

EMPREGO DE FIBRAS VEGETAIS PARA REDUÇÃO DO TEOR DE CIMENTO EM TIJOLOS ECOLÓGICOS

III Congresso Online de Engenharia de Materiais. inscrições encerradas, 4^a edição, de 27/04/2021 a 30/04/2021
ISBN dos Anais: 978-65-89908-00-5

PEREIRA; Letícia Azevedo de Farias¹, FILHO; Francisco Estevão Damasceno Filho², ARAÚJO; Duílio Assunção Marçal de Araújo³

RESUMO

RESUMO

O emprego de fibras vegetais na construção civil é visto como uma solução técnica viável, em termos de custos, que traz também o benefício ambiental. Dentre as várias aplicações, há os tijolos ecológicos que são aqueles que não utilizam a queima da matriz argilosa e sim a prensagem de uma mistura de solo, cimento e água. Os tijolos ecológicos podem também ter adição de fibras vegetais para reforço e muitas pesquisas já comprovaram seu benefício. Desse modo, este estudo objetiva avaliar a possibilidade de redução no teor de cimento ótimo de uma mistura de solo-cimento e acréscimo, em igual teor, no percentual de fibras vegetais. Assim, foram substituídos os teores de cimento por fibras em três proporções distintas de 0,5; 1,0 e 2,0% e as fibras utilizadas foram as de sisal e de coco. Diante destas condições verificou-se que o emprego da fibra de sisal com comprimentos médios de 2cm e no percentual de substituição de 2,0% foi o que apresentou melhores resultados.

Palavras-chave: Tijolos de solo-cimento. Sustentabilidade. Consumo de cimento.

ABSTRACT

Vegetal fibers applying on civil construction is seen as viable solution, cost manners, that brings environmental benefits. Among these applications, there ecological bricks, these do not have clay burning on its production only the compaction of soil, cement and water mix. The ecological bricks with vegetal fibers adding for reinforce and many researches have already proven their benefit. Thus, this study aims to evaluate the possibility of reducing the optimum cement content of a mixture of soil-cement and increasing, in equal content, the percentage of vegetable fibers. For this, the cement contents were replaced by fibers in three different proportions of 0.5; 1.0 and 2.0% and the fibers used were sisal and coconut. In view of these conditions, it was found that the use of sisal fiber with an average length of 2 cm and the percentage of substitution of 2.0% was the one that presented the best results.

Keywords: Soil-cement bricks. Sustainability. Cement consumption.

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais os estudiosos da área da construção civil se empenham para encontrar novos materiais que tenham impacto reduzido no meio ambiente, sem perder ou melhorar as características essenciais para o seu emprego.

Os tijolos ecológicos ou tijolos de solo-cimento não precisam da queima da matriz argilosa para que tenham rigidez adequada para o uso. É o resultado da mistura de solo com proporção adequada de argila e areia, cimento e água que quando curada possui propriedades adequadas para o uso em alvenarias. Por não possuir a etapa da queima, estes reduzem o impacto ambiental devido à redução de energia empregada na sua produção, por isso o nome ecológico (CORDEIRO, CONCEIÇÃO e LIMA, 2006).

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

As fibras vegetais vêm sendo testadas em diversos materiais da construção civil como: concreto, argamassas, blocos de gesso, camadas de pavimentação, tijolos, telhas etc. Características como alta tenacidade, alta resistência à abrasão e baixo custo em relação às outras fibras disponíveis no mercado, são grandes atrativos. Segundo Izquierdo (2011) os países de clima tropical, como o Brasil, apresentam abundância e diversidade de cultivos vegetais fornecedores de fibras, o que favorece suas aplicações em elementos da construção civil, melhorando características físicas e mecânicas e permitindo assim um melhor desempenho das estruturas.

Agopyan (1991) em seu trabalho abrangente a respeito do emprego de fibras vegetais como reforço de matrizes frágeis, relacionou cerca de 20 tipos de fibra potencialmente úteis para a construção civil e que as pesquisas, no Brasil e no exterior, concentram-se principalmente fibras de sisal e coco, fartamente disponíveis a preço relativamente baixo. Nascimento (2011) produziu tijolos de solo-cimento com incorporação de fibras de coco e verificou que a maior parte dos traços obtiveram valores superiores ao material sem reforço, ou seja, todos os materiais com incorporação de fibras de coco obtiveram aumento de resistência.

