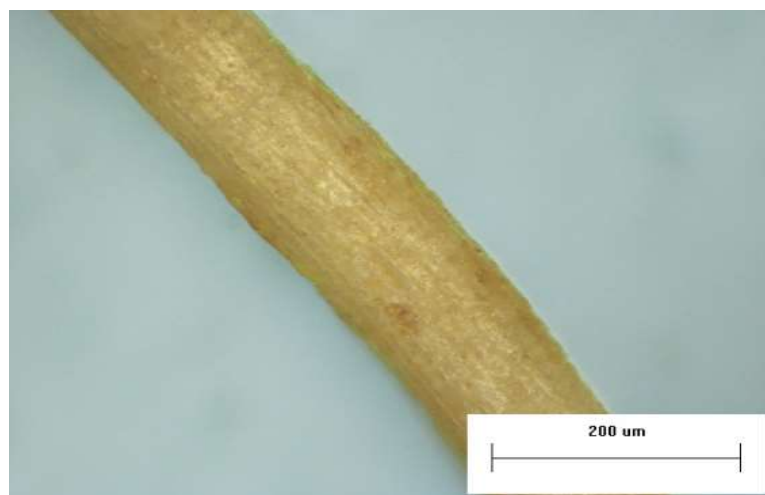
A partir do gráfico pode-se perceber que ficaram retidos materiais em todas as peneiras com dimensão inferior a 10 mm, mostrando que havia partículas de várias dimensões, caracterizando-se como um material bem graduado. Conforme o tamanho das partículas, a ABNT NBR 6502 (1995) classifica a areia variando o seu diâmetro de 0,06 a 2 mm, e o gráfico possibilita obter assim um percentual de aproximadamente 44 % de areia, o que confirma ainda mais o fato do solo ser apropriado já que segundo literatura os mesmos devem possuir um teor de areia entre 45% e 50%, e o mesmo apresentou um valor aproximado. Além disso a ABCP (2000) ressalta a existência de argila para dar à mistura coesão suficiente para a desmoldagem após a prensagem, e conforme o gráfico esse teor de argila também é percebido.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO

5.2.1 Microscopia

Com relação a caracterização da fibra de coco, importante para saber possíveis influências que a mesma proporcionaria a matriz, foi realizada uma análise microscópica onde conseguiu-se analisar melhor a superfície da fibra (Figura 27). Um dos fatos de maior dificuldade segundo Agopyan (1991) com relação as fibras vegetais em matrizes é justamente o fato das mesmas não resistirem muito bem em meio alcalino. Isso ocorre devido a decomposição química da lignina e hemicelulose, que resulta na destruição do arranjo estrutural das fibrilas proporcionando uma perda principal com relação a função das fibras, que seria de reforço. Segundo literatura citada, a Figura 27 evidencia um dos fatos da fibra de coco ser uma das que mais resistem em meio alcalino. A mesma possui uma estrutura externa coberta por uma camada com baixa permeabilidade, sofrendo consequentemente um menor ataque.

Figura 27: Superfície externa da fibra de coco aumentada em 200 vezes



Fonte: Autoria própria, 2018.

Além disso com a análise, pode-se determinar o diâmetro médio da fibra com marcações ao longo de um pequeno pedaço desta, obtendo um diâmetro médio de 128, 77 μm (Figura 28). Foi possível perceber que apesar de possuir irregularidades na superfície, as mesmas eram mais uniformes. Como observado nas Figuras 27 e 28, as cavidades eram rasas, e isso pode ter influenciado na transferência dos esforços resistidos pela fibra, já que a presença de cavidades mais profundas propicia uma maior aderência da fibra inserida na matriz.

Figura 28: Medições realizadas ao longo da fibra aumentada em 100 vezes



Fonte: Autoria própria, 2018.

5.2.2 Absorção de água

Os resultados do ensaio de absorção de água expressos na Tabela 8 mostram que a fibra apresentou uma taxa de absorção relativamente alta, obtendo um valor médio de 284%, se comparado com os valores apresentados por Agopyan (1991), comentado na revisão de literatura.

Tabela 8: Taxa de absorção das fibras de coco

Amostras	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	Taxa de absorção (%)	Média (%)
Amostra 1	3,21	12,58	292	284
Amostra 2	4,51	15,41	242	
Amostra 3	3,19	13,32	318	

