

PLACAS DE FIBROCIMENTO COM RESÍDUO DE VIDRO E FIBRAS DE SISAL (*Agave sisalana*) E BUCHA VEGETAL (*Luffa Cyllindrica*)

Gabriel Machado Couto

Tales Vítor Santos Freitas

Leila Aparecida de Castro Motta

RESUMO

Fibras vegetais podem ser usadas como reforço de matrizes cimentícias. As fibras lignocelulósicas são renováveis, de baixo custo, entretanto, apresentam elevada variação dimensional e sofrem com a alcalinidade da matriz. O presente trabalho estuda a substituição do cimento por resíduo de vidro, como pozolana, para tornar a matriz menos agressiva ao reforço vegetal. As fibras de sisal (*Agave sisalana*) e bucha vegetal (*Luffa cyllindrica*) são usadas como reforço. Os corpos de prova foram moldados por simulação do processo Hatschek e submetidos ao ensaio de flexão com idades de 28 e 90 dias. Foram verificados o módulo de elasticidade, o módulo de ruptura e a tenacidade dos corpos de prova. Análise por difração de raios x das matrizes mostraram que houve redução do teor de portlandita na matriz e, portanto, redução da sua alcalinidade. Ainda, os maiores valores para as propriedades mecânicas foram obtidos quando se utilizou o teor de 20% de resíduo de vidro para o reforço com bucha vegetal e 30% para o reforço com sisal.

Palavras-chave: fibrocimento, pozolana, resíduo de vidro, fibra vegetal, sisal, bucha vegetal.

ABSTRACT

Vegetable fibers may be used as reinforcement for cementitious matrices. Lignocellulosic fibers are renewable, inexpensive, however, have high dimensional variation and alkalinity of the cement based matrix is aggressive to the fibers. This study examines the replacement of cement by glass waste to make a less aggressive matrix to the reinforcement. Sisal fiber (*Agave Sisalana*) and sponge gourd (*Luffa cyllindrica*) were used as reinforcements. The composites were subjected to bending test at ages of 28 and 90 days. Modulus of elasticity, modulus of rupture and toughness were verified. X-ray diffraction analysis showed that there was a reduction of the levels of Ca(OH)_2 in the matrix with glass waste and therefore reducing alkalinity. The results have showed that for sponge gourd 20 % replacement of cement with glass waste corresponds to optimum amount, as for sisal optimal substitution was 30 %.

Keywords: cementitious composites, glass waste, vegetable fiber, sisal, sponge gourd.

1 INTRODUÇÃO

A busca por materiais e técnicas novas na construção civil é notória. A tentativa de produzir com mais qualidade, menor custo e reduzir os impactos ambientais são pontos chave nessa busca. O presente estudo visa analisar os resultados de ensaios mecânicos obtidos com placas de fibrocimento com idades distintas a fim de se analisar o comportamento do fibrocimento com o envelhecimento. A pesquisa foi motivada pela necessidade de substituir as placas de amianto que foram proibidas no Brasil devido a elevada agressividade e manter um produto com qualidade e de baixo custo.

As fibras vegetais ocorrem em abundância, são materiais renováveis e apresentam custo menor do que as fibras poliméricas de polipropileno e PVA, atualmente usadas no fibrocimento comercial. Entretanto a matriz cimentícia é bastante agressiva à fibra vegetal e, portanto, dificulta a utilização. Diante do exposto advém a necessidade de substituir parte da matriz por um material menos agressivo e estudar métodos de tornar as fibras lignocelulósicas mais estáveis dimensionalmente e resistentes ao meio alcalino a que serão expostas. Pozolanas são materiais que podem substituir parte do cimento na matriz, deixando-a menos alcalina e, portanto, menos agressiva às fibras. Tratamentos termomecânicos, hornificação, acetilação e esterificação são possibilidades de tornar a fibra mais estável dimensionalmente e menos suscetível ao ataque da matriz (OLIVEIRA et al., 2015; PONCIANO et al., 2015; MOTTA et al., 2010; VIEIRA et al., 2015).

O resíduo da lapidação de placas de vidro já foi estudado como pozolana e apresentou elevada pozolanicidade (RIBEIRO, 2015). O estudo da incorporação do resíduo da lapidação de placas de vidro em compósitos de cimento Portland, justifica-se então pela possibilidade de redução no consumo de cimento e consequente preservação de jazidas de matérias primas, ou ainda, devido aos benefícios que a incorporação desse resíduo pode promover nos compostos produzidos. E ressaltado ainda como justificativa do estudo, a possibilidade de se agregar valor ao resíduo de lapidação do vidro, uma vez que se ele for gerado distante das indústrias produtoras de vidro sua reciclagem para produção de novas peças envolverá custos de transporte, e seu uso como material suplementar ao cimento Portland na região onde ele for gerado, se tecnicamente viável, pode ser uma alternativa economicamente mais vantajosa (RIBEIRO, 2015).