Dessa forma, este artigo visa empregar as fibras de sisal e de coco na produção de tijolos ecológicos com redução em igual teor de cimento para verificar as propriedades mecânicas dos tijolos produzidos.

3 METODOLOGIA

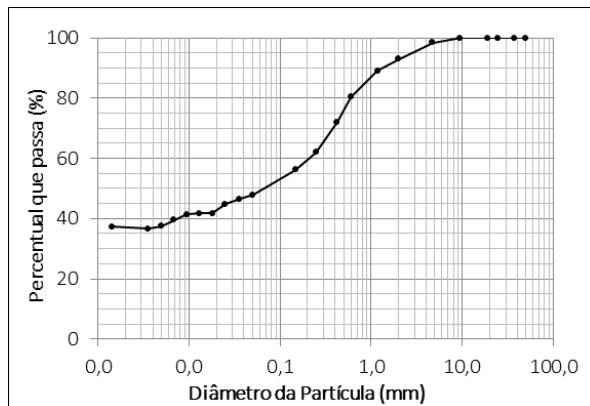
Os procedimentos e ensaios com os materiais e com os tijolos produzidos foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da UFERSA - Campus Mossoró e no Laboratório de Mecânica dos Solos do IFRN – Campus Mossoró.

3.1 Caracterização do solo

O solo utilizado nas misturas foi obtido de uma jazida localizada dentro da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) no município de Mossoró/RN a uma profundidade de 1,5 m do nível de referência.

Realizou-se inicialmente a caracterização física do solo por meio de análise granulométrica e limites de consistência. A granulometria se mostrou de acordo com a curva apresentada na Figura 1. Nota-se que o solo possui por volta de 40% de material fino (silte e argila) e 60% de material granular. Quanto aos limites de consistência foram obtidos valores de limite de liquidez (LL) de 30%, limite de plasticidade (LP) de 21% e, portanto, 9% de índice de plasticidade (IP). Tais características, de acordo com o BT-111 (ABCP, 2000), permitem o emprego deste solo na produção de tijolos ecológicos.

Figura 1 – Curva granulométrica do solo utilizado



Fonte: Autoria própria (2021)

3.2 Dosagem do tijolo de solo-cimento

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

O teor de cimento foi definido seguindo as recomendações das normas vigentes no BT 111 (ABCP, 2000) que correlaciona o percentual de cimento para estabilização de acordo classificação TRB do solo. Como o solo utilizado no estudo tem a classificação A4 o manual recomenda o emprego de um percentual de 10% de cimento, em massa. Desse modo, foram produzidos tijolos com quatro percentuais de cimento, com teores de 6, 8, 10 e 12%, para avaliar qual traço apresentaria o valor mínimo de resistência à compressão requerido.

A quantidade de água inserida nas misturas foi definida inicialmente através do ensaio de compactação do solo com a energia Proctor Normal, através deste determinou-se teor de umidade ótimo de 12% para a condição mais densa do solo. A Tabela 1 apresenta os valores de teor de cimento e água na produção dos tijolos de solo-cimento utilizados como traços de referência.

Tabela 1 – Traços em massa para produção dos tijolos

Traço

Teor de Cimento (%)

Relação A/C

TR-6

6

1,62

TR-8

8

1,215

TR-10

10

0,972

TR-12

12

0,81

Fonte: Autoria própria (2021)

O BT 111 (ABCP, 2000) requere que a resistência média mínima do tijolo do solo-cimento seja de 2,0 MPa aos 7 dias para que o traço possa ser validado. Os resultados do ensaio de resistência à compressão com os tijolos de solo-cimento foram apresentados na Tabela 2. O traço com teor de 10% de cimento foi o que obteve valor acima do limite mínimo e por isso foi adotado como teor ótimo nos traços a serem avaliados com a inserção das fibras.