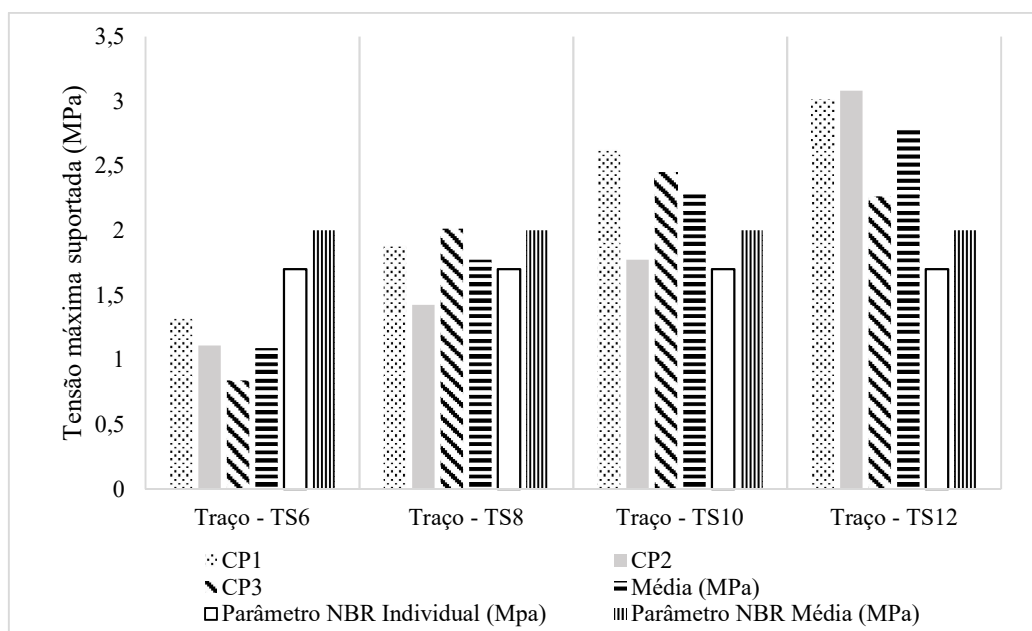
Fonte: Autoria própria, 2018.

5.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

5.3.1 Tijolos comuns

Como já mostrado na metodologia, para a execução do ensaio de resistência à compressão simples, para os tijolos comuns foram utilizados quatro traços variando o teor de cimento a fim de obter o menor deles que estabilizasse o solo. Os valores da tensão máxima obtida individualmente assim como a sua média estão expostos no Gráfico 2, onde também estão os parâmetros exigidos pela norma.

Gráfico 2: Resistência à compressão dos tijolos comuns



Fonte: Autoria própria, 2018.

A partir dos dados foi elaborado a Tabela 9 para analisar quais deles se enquadravam com as exigências da ABNT. De acordo com esta, a resistência individual não pode ser inferior a 1,7 MPa e a média não pode ser inferior a 2,0 MPa. A partir disso os teores de 10% e 12% atenderam aos requisitos da norma se qualificando para serem empregados na construção civil. Como o intuito do trabalho era empregar o menor teor de cimento que atendesse a norma, adotou-se como traço base para a confecção dos tijolos com fibra de coco o traço em que tinha 10% em massa de cimento, e a partir disso substituir certa quantidade desse teor por fibra de coco.

Tabela 9: Comparação dos resultados de resistência à compressão dos tijolos comuns com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012)

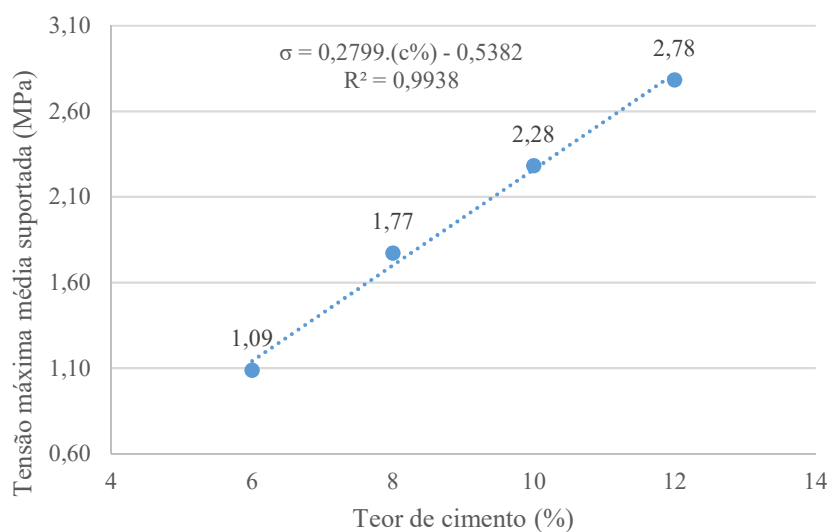
Traços								Parâmetros da NBR 8491	
TS6		TS8		TS10		TS12			
Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)	
Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média
1,32		1,88		2,62		3,01			
1,11	1,09	1,42	1,77	1,77	2,28	3,08	2,78	≥ 1,7	≥ 2,0
0,84		2,01		2,45		2,26			

Fonte: Autoria própria, 2018.

A partir dos resultados obtidos com os tijolos comuns, praticamente foi possível perceber a existência de uma relação diretamente proporcional entre o aumento da resistência média dos tijolos e o aumento do teor de cimento, como evidenciado no Gráfico 3. Isso acontece porque o cimento é o principal componente com relação ao aumento da resistência. De acordo com o gráfico foi obtida a Equação 7, onde a resistência (σ) está relacionada diretamente com o aumento do teor de cimento (c%).