Neste contexto, a pesquisa tem o objetivo de produzir compósitos de cimento e fibras vegetais e avaliar a substituição parcial do cimento por resíduo de vidro, visando melhorar a durabilidade

dos compósitos. Para isto utilizou-se dois tipos de reforço, fibra de sisal e mantas de bucha vegetal, ambos sem tratamento.

Para cada tipo de reforço do fibrocimento foram desenvolvidos 5 teores de compósitos, sem substituição e com substituição de 10%, 20%, 30% e 40% do cimento por resíduo de vidro e as placas moldadas foram ensaiadas com idades de 28 e 90 dias.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

As fibras de sisal (*Agave sisalana*) foram adquiridas da empresa Sisalsul Indústria e Comércio Ltda., localizada em São Paulo e foram recebidas conforme Figura 1. As fibras foram cortadas com comprimento de 3cm para produção dos compósitos.

Figura 1: Fibras de sisal antes do corte.



Fonte: autores

As buchas vegetais (*Luffa cylindrica*) utilizadas neste trabalho foram adquiridas *in natura*, sem casca, em uma plantação desta cultura na cidade de Estrela do Sul, Minas Gerais. Essas apresentam diâmetro médio de 85 mm e comprimento médio de 700 mm (Figura 2).

Figura 2: Bucha vegetal cortada, sem casca.



Fonte: autores

O resíduo de vidro foi obtido em uma indústria na cidade de Uberlândia, que adquire as placas de vidro *float* e faz o processamento para obtenção de vidro temperado e/ou laminado, dentre outros. As amostras foram secas em temperatura de $105^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ durante um período de 7 dias. Em seguida, foram fracionadas e destorroadas com almofariz e mão de gral. A Figura 3a apresenta o resíduo após secagem na estufa e previamente fracionado e a Figura 3b o resíduo pronto para o uso.

Figura 3: Resíduo de vidro: (a) previamente fracionado, (b) destorroado.



Fonte: Ribeiro (2015)

As composições químicas típicas de vidros, apresentada por diferentes autores são apresentadas na tabela 1. A composição rica em sílica coloca o resíduo de vidro como passível de apresentar atividade pozolânica quando utilizado com granulometria reduzida. O índice de atividade pozolânica foi determinado pelo ensaio Chappelle modificado e o teor de hidróxido de cálcio fixado foi igual a 1180 mg de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por g de RLV (RIBEIRO, 2015). O valor encontrado indica alta reatividade do material.

Tabela 1: Composição química do vidro.

Autores	Composição				
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O
Matos e Sousa-Coutinho (2012)	70,00	8,70	3,70	1,20	15,57
Tuan et al (2013)	74,00	9,70	0,00	6,00	9,00
Mandandoust e Ghavidel (2013)	73,10	9,79	3,45	1,36	11,10
Crasana, Frassoni e Bertolini (2014)	68,67	11,35	1,41	2,73	13,36
Khmiri, Chaabouni e Samet (2013)	71,44	10,81	1,65	1,70	13,60

Fonte: Ribeiro (2015)

O cimento usado foi um CPV da marca CAUÊ, cuja escolha justifica-se pelo fato deste tipo de cimento não conter adição mineral reativa.

2.2 Preparação das mantas de bucha vegetal

2.2.1 Corte e limpeza das mantas

A bucha vegetal *in natura* foi cortada transversalmente utilizando um gabarito de 210mm, de maneira que o material fosse retirado da bucha *in natura* formando várias peças, em seguida cortou-se longitudinalmente cada peça, retirou-se o conteúdo do interior das buchas juntamente com as sementes (Figura 4). Formaram-se mantas e essas foram lavadas em água morna (aproximadamente 45°) buscando retirar impurezas presentes no material advindas da cultura.

2.2.2 Prensagem das mantas de bucha vegetal

As mantas de bucha vegetal *in natura*, no estado saturado, foram compactadas em uma prensa hidráulica com uma carga de 800 kN durante um período de 24 horas. Compactaram-se aproximadamente 8 mantas por prensagem, devido a capacidade da máquina. Após compactadas, as mantas foram secas em estufa à temperatura de 60°C durante um período de 24 horas. Em seguida, estas foram separadas e finalmente recortadas nas dimensões de utilização para a preparação dos compósitos (200 mm x 200 mm). Pesou-se e catalogou-se todas as mantas para o controle de qualidade, as que eram muito leves (menos de 4g), isto é, possuíam poucas fibras, foram descartadas do estudo. As mantas após a prensagem apresentaram espessura de aproximadamente 1mm (Figura 5).

Figura 4: Bucha vegetal: (a) *in natura*; (b) manta formada após o corte longitudinal e retirada da parte central e (c) manta após a prensagem.



Fonte: autores

Figura 5: Espessura da manta de bucha vegetal prensada.