Tabela 2 – Valores de resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento aos 7 dias

Amostras

Teor de cimento

6%

8%

10%

12%

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

CP-01

1,32

1,88

2,62

3,01

CP-02

1,11

1,42

1,77

3,08

CP-03

0,84

2,01

2,45

2,26

Média (MPa)

1,09

1,77

2,28

2,78

DP

0,196

0,253

0,367

0,371

CV

3,86%

6,41%

13,49%

13,78%

Fonte: Autoria própria (2021)

3.3 Preparo das fibras

As fibras vegetais escolhidas para a pesquisa possuem características físicas diferentes que impedem utilizá-las da mesma maneira nas misturas. As fibras de sisal foram adquiridas em uma loja de materiais agrícolas na cidade de Mossoró e foram preparadas para serem utilizadas sob forma de fios, e por isso foram cortadas em dois tamanhos distintos: com 1 e 2 cm de comprimento. As fibras de coco foram obtidas com um pequeno produtor que fornece o material em sacos de 500 gramas e foram empregadas de duas formas: trituradas em um processador com lâminas metálicas criando um material de pequena dimensão e pó; e sem beneficiamento

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

algum, ou seja, do modo como foram obtidas, o que torna o seu manuseio mais complexo do que a fibra de sisal. A Figura 2 apresenta as fibras conforme foram inseridas nas misturas.

Figura 2 – a) fibra de sisal com 1cm; b) fibra de sisal com 2cm; c) fibras de coco sem beneficiamento; d) fibras de coco com beneficiamento



Fonte: Autoria própria (2021)

3.4 Produção dos tijolos solo-cimento-fibra

Definido o teor de cimento ideal para estabilização com o solo foram determinadas três proporções de substituição do percentual de cimento por fibras (de sisal e coco) em 0,5; 1,0 e 2,0%, em massa.

Foram produzidos 36 corpos de prova, 18 destes com fibra de sisal e outros 18 com fibra de coco. Os CPs com fibra de sisal diferenciavam-se no teor de substituição e na dimensão da fibra empregada (1 e 2cm), os CPs com fibra de coco possuíam diferenciação no teor de substituição e na ocorrência de beneficiamento prévio ou não da fibra.

Para melhor acompanhamento dos resultados as designações correspondentes aos corpos de prova foram TS-YX para os tijolos com adição de sisal, cujo Y refere-se a dimensão da fibra (1 ou 2 cm) e X a porcentagem de fibra adicionada (0,5, 1 ou 2) e TC-WX para os tijolos com adição de coco, no qual o W relaciona-se com a ocorrência de beneficiamento ou não (B=beneficiado e N=não beneficiado) e X com a porcentagem de fibra adicionada, exatamente como definido para os tijolos com fibra de sisal.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão foram seguidas as orientações da NBR 8492 (ABNT, 2012). Inicialmente os tijolos foram cortados ao meio, suas duas partes foram coladas com argamassa de traço definido na referida normativa e posteriormente as amostras coladas e capeadas foram ensaiadas na prensa hidráulica da EMIC SSH300 (Figura 3). Os dados dos ensaios foram obtidos pelo programa associado à prensa: Tesc versão 3.04.

Figura 3 – a) procedimento de corte; b) colagem e capeamento de um CPs de solo-cimento com fibra de sisal; c) tijolo com fibra de sisal ensaiado na prensa

(a)



(b)



(c)



Fonte: Autoria própria (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de resistência à compressão obtidos nos ensaios com os tijolos com fibra de sisal estão apresentados na Tabela 3. A Figura 4 exemplifica de forma gráfica estes resultados bem como compara os valores individuais de cada CP com o valor individual mínimo requerido na NBR 8491 (ABNT, 2012), que é de 1,7 MPa.

Tabela 3 – Resultados de resistência à compressão dos tijolos com fibra de sisal

Amostras

CP-01

CP-02

CP-03

TS-105

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com
² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