$$\sigma = 0,2799.(c\%) - 0,5382 \quad \text{Eq. 7}$$

Gráfico 3: Relação linear entre a resistência e o teor de cimento

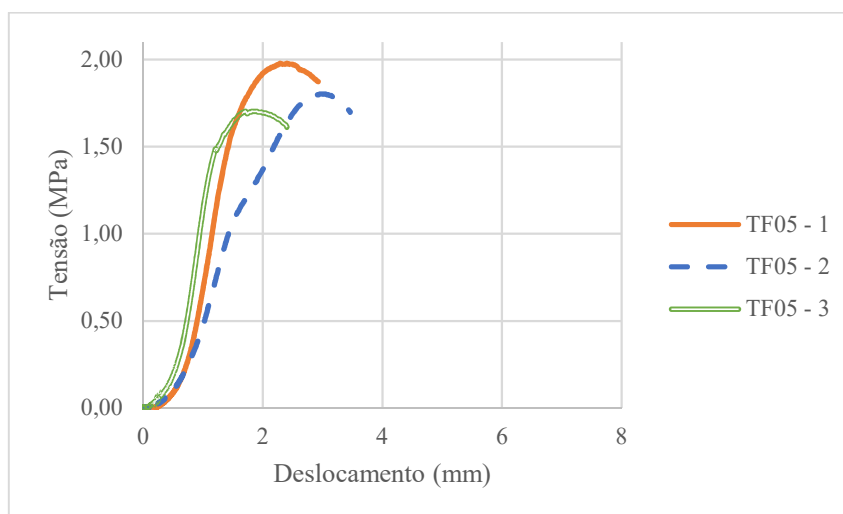


Fonte: Autoria própria, 2018.

5.3.2 Tijolos com fibra de coco triturada

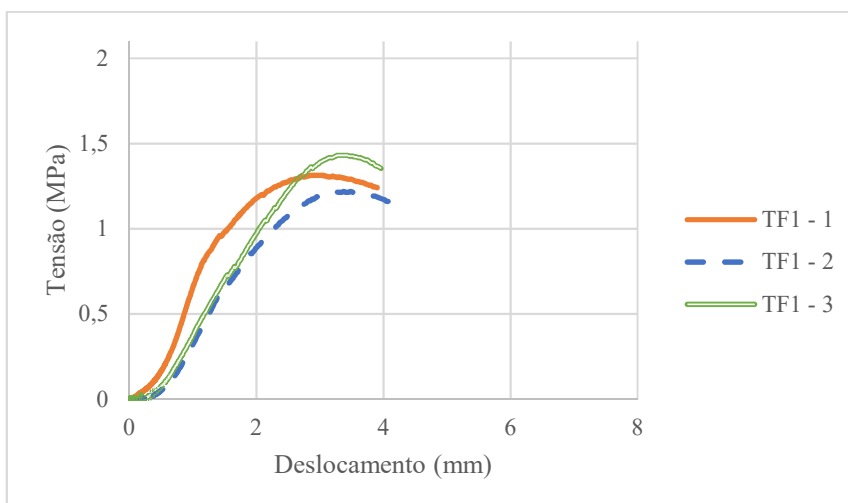
Como explicado anteriormente, o menor teor de cimento que satisfizes as condições da norma foi o de 10%. Dessa forma foram feitos traços onde se utilizou 9,5% de cimento com 0,5% de fibra de coco triturada, 9,0% e 1,0% de cimento e fibra de coco respectivamente e 8,0% e 2,0% de cimento e fibra. A partir dos ensaios foram elaborados os Gráficos (Tensão x Deslocamento) 4, 5 e 6 que permitissem observar o comportamento dos tijolos durante o ensaio. Um dos fatos principais além de poder observar a tensão máxima alcançada com esses gráficos, foi perceber que a medida que se aumentou o teor de fibra na mistura, mais os tijolos sofreram deslocamento. Por exemplo, o traço com 0,5% de fibra alcançou aproximadamente 2,5 a 3,5 mm, o traço com 1,0% em torno de 4,0 mm e o de 2% ficou entre 6,5 e 7,5 mm, mostrando assim a plasticidade que a fibra apresentou a mistura.

Gráfico 4: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 0,5% de fibra triturada



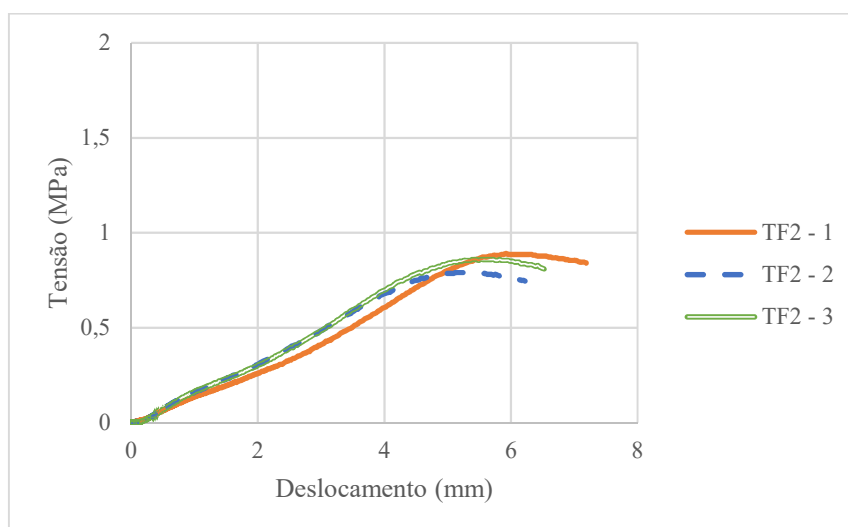
Fonte: Autoria própria, 2018.

Gráfico 5: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 1,0 % de fibra triturada



Fonte: Autoria própria, 2018.

Gráfico 6: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 2,0 % de fibra triturada



Fonte: Autoria própria, 2018.