Fonte: autores

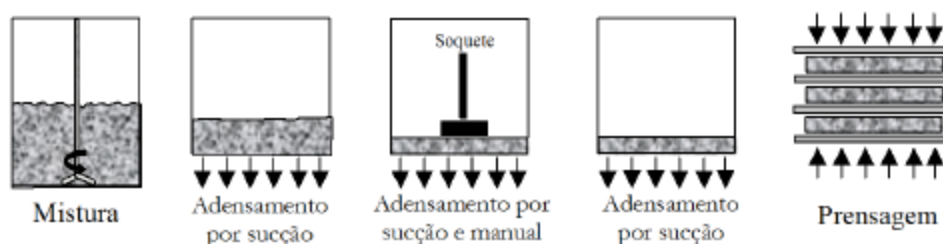
2.3 – Preparação dos compósitos

O processo de mistura e preparação dos compósitos foi uma simulação do processo Hatschek, processo industrial para moldagem de fibrocimento. As fibras foram misturadas em calda de cimento e água, e posteriormente, levadas a um recipiente para remoção do excesso de água por vácuo. Por fim, o compósito foi submetido à prensagem em prensa hidráulica com tensão de aproximadamente 3,2 MPa (PONCIANO et al., 2015).

As placas moldadas eram de 200 mm x 200 mm de largura e espessura média de 4 mm. Foi adotado volume de 3% de fibra de sisal ou fibra de bucha vegetal, 2 % de fibra celulósica e 95% de cimento, variando-se esta última proporção de acordo com a porcentagem de substituição do cimento pelo resíduo de vidro. A fibra celulósica foi usada com a única finalidade de reter os finos da mistura durante a sucção do excesso de água. A massa de sólidos inicial na mistura foi de 40%, desta forma, foi adotada a parcela de 60% para a quantidade de água utilizada.

Para a mistura dos constituintes, foi colocada inicialmente toda a água no misturador e em seguida foi acrescentada a celulose, dispersando-se esta por 5 min. O cimento e o resíduo de vidro foram, então, adicionados e misturou-se por mais 5 min. Por último, a fibra de sisal foi colocada misturando-se por mais 5 min (Oliveira, 2015). A manta de bucha não foi previamente misturada com a calda de cimento, esta foi colocada diretamente no molde entre duas camadas de pasta de cimento e celulose. A mistura foi inserida na fôrma, sujeita a sucção, adensando-a com um soquete de metal. Em seguida, o compósito foi colocado na prensa hidráulica e submetido a uma pressão de 3,2 MPa, onde permaneceu durante as primeiras 24 horas de cura. A Figura 6 ilustra o processo de moldagem das placas.

Figura 6: Processo de moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Motta (2010)

2.4 Cura e corte dos corpos de prova

A cura das matrizes de fibrocimento foi realizada durante um período de 28 dias e ocorreu em uma câmara úmida com umidade de aproximadamente 95% e temperatura igual de 23 ± 1 °C. Os corpos de prova para o ensaio de flexão foram obtidos das placas. Após o período de cura os corpos de prova foram recortados das placas com uma serra circular com dimensões aproximadas de 200 mm de comprimento por 40 mm de largura (Figura 7). Dessa maneira, obtiveram-se 4 corpos de prova por matriz.

Figura 7: Corpos de prova para ensaio de flexão dos compósitos.



Fonte: autores

2.5 Difração de raio X (DRX) das matrizes

As análises de DRX foram realizadas nas matrizes dos compósitos utilizados no estudo após 90 dias. As amostras dos compósitos estavam armazenadas em laboratório. Os materiais foram previamente transformados em pó com uso de almofariz e mão de grau e posteriormente peneirados na peneira 200 mesh.

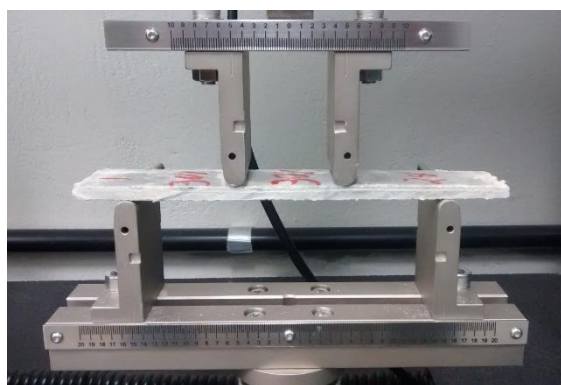
O ensaio foi executado no Laboratório Multiusuário do IQ/UFU, no equipamento difratômetro Shimadzu 6000 LAB X, operando a 40 kV e 30mA com fonte de radiação "Cu" "K" " α ", faixa de varredura de $2\theta = 5$ a 70° , velocidade $2^\circ/\text{min}$ e passo de $0,02^\circ$. A análise e refinamento dos dados foi realizado utilizando o software Origin 5.0, utilizando o banco de dados cristalográfico Internacional Center for Diffraction Data (ICDD).

A técnica de difração de raio-X possibilita a análise mineralógica de sólidos cristalinos presentes em um material. E foi importante para verificar o consumo do hidróxido de cálcio na reação pozolânica.

2.6 Ensaio de flexão dos corpos de prova

Para avaliar a influência da adição do resíduo de vidro na durabilidade dos compósitos, estes foram ensaiados à flexão na idade de 28 e 90 dias (Figura 8). Os corpos de prova ensaiados na idade de 90 dias foram reservados até a data prevista em ambiente de laboratório, com temperatura média de $23\pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa média de 50%. Pelo ensaio de flexão foram determinados: módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade e tenacidade dos compósitos. Realizou-se o ensaio de 4 corpos de prova para cada teor de resíduo de vidro, em cada idade.