1,42

1,32

1,10

TS-11

1,40

1,51

1,26

TS-12

1,23

0,91

1,03

TS-205

1,79

1,76

1,97

TS-21

2,04

1,67

1,12

TS-22

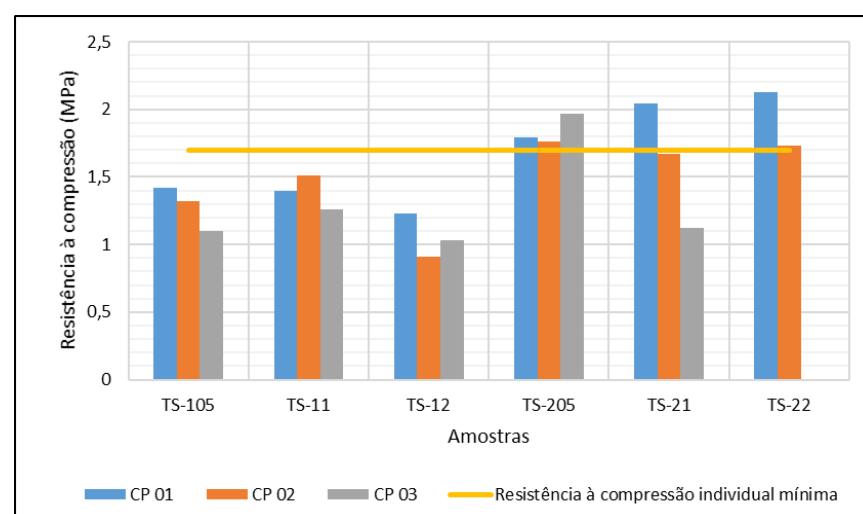
2,13

1,73

-

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 4 – Resistência à compressão individual dos CPs com fibra de sisal



Fonte: Autoria própria (2021)

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

Analisando-se os resultados individuais obtidos para os distintos CPs com fibra de sisal percebe-se que a substituição que proporcionou valores individuais conforme o requerido pela normativa foram prioritariamente as substituições feitas com fibras de 2 cm de comprimento. Todas as substituições com fibras de 1 cm de comprimento não proporcionaram valores de resistência à compressão acima dos 1,7 Mpa requeridos. É importante ressaltar que o CP 03 da amostra TS-22 não pode ser ensaiado devido a problemas na homogeneização da mistura que proporcionaram acúmulo de fibras vegetais em pontos específicos impedindo a união efetiva da matriz de solo e cimento com as fibras e causando separação dos materiais, conforme pode-se observar na Figura 5.

Figura 5 – CP 03 da amostra TS-22



Fonte: Autoria própria (2021)

Na Tabela 4 são apresentados os resultados de resistência à compressão obtidos nos ensaios com os tijolos com fibra de coco e a Figura 6 aborda os resultados graficamente.

Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão dos tijolos com fibra de coco

Amostra

CP-01

CP-02

CP-03

TC-B05

1,98

1,80

1,70

TC-B1

1,31

1,22

1,43

TC-B2

0,89

0,79

0,86

TC-N05

1,01

1,57

1,52

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

TC-N1

1,10

1,07

0,86

TC-N2

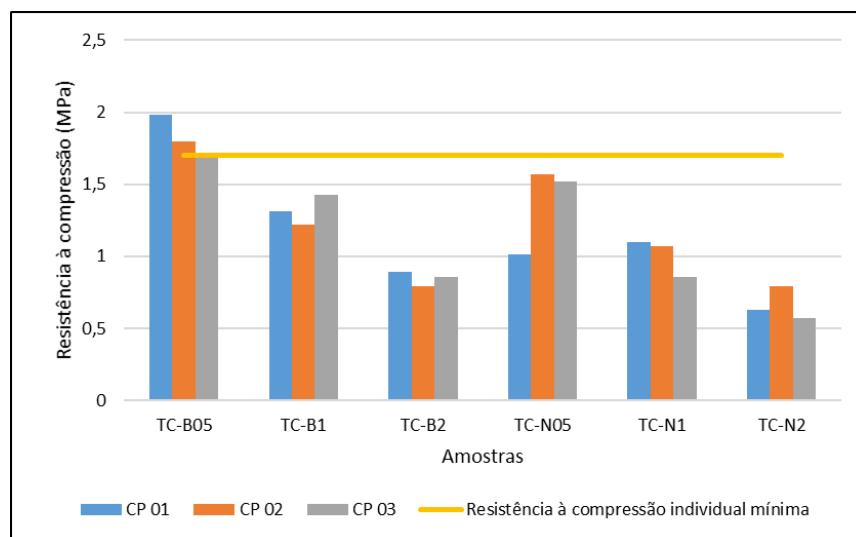
0,63

0,79

0,57

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 6 – Resistência à compressão individual dos CPs com fibra de coco



Fonte: Autoria própria (2021)

Examinando-se os resultados dos valores de resistência à compressão individual dos CPs com fibra de coco verifica-se que à medida que o teor de substituição do cimento por fibras aumentou os valores de resistência à compressão diminuíram, tanto para as misturas com fibras beneficiadas como para as misturas com fibras sem beneficiamento. O percentual de substituição que apresentou valores de resistência à compressão maiores que o exigido foram os dos CPs TC-B05, compostos pela fibra de coco beneficiada, inserida na mistura com percentual de 0,5% em substituição ao teor de cimento ótimo.