As tensões máximas obtidas para cada tijolo assim como a média de cada traço estão expostas na Tabela 10, assim como o que exige a ABNT NBR 8491 (2012), a fim de se comparar os resultados. Consegue-se observar que nenhum dos traços atendeu o que exige a norma, sendo o traço com 0,5 % de fibra o que mais se aproximou. Neste, os tijolos atingiram resistência individual maior ou igual a 1,7 MPa atendendo a norma, mas a média não foi superior a 2,0 MPa, desqualificando assim o traço.

Tabela 10: Comparativo dos resultados de resistência à compressão com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos com fibra de coco triturada

Traços						Parâmetros da NBR 8491	
TF05		TF1		TF2			
Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)	
Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média
1,98		1,31		0,89			
1,80	1,83	1,22	1,32	0,79	0,85	≥ 1,7	≥ 2,0
1,70		1,43		0,86			

Fonte: Autoria própria, 2018.

Levando em consideração a aproximação feita no gráfico 3, para um comportamento linear da resistência máxima média suportada em função do aumento de cimento, pode-se fazer hipoteticamente uma previsão de quais seriam as resistências esperadas para os teores de cimento empregados na confecção dos tijolos com fibra. A partir da equação, observou-se que os valores obtidos pelos tijolos com fibra triturada apresentaram redução da resistência se comparada a análise hipotética (Tabela 11). Um dos motivos que pode ter ocasionado o fato seria o que foi evidenciado na análise microscópica. Nesta, a fibra de coco não apresentou cavas profundas, razão essa que proporcionaria uma melhor aderência e também a transferência dos esforços resistidos pela fibra. Uma possível tentativa de melhorar isso de acordo com Cunha (2012) seria colocar a fibra imersa em uma solução de água com 4% de hidróxido de sódio, por cerca de uma hora, a fim de realizar uma limpeza para retirada de impurezas, ceras, gorduras melhorando assim a aderência da fibra inserida na matriz solo-cimento.

Tabela 11: Comparativo entre a tensão obtida pelo ensaio de resistência à compressão e pela equação da reta gerada.

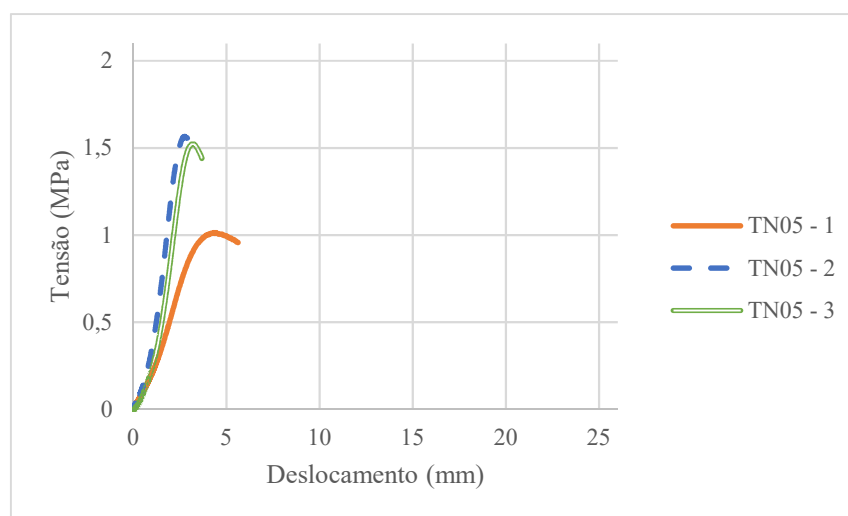
Equação 7: Tensão (σ) = 0,2799*(c%) - 0,5382			
Traço	Tensão média obtida (MPa)	Tensão média a partir da equação (MPa)	Redução (%)
TF05	1,83	2,12	13,68
TF1	1,32	1,98	33,33
TF2	0,85	1,70	50,00

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.3.3 Tijolos com fibra de coco não triturada

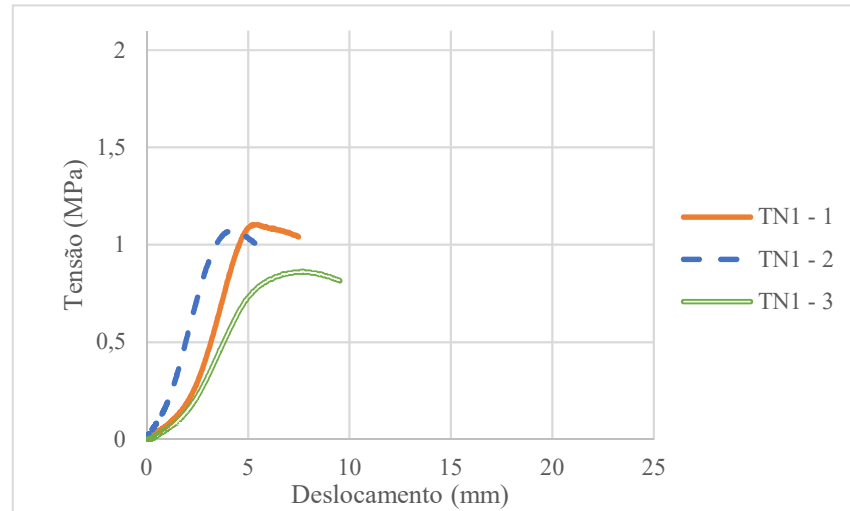
Igualmente como aconteceu com os tijolos de fibra triturada, também se produziram tijolos com a fibra não triturada, a fim de fazer um comparativo entre os dois tipos para observar qual se sairia melhor. Com isso foram obtidos os Gráficos (Tensão x Deslocamento) 7, 8 e 9. Foi possível perceber com os resultados que os tijolos com a fibra não triturada sofreram um deslocamento maior que os tijolos de fibra beneficiada. Além disso observou-se que o comportamento dos tijolos em um mesmo traço foi um pouco diferente, principalmente para o traço em que tinha 2,0% de fibra. Isso ocorreu possivelmente pela dificuldade de homogeneização da mistura. Consequentemente o tijolo confeccionado apresentou regiões que haviam concentração de fibras enquanto outras haviam uma concentração maior de solo (Figura 29), resultado assim em um tijolo não uniforme, o que pode ter provocado esse comportamento.