Figura 8: Ensaio de flexão em quatro pontos.



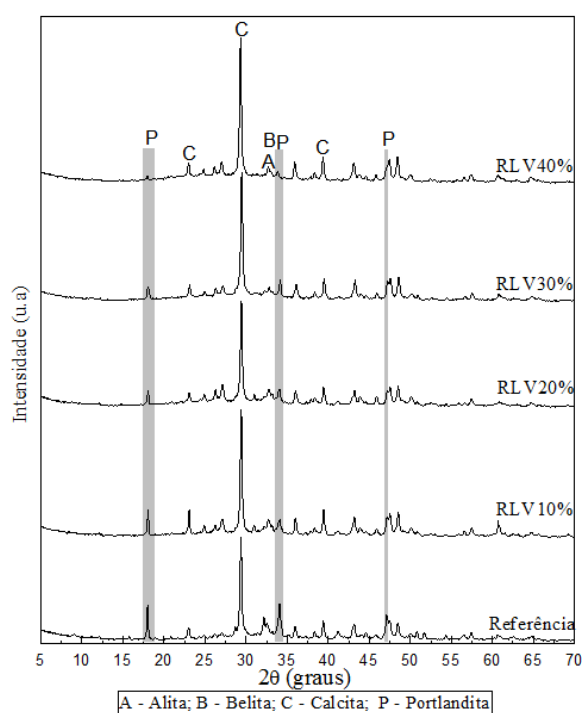
Fonte: autores

Os parâmetros adotados para a realização dos ensaios de flexão são baseados nas recomendações de RILEM (1989), utilizando-se uma máquina universal da marca Instron, modelo 5982, com célula de carga com capacidade de 5,0 kN e velocidade automática do deslocamento igual a $2,0\text{ mm/min}$. O método aplicado foi o ensaio de flexão em 4 pontos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de DRX foi realizada para verificar o consumo de CH com o aumento do teor de RLV. Os difratogramas estão apresentados na Figura 9. Os valores foram convertidos em uma mesma escala para realizar a comparação. A principal fase cristalina entre os produtos de hidratação identificada foi o hidróxido de cálcio, as demais fases não puderam ser detectadas devido à pequena quantidade, baixa cristalinidade e/ou sobreposição dos picos.

Figura 9 – Difratogramas de Raio-X dos compósitos com RLV



Fonte: autores

No difratograma foram identificados os principais picos de Portlandita que é referente ao hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), calcita (CaCO_3), alita (C2S) e belita (C3S) que correspondem ao grão de cimento anidro. A calcita foi formada a partir da carbonatação dos compostos hidratados, especialmente o CH ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), devido ao contato com o CO_2 da atmosfera.

Verifica-se que a intensidade do pico de hidróxido de cálcio diminui com a substituição do cimento por RLV, que reflete no consumo do CH pela reação pozolânica. A redução da intensidade dos picos de Portlandita em relação ao compósito de referência foi mais expressiva para o teor de substituição de 40%.

3.1 Corpos de prova reforçados com fibra de sisal

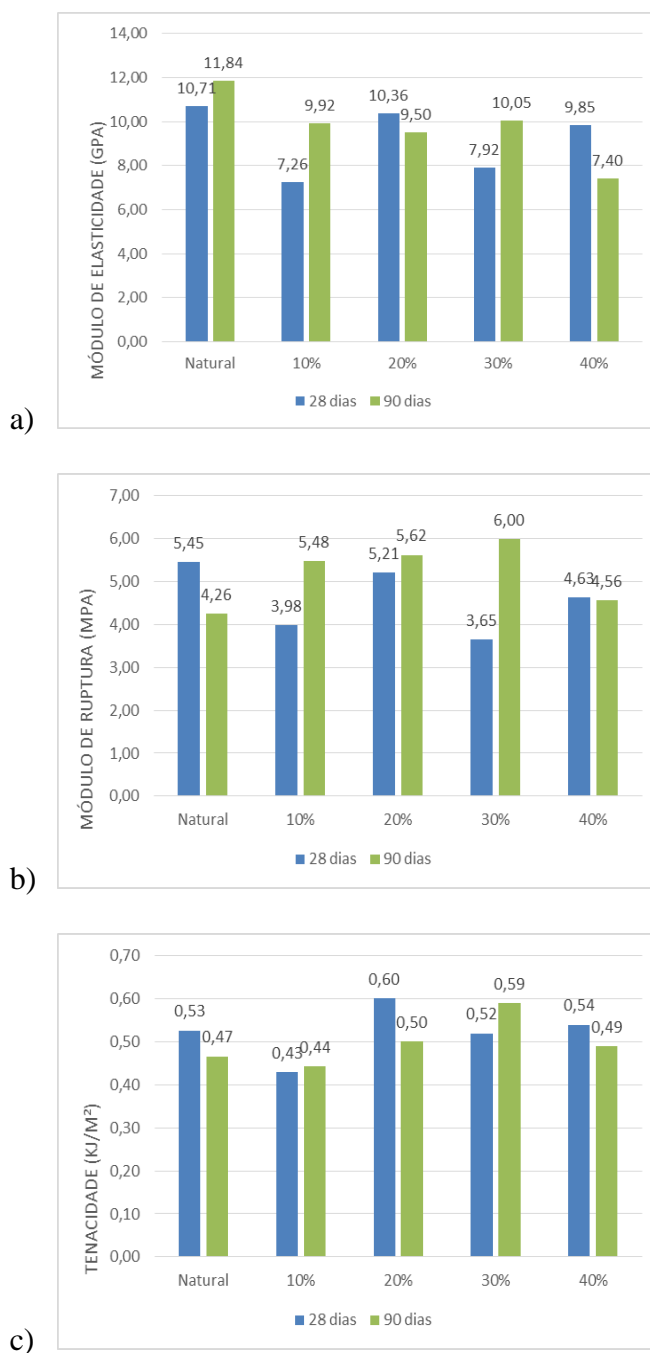
Foi verificado o comportamento mecânico dos compósitos com reforço de fibras vegetais. Como base de comparação foi usada a matriz sem substituição de resíduo de vidro, ou seja, apenas cimento Portland e fibras. Com base nos dados obtidos pelo ensaio de flexão (Figura 10), nas idades 28 e 90 dias, foi possível constatar que, com 90 dias de idade, a referência sofreu redução de 21% do módulo de ruptura e 10% da tenacidade, com pequeno acréscimo do módulo de elasticidade (10%).