A Tabela 5 apresenta um resumo das médias de resistência à compressão obtidas para cada amostra bem como o desvio padrão da média em função dos valores individuais e a Figura 7 demonstra graficamente os resultados médios comparando-os com o valor mínimo exigido em norma, que é de 2,0 MPa.

Tabela 5 – Resumo dos resultados médios de resistência à compressão

Amostra

Resistência à Compressão Média (MPa)

Desvio Padrão (MPa)

TS-105

1,28

0,134

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

TS-11

1,39

0,102

TS-12

1,06

0,132

TS-205

1,84

0,093

TS-21

1,61

0,378

TS-22

1,93

0,200

TC-B05

1,83

0,142

TC-B1

1,32

0,105

TC-B2

0,85

0,051

TC-N05

1,37

0,310

TC-N1

1,01

0,131

TC-N2

0,66

0,114

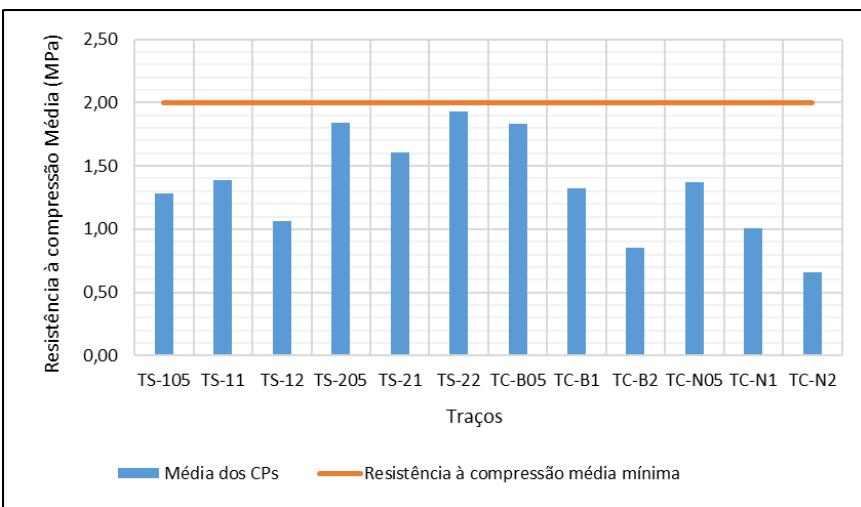
Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 7 – Média da resistência à compressão para os traços avaliados

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

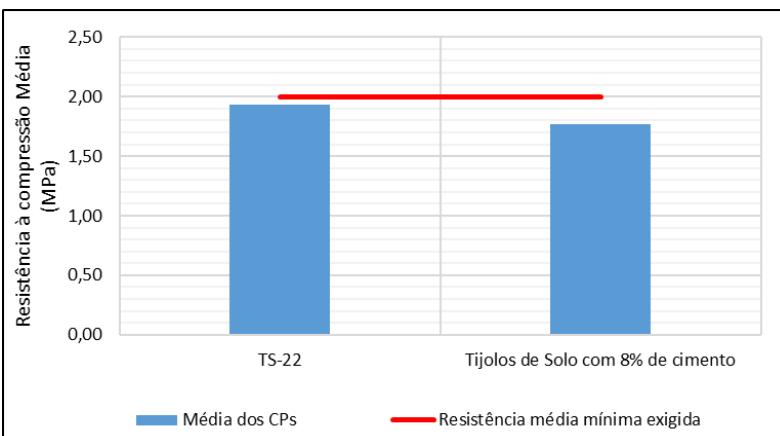


Fonte: Autoria própria (2021)

A resistência à compressão média dos corpos de prova demonstra que os traços que obtiveram melhor desempenho foram TS-205, TS-22, com 1,84 e 1,93 MPa de resistência média, respectivamente. No que diz respeito às amostras com fibras de coco verificou-se que o percentual de substituição com melhor desempenho médio foi o das amostras TC-B05, com 1,83 MPa. Porém, todos os resultados médios obtidos não atingiram as recomendações mínimas exigidas.