Gráfico 7: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 0,5% de fibra não triturada



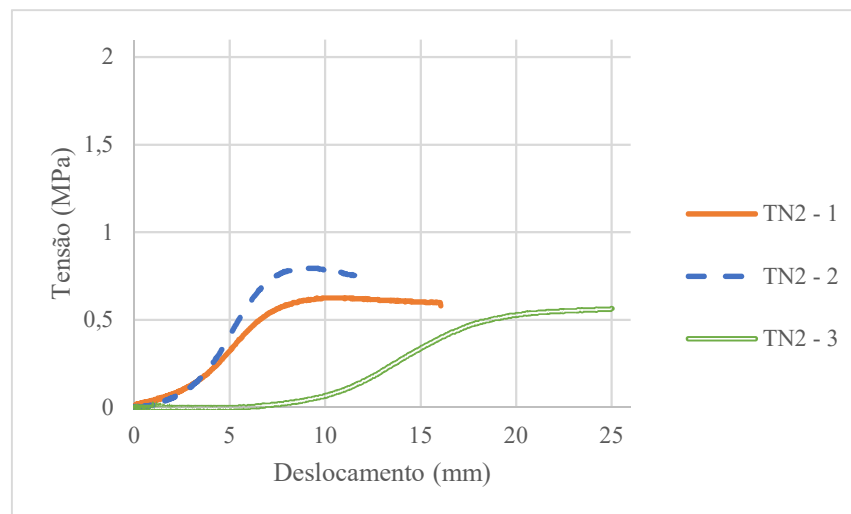
Fonte: Autoria própria, 2018.

Gráfico 8: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 1,0 % de fibra não triturada



Fonte: Autoria própria, 2018.

Gráfico 9: Tensão x Deslocamento para os tijolos com 2,0 % de fibra não triturada



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 29: Tijolo apresentando não uniformidade da distribuição das fibras



Fonte: Autoria própria, 2018.

O resultado individual e a média para cada traço da resistência à compressão simples ficam evidentes na Tabela 12. A mesma mostra que assim como os traços com fibra triturada, os traços de fibra não triturada mostraram resultados abaixo do que indica a norma. Além disso os resultados foram inferiores ao traço com as fibras trituradas. Isso se confirma possivelmente pelo fato das fibras apresentarem tamanhos variados, o que dificultou a homogeneização da mistura, se concentrando mais em umas regiões do que outras.

Tabela 12: Comparativo dos resultados de resistência à compressão com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos com fibra de coco não triturada

Traços						Parâmetros da NBR 8491	
TN05		TN1		TN2			
Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)	
Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média
1,01		1,10		0,63			
1,57	1,37	1,07	1,01	0,79	0,66	≥ 1,7	≥ 2,0
1,52		0,86		0,57			

Fonte: Autoria própria, 2018.

Assim como foi feito com os tijolos triturados, foi realizado uma comparação entre a resistência máxima média obtida pelos tijolos com fibra não triturada e a resistência esperada

hipoteticamente pela Equação 7. Pode-se perceber na Tabela 13, que as tensões atingidas pelos tijolos apresentaram uma redução da resistência se comparado ao esperado pela equação, onde o traço com 2 % de fibra mostra uma possível redução de aproximadamente 61%.

Tabela 13: Comparativo entre a tensão obtida pelo ensaio de resistência à compressão e pela equação da reta gerada para os tijolos com fibra não triturada

Equação 7: Tensão (σ) = 0,2799*(c%) - 0,5382			
Traço	Tensão média obtida (MPa)	Tensão média a partir da equação (MPa)	Redução (%)
TN05	1,37	2,12	35,38
TN1	1,01	1,98	48,99
TN2	0,66	1,70	61,18