Com 10% de resíduo de vidro, aos 28 dias, os resultados foram inferiores aos da referência. Uma possível explicação é o fato da reação do resíduo de vidro com os produtos da hidratação do cimento ser lenta, ocorrendo após os 28 dias. Com isso, aos 90 dias os resultados encontrados foram superiores, embora a tenacidade tenha sofrido pequeno acréscimo (2% de acréscimo com relação ao resultado obtido aos 28 dias com 10% de substituição), o teor de 10% de pozolana pode ainda ser baixo, sendo insuficiente para reduzir a alcalinidade da matriz, como pode ser observado na Figura 9, o teor de hidróxido de cálcio é próximo ao da matriz de cimento sem pozolana.

Com 20% de pozolana, ao comparar os compósitos com 28 e 90 dias, percebe-se aumento de 8% no módulo de ruptura no corpo de prova com 90 dias, entretanto módulo de elasticidade e tenacidade decrescem 8% e 17%, respectivamente, na idade maior. A substituição de 30% aparece como a mais promissora, o fibrocimento aos 90 dias apresentou o melhor resultado, todas as características sofreram aumento ao comparar os corpos de prova de 28 dias com os de 90 dias. O módulo de ruptura teve aumento de 64%, módulo de elasticidade 25% e a tenacidade 13%. Infere-se que a substituição, portanto, foi efetiva e capaz de melhorar a interação da matriz com a fibra de sisal, o que é comprovado também pelo DRX da Figura 9, em que percebe-se a redução do pico de portlandita (Ca(OH)_2).

Com 40% de substituição os resultados mecânicos não foram tão eficazes, embora praticamente todo o hidróxido de cálcio foi consumido pela reação pozolânica, como pode ser verificado na Figura 93, o resíduo de vidro possivelmente começou a ficar em excesso, reduzindo a quantidade de material cimentício hidratado que contribui para as propriedades mecânicas. Além disso, os baixos resultados das propriedades mecânicas podem estar associados também à dificuldade de moldagem dos compósitos com o aumento do teor de RLV.