Na Figura 8 fez-se uma análise específica do desempenho médio das amostras TS-22 (com 2,0% de fibras de sisal com 2 cm de comprimento) comparando-as com o desempenho médio dos tijolos de solo-cimento comuns com 8%, em massa, de cimento. Constatou-se que a presença das fibras de sisal, para este caso, proporcionou melhor resistência à compressão mesmo que em limite inferior a 2,0 MPa, evidenciando que as fibras de sisal trabalham como reforço nas amostras com mesmo percentual de cimento.

Figura 8 – Média da resistência à compressão para os traços avaliados



Fonte: Autoria própria (2021)

As prováveis razões para a redução dos valores de resistência com o aumento do teor de substituição estão relacionadas com o montante de água inserido nas misturas e com as elevadas dificuldades nos procedimentos de homogeneização, principalmente para os maiores teores de fibras. O teor de umidade ótimo definido por tijolo foi adotado de acordo com o resultado de compactação Proctor, ou seja, para todos os tijolos a quantidade de água foi exatamente a mesma. Portanto, à medida que o teor de cimento diminui e houve acréscimo de fibra a quantidade de água permaneceu constante e o fator água/cimento aumentou, provavelmente reduzindo a resistência mecânica dos tijolos. Outra perspectiva relaciona-se com a característica de alta absorção de água por parte das fibras, pois tal absorção pode ocasionar que parte da água que deveria dar coesão ao solo e hidratar o cimento acaba absorvida pelas fibras e fragiliza a matriz de solo-cimento-fibras.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível notar que o emprego das fibras vegetais de sisal e coco em substituição à igual teor de cimento na composição de tijolos de solo-cimento não demonstrou desempenho acima do exigido na NBR 8492 (ABNT, 2012). Alguns dos fatores que se relacionam com este desempenho podem estar atrelados às dificuldades de homogeneização das misturas, a elevada absorção que as fibras vegetais possuem devido a sua matriz porosa e ao fator água cimento das misturas confeccionadas. Notou-se também que o aumento do percentual de fibras acaba reduzindo a trabalhabilidade das misturas, a capacidade de homogeneização e a interação da matriz solo-cimento com o reforço fibroso.

Em relação as características mecânicas, percebeu-se que entre os tijolos com fibra de sisal os que apresentaram melhores resultados foram os que possuíam fibras com dimensão de 2 cm. Entre os tijolos com adição de fibra de coco os que apresentaram resultados mais satisfatórios foram os com fibra beneficiada, porém nenhum tijolo com fibra de coco obteve valor de resistência à compressão individual mínima exigida por norma.

Em estudos posteriores sugere-se avaliar a absorção das fibras utilizadas e com isto reavaliar a proporção de água a ser inserida nas misturas, até com ensaios de compactação prévios para determinação da umidade de compactação ótima antes da efetiva moldagem dos tijolos na prensa. Uma visão mais atenta sobre esses aspectos pode levar os valores das propriedades mecânicas a resultados mais satisfatórios, validando o emprego das fibras vegetais como na substituição do teor de cimento utilizado para estabilização.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais.** Tese de livre-docêncie, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, USP, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2012.

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.** Rio de Janeiro, 2012.

CORDEIRO, M. E. V. M., CONCEIÇÃO, P. M., LIMA, T. V. **A educação ambiental e o uso do solo-cimento.** CEFET. Revista Vértices, Campos dos Goytacazes – RJ, v. 8, n. 1/3, jan./dez. 2006.

IZQUIERDO, Indara Soto. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural.** 2011. 128 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2011.

NASCIMENTO, Cláudio Mario. **Estudo da fibra de coco como reforço em tijolo de solo-cimento.** 2011. 87 p. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), azevedo_leticia@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), estevao5000@hotmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), duiliomarcal@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Tijolos de solo-cimento, Sustentabilidade, Consumo de cimento