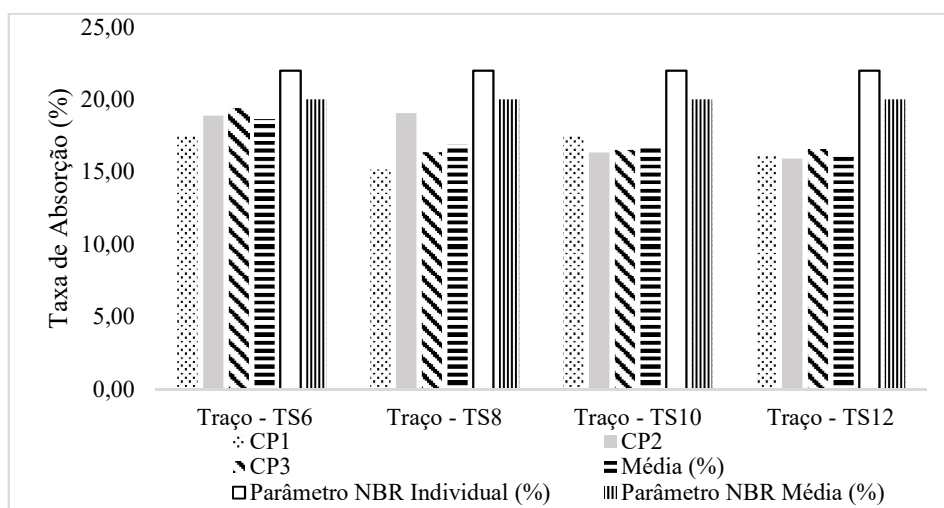
Fonte: Autoria própria, 2018.

5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

5.4.1 Tijolos comuns

Além da análise de resistência à compressão, também foi executado o ensaio de absorção de água para todos os traços utilizando 3 amostras de cada um. O gráfico 10 mostra a taxa de absorção individual e também a média para cada traço, assim como os parâmetros da NBR 8491 (2012).

Gráfico 10: Taxa de absorção de água dos tijolos comuns



Fonte: Autoria própria, 2018.

Quanto a taxa de absorção, a norma estabelece que os tijolos devem apresentar um valor individual menor ou igual a 22% e uma média menor ou igual a 20%. A partir disso observou-se que todos os traços compostos somente de solo-cimento atenderam ao padrão exigido pela ABNT NBR 8491 (2012). Também foi possível perceber uma relação inversamente proporcional entre a taxa de absorção e o teor de cimento, pois a medida que o teor de cimento aumentou na mistura, a taxa de absorção diminuiu. Isso aconteceu possivelmente pelo fato das partículas de cimento preencherem melhor os espaços deixados pelos grãos do solo, evitando assim que esse espaço fosse preenchido por água. Os dados a serem analisados com a norma estão expostos na Tabela 14.

Tabela 14: Comparativo dos resultados da taxa de absorção de água com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos comuns

Traços								Parâmetros da NBR 8491	
TS6		TS8		TS10		TS12			
Absorção (%)		Absorção (%)		Absorção (%)		Absorção (%)		Absorção (%)	
Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média
17,48		15,18		17,55		16,09			
18,89	18,59	19,06	16,87	16,34	16,80	15,93	16,20	≤ 22	≤ 20
19,39		16,36		16,52		16,60			

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.4.2 Tijolos com fibra de coco triturada

A Tabela 15 apresenta os resultados obtidos para a taxa de absorção dos tijolos com a fibra de coco triturada. A partir destes pode-se observar que apenas o traço com 2% de fibra não atendeu aos padrões da norma, já que sua taxa de absorção média foi superior a 20%. O traço que continha 0,5% de fibra apresentou a menor taxa de absorção, inclusive inferior à dos tijolos que apresentavam um teor maior de cimento. É possível que as partículas da fibra de coco possam ter preenchidos espaços que foram deixados pelo solo e também pelos grãos de cimento. A medida que se aumentou o teor de fibra passou a prevalecer a absorção de água que a mesma possui, o que contribuiu em um aumento significativo na absorção de água do composto. Por exemplo, o traço que era constituído por 8% de cimento e 2% de fibra teve uma absorção média de 20,26%, onde o tijolo comum com o mesmo teor de cimento apresentou 16,20 %.

Tabela 15: Comparativo dos resultados da taxa de absorção de água com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos com fibra de coco triturada

Traços						Parâmetros da NBR 8491	
TF05		TF1		TF2			
Absorção (%)		Absorção (%)		Absorção (%)		Absorção (%)	
Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média
-		16,07%		19,62%			
14,78	14,53	15,83%	16,04%	20,91%	20,26%	≤ 22	≤ 20
14,28		16,21%		20,24%			

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.4.3 Tijolo com fibra de coco não triturada

A inserção de fibra não triturada na matriz de solo-cimento resultou em um aumento da taxa de absorção, como pode ser visto na Tabela 16. Em função disso, o único traço que atendeu as exigências da norma foi o que continha 0,5% de fibra, e mesmo assim atingiu uma média de aproximadamente 20%. Isso aconteceu possivelmente como citado em literatura, onde a fibra por estar em tamanhos maiores dentro da matriz, apresentou uma absorção de água consideravelmente alta em função do volume de vazios.