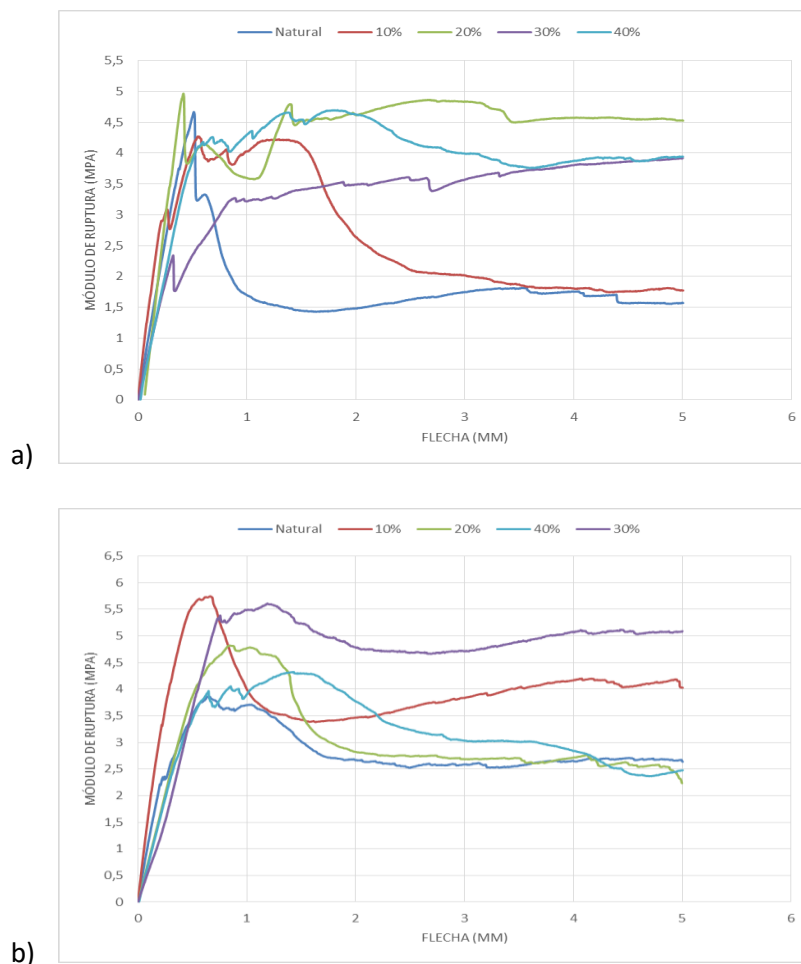
Figura 10: Resultados do ensaio de flexão com reforço em fibra de sisal (a) Módulo de Ruptura [MPa] (b) Módulo de elasticidade [GPa] (c) Tenacidade [kJ/m²].



Fonte: autores

Os diagramas típicos obtidos dos ensaios de flexão em 4 pontos dos compósitos reforçados com sisal são apresentados na Figura 11.

Figura 11: Diagramas típicos dos ensaios de flexão nos compósitos com sisal nas idades de (a) 28 dias e (b) 90 dias.



Fonte: autores

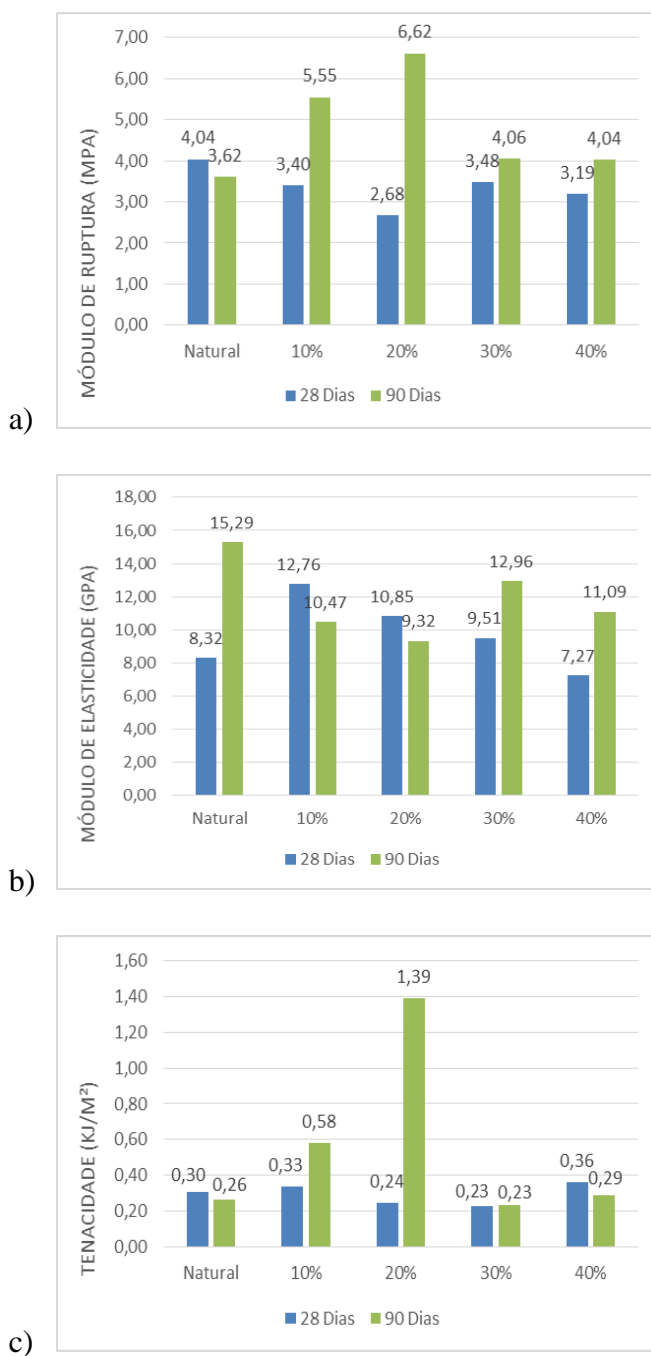
3.2 Corpos de prova reforçados com fibra de bucha vegetal

Com os resultados dos ensaios de flexão em 4 pontos (Figura 12), realizados nas idades de 28 e 90 dias, observou-se que com 10% de substituição do cimento por resíduo de vidro houve um aumento de 63% no módulo de ruptura e 76% na tenacidade com o envelhecimento (90 dias), revelando que a pequena substituição por resíduo de vidro apresentou melhora nas propriedades mecânicas.