Tabela 16: Comparativo dos resultados da taxa de absorção de água com os parâmetros da ABNT NBR 8491 (2012) dos tijolos com fibra de coco não triturada

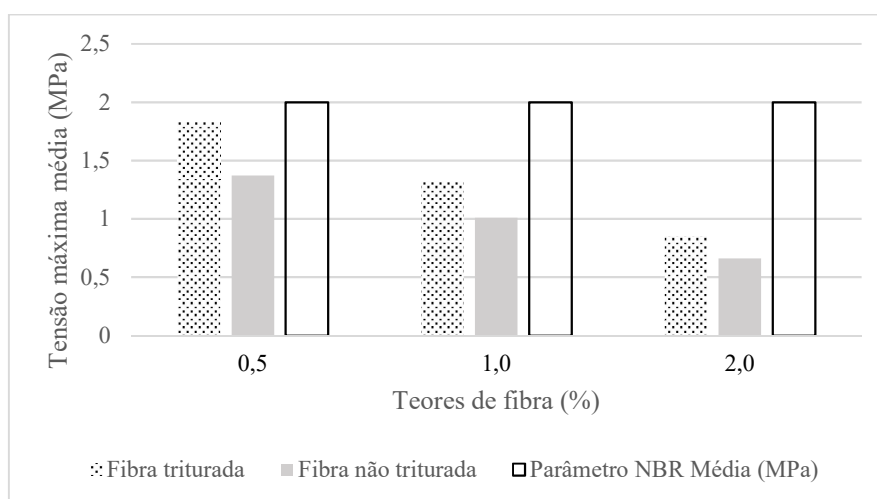
Traços						Parâmetros da NBR 8491	
TN05		TN1		TN2			
Absorção (%)		Absorção (%)		Absorção (%)		Absorção (%)	
Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média
20,62%		23,16%		25,70%		≤ 22	≤ 20
19,80%	19,94%	23,00%	23,70%	26,35%	26,82%		
19.41%		24,92%		28.42%			

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.5 COMPARATIVO ENTRE OS TIJOLOS COM FIBRA TRITURADA E NÃO TRITURADA

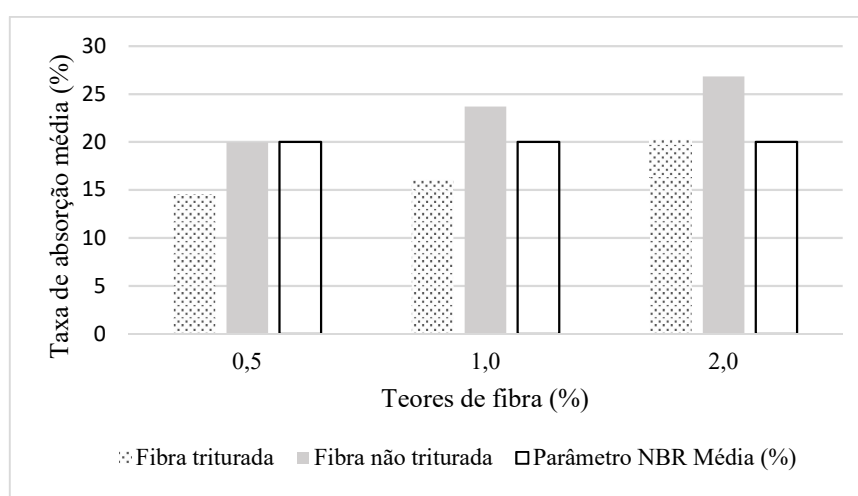
Fazendo o comparativo com relação a resistência média à compressão, a partir dos resultados obtidos percebeu-se que os tijolos que tinham a fibra triturada atingiram resultados melhores que os tijolos com fibra não triturada (Gráfico 11). Quanto a taxa de absorção, os tijolos com fibra triturada apresentaram taxas médias menores se comparado aos de fibra não triturada, podendo esse fato ser observado na Gráfico 12.

Gráfico 11: Comparativo entre a resistência máxima média dos tijolos com fibra e a NBR 8491 (2012)



Fonte: Autoria própria, 2018.

Gráfico 12: Comparativo entre a absorção média dos tijolos com fibra e a NBR 8491 (2012)



Fonte: Autoria própria, 2018.

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho consistiu na elaboração de tijolos de solo-cimento com fibra de coco triturada e não triturada e em uma análise físico-mecânica, visando sua utilização na construção civil.

O solo utilizado para a realização da pesquisa apresentou propriedades adequadas para confecção dos tijolos de solo-cimento, de tal forma que um teor de 10% em massa de cimento possibilitou conseguir valores mínimos de resistência e uma taxa de absorção de água conforme exigências normativas.

Os testes de resistência à compressão indicaram que a substituição de parte do teor de cimento pela fibra de coco resultou numa redução da resistência mecânica do material, sendo mais significativa para um maior teor de fibra de coco.

A inclusão da fibra na matriz de solo-cimento, substituindo parte do cimento, resultou em um aumento de absorção de água em todos os traços em que a fibra estava inteira. Situação diferente ocorreu na utilização da fibra triturada que proporcionou aumento quando comparado ao tijolo comum com 10% de cimento apenas no traço com 2% de fibra.

A partir dos resultados de resistência à compressão e absorção, os tijolos fabricados com fibra triturada forneceram melhores resultados em relação aos tijolos com fibra não triturada. Porém, a substituição de parte do cimento por fibra propiciou um tijolo inadequado para a construção civil.

Como sugestão de pesquisas futuras orienta-se confeccionar os tijolos com a mesma metodologia empregada, realizando a limpeza da fibra. Além disso, podem ser empregadas fibras cortadas com comprimento uniforme, ao invés de triturá-las. Pode-se, ainda, realizar a análise de outras propriedades como as térmicas e desempenho acústico.