Utilizando o teor de 20%, percebe-se então que essa substituição é a mais eficaz para o reforço com fibras de bucha vegetal, pois observou-se o aumento de 147% do módulo de ruptura e 479% da tenacidade na idade de 90 dias, entretanto, o módulo de elasticidade manteve-se constante. Tem-se então que 20% de substituição de cimento por resíduo de vidro é um teor

suficiente para reduzir a alcalinidade da matriz cimentícia, isto é, a quantidade presente de resíduo de vidro é capaz de consumir o hidróxido de cálcio presente na matriz, evitando que as fibras de bucha vegetal sejam degradadas (Figura 13). Isso possibilita a atuação efetiva das fibras vegetais no fibrocimento, melhorando assim as propriedades mecânicas do compósito.

Figura 12: Resultados do ensaio de flexão com reforço em fibra de bucha vegetal (a) Módulo de Ruptura [MPa] (b) Módulo de elasticidade [GPa] (c) Tenacidade [kJ/m²].



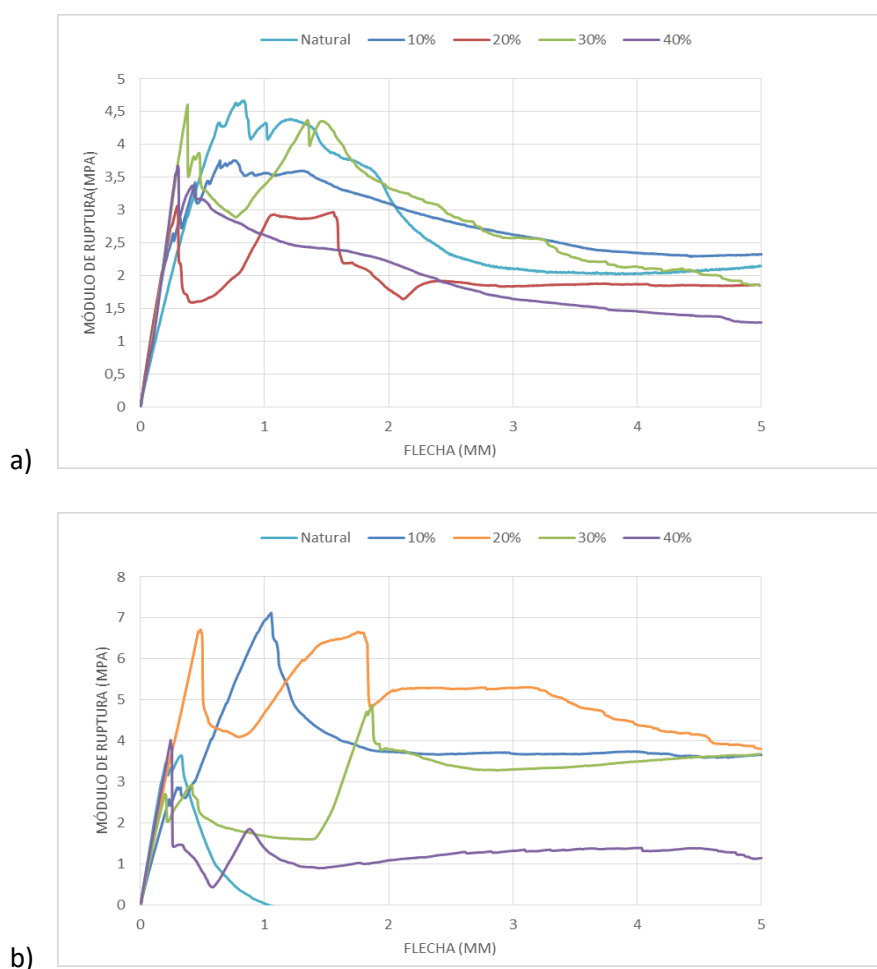
Fonte: autores

A queda da tenacidade é o principal indicativo de deterioração das fibras (WEI e MEYER, 2015). Os compósitos com 10% a 30% de resíduo de vidro apresentaram manutenção ou crescimento da tenacidade com o tempo, diferentemente do compósito de referência.

Assim como para os compósitos com fibras de sisal, teores mais elevados do resíduo não resultaram em incrementos significativos nas propriedades mecânicas dos compósitos com bucha vegetal. Como mostrado no difratograma da Figura 9, o teor de 20% já apresenta uma redução significativa de portlandita na matriz, semelhante ao teor de 30%, que pelos resultados mecânicos obtidos, parece ser suficiente para melhora do desempenho dos compósitos.

Os diagramas típicos obtidos dos ensaios de flexão em 4 pontos dos compósitos reforçados com bucha vegetal são apresentados na Figura 13.

Figura 13: Diagramas típicos dos ensaios de flexão nos compósitos com bucha vegetal nas idades de (a) 28 dias e (b) 90 dias.



Fonte: autores

4 CONCLUSÃO

O uso de materiais renováveis na construção civil é uma das maneiras de construir reduzindo os custos e impactos ambientais. As fibras vegetais utilizadas como reforço em fibrocimento constituem-se como opção devido ao baixo custo e à facilidade de obtenção. Porém, o que dificulta sua utilização é a degradação que a fibra sofre na matriz cimentícia. Neste trabalho modificou-se a matriz com resíduo da lapidação de vidro com o objetivo de minimizar a agressão da matriz às fibras de sisal e bucha vegetal e, assim, melhorar o desempenho dos compósitos.

Os compósitos de fibras de sisal alcançaram melhores resultados com o teor de 30% de resíduo de vidro na matriz. Os corpos de prova nesse teor com 90 dias apresentaram melhora em todas as propriedades mecânicas estudadas. O módulo de ruptura teve aumento de 64%, módulo de elasticidade 25% e a tenacidade 13%.

A substituição de parte do cimento por resíduo de vidro em compósitos de fibras de bucha vegetal melhorou o comportamento mecânico dos compósitos com a idade. Com a utilização de 20% de resíduo de vidro, houve aumento de 147% do módulo de ruptura e 479% da tenacidade na idade de 90 dias, entretanto módulo de elasticidade manteve-se constante.

Os resultados de DRX mostraram a redução do teor de hidróxido de cálcio nas matrizes com resíduo de vidro, em que essa redução causada pela reação pozolânica resultou em melhor desempenho dos compósitos com a idade, comparados aos compósitos que utilizaram apenas cimento.

REFERÊNCIAS

CARSANA, M.; FRASSONI, M.; BERTOLINI, L. Comparison of ground waste glass with other supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, n. 45, 39-45, 2014.

KHMIRI, A.; CHAABOUNI, M.; SAMET, B. Chemical behaviour of ground waste glass when used as partial cement replacement in mortars. *Construction and Building Materials*, n. 44, p. 74-80, 2013

MANDANDOUST, R.; GHAVIDEL, R. Mechanical properties of concrete containing waste glass powder and rice husk ash. *Biosystems Engineering*, n. 116, p. 113-119, 2013.

MATOS, A. M.; SOUSA-COUTINHO, J. Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement. *Construction and Building Materials*, n. 36, p. 205-215, 2012.

MONTANHEIRO, T. J.; YAMAMOTO, J. K. & KIHARA, Y. Características e propriedades pozolânicas de arenitos opalinos da Serra de Itaqueri, SP. *Revista do Instituto Geológico*, nº23, p. 13-24, 2002.

MOTTA, L.A.C., JOHN, V.M., AGOPYAN, V. Thermo-mechanical treatment to improve properties of sisal fibres for composites. *Materials Science Forum Vols. 636-637*, p. 253-259, 2010.

OLIVEIRA, W. J.; VIEIRA, J. G.; PONCIANO, C. A.; MOTTA, L. A. C. . Influence of hornification of *luffa cylindrica* fibres in the reinforcement of cementitious composites. In: 10th International Conference on Composite Science and Technology, 2015, Lisboa. 10th International Conference on Composite Science and Technology, 2015. p. 1-8.

PONCIANO, C. A. ; VIEIRA, J. G. ; MOTTA, L. A. C. ; OLIVEIRA, W. J. . Estudo do uso da terra diatomácea residual como pozolana para incremento da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de sisal. In: IV Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos da Construção, 2015, São Paulo. IV Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos da Construção, 2015. p. 1-13.

RIBEIRO, A.O. Estudo de resíduo da lapidação de vidro para incorporação em argamassa de cimento Portland. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

RILEM. Technical Committee 49 TRF - Test for determination of modulus of rupture and limit of proportionality of thin fibre reinforced cement section - *Materiaux et Constructions*, v.17, n.102, p.441-443, 1989.

SAVASTANO JÚNIOR, H. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. São Paulo. 152p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

SILVA SAUER, A. Estudo de resíduo da lapidação de vidro para incorporação em argamassas de cimento portland. Espírito Santo. Tese (Livre – Docência) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

SIMÕES, L.J.; SAUER, A.S.; TRISTÃO, F.A.; CALMON, J.L.; VIEIRA, G. L. Caracterização do resíduo de vidro laminado de parabrisas para utilização como substituto parcial do cimento em matrizes cimentícias. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.22, p.43-49, Outubro, 2013.

TUAN, B. L.; HWANG, C. L.; LIN, K. L.; CHEN, Y. Y.; PEI, M. Development of lightweight aggregate from sewage sludge and waste glass powder for concrete. Construction and Building Materials, n. 47, p. 334-339, 2013

VIEIRA, J. G. ; PONCIANO, C. A. ; OLIVEIRA, W. J. ; MOTTA, L. A. C. . Treatment of residual diatomite earth for use as pozzolan in cementitious mixtures. In: III Progress of Recycling in the Built Environment, 2015, São Paulo. III Progress of Recycling in the Built Environment, 2015. p. 1-8.

WEI, J; MEYER, C. Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. Cement and Concrete Research, v. 73, p. 1-16, 2015.