Sugere-se ainda que sejam realizados ensaios de caracterização mecânica da fibra de coco, principalmente ensaios de tração, de forma que possa ser estabelecida uma correlação entre suas propriedades e seus efeitos nos tijolos.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: O uso de fibras vegetais**. 1991. 99 f. Tese (Doutorado) -

Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3. ed. São Paulo: ABCP, 2000. 19 p. (BT – 111).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p. (Bt-106). Disponível em:

<http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5736: **Cimento portland pozolânico**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: **Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502 – **Rochas e solos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: **Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Solo - Análise Granulométrica**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: **Solo - Ensaio de compactação**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: **Tijolo de solo-cimento - Requisitos**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492: **Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: **Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 7 p.

BLEDZKI, A.k.; GASSAN, J.. **Composites reinforced with cellulose based fibers**. Prog. Polym. Sci, Kassel, v. 24, p.221-279,1999.

BLÜCHER, E. (1951). **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários – volume 1**. São Paulo, Blücher.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 248 p.

CASTILHOS, Lisiane Fernanda Fabro de. **Aproveitamento da fibra de coco** Insituto de Tecnologia do Paraná. .Paraná: Tecpar, 2011. 29 p.

COOK, D. J. (1980) **Concrete and cement composites reinforced with natural fibres**. In: C180: FIBROUS CONCRETE, London, 1980. Proceedings. London, Concrete Society. P. 99-114.

CUNHA, Paulo Waldemiro Soares. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibra de coco seco para aplicação na construção civil**. 2012. 120 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12847/1/PauloWSC_TESE.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2018.

DANTAS, Valter Bezerra. **Desenvolvimento de blocos de solo cimento utilizando argissolo com incorporação de material armazenador de calor por mudança de fase (MMFs)**. 2015. 141 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

FERREIRA FILHO, Efren de Moura. **Construção com solo-cimento**. 2014. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo7.htm>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

FIQUEROLA, Valentina. **Alvenaria solo-cimento**. Revista Técnica, número 85, 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 180 f. , Escola de Engenharia de São Carlos Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Cap. 3.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. (1994). **Earth construction: a comprehensive guide**. IT publications, p.362.

IZQUIERDO, Indara Soto. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2011. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

LADCHUMANANANDSAIVAM, Rasiah. Apostila – **Ciência dos polímeros e engenharia das fibras I**. 2006, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

LOPES, Wilza Gomes Reis. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. 2002. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Construções Rurais e Ambiente), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MIELLI, Priscila Henriques. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. 2009. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Mateirais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em:
<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003721.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

MOTTA, Jéssica Campos Soares Silva et al. **Tijolo de solo cimento: análises das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Exacta, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p.13-26, 31 maio 2014. Disponível em:
<<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/viewFile/1038/665>>. Acesso em 18 de março de 2016.

NASCIMENTO, Claudio Mario. **Estudo da fibra de coco como reforço em tijolo de solo-cimento**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em:
<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/15675/1/ClaudioMN_DISSERT.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2018.

NEVES, Célia Maria; CARNEIRO, Alex Pires; COSTA, Dayana Bastos.. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA, Caixa Econômica Federal, 2001. p. 228-261.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2, ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 472 p.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Cimento Portland. In: BAUER, Luis Alfredo Falcão. **Materiais de Construção: 1**. 5. ed. Minas Gerais: Ltc, 2011. Cap. 3. p. 35-62.

PICANÇO, Marcelo de Souza. **Compósitos cimentícios reforçados com fibra de curauá**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RIBEIRO, Lincoln Ronyere Cavalcante. **Processo de produção e viabilidade do tijolo modular de solo-cimento na construção civil no estado do RN**. 2013. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

ROSÁRIO, Thaís do; TORRESCASANA, Carlos Eduardo Nunes. **Tijolos de solo-cimento produzidos com resíduos de concreto**. 2011. 15 f. Artigo Científico - Curso de Engenharia Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2011. Disponível em: <<https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1508.pdf>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

SALA, Lia Geovana. **Proposta de habitação sustentável para estudantes universitários**. 2006. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tcc-titulos/2006/Proposta_de_Habitacao_Sustentavel_para_Estudantes_Universitarios.pdf>. Acesso em: 17 de dezembro de 2017.

SARTORI, Guilherme. **Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão**. 2015. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6672/1/CM_COECI_2015_2_13.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2017.

SAVASTANO JR, H. AGOPYAN, V. OLIVEIRA, L. **Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios**. Jaboticabal, Engenharia Agrícola, v. 17, n. 1, p. 113-124. 1997.

SILVA, Luiz Cláudio Ferreira da; MENDES, José Ubiragi de Lima; MARINHO, George Santos. **Fibras de coco como indutor de isolamento térmico em tijolos solo-cimento**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3., 2004, Belém., p.8. Disponível em: <[file:///C:/Users/Estevão/Downloads/46030 \(1\).pdf](file:///C:/Users/Estevão/Downloads/46030%20(1).pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2018.

SILVA, M. S. (2001). **A terra crua como alternativa sustentável para a produção de habitação social**. Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo.

SILVA, Moema Ribas. O uso do solo-cimento na construção. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção: 2**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. p. 704-729.

SILVA, Sandra Regina da. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. 2005. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/239M.PDF>>. Acesso em: 07 fev. 2018.

TEIXEIRA FILHO, Fernando José. **O solo-cimento e suas aplicações**. 2. ed. São Paulo: ABCP, 1996. 28 p. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/BT-117.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2018.