Efeito da combinação de aditivos surfactantes em fibrocimento extrudado reforçado com fibras de sisal *in natura*

Effect of combining surfactant additives in extruded fiber cement reinforced with sisal fiber natura

Elizeth Neves Cardoso Soares Dayana Cristina Silva Garcia Danillo Wisky Silva Maria Alice Martins José Benedito Guimarães Junior

Resumo

incompatibilidade entre as fibras de sisal e a matriz cimentícia pode representar um desafio na produção do fibrocimento. Para contornar esta situação, a combinação de aditivos pode ser utilizada para melhorar a interação entre a fibra e a matriz, promovendo uma adesão mais eficaz e melhorando as propriedades do fibrocimento. O objetivo deste trabalho foi produzir fibrocimento composto por 97% de cimento Portland CPV e calcário agrícola moído, 3% de fibras de sisal in natura, além de 1% de modificador de viscosidade e 1% de aditivo redutor de água, sendo as amostras identificadas como MV-RT_RA2, e, devido à adição de 0,8% de incorporador de ar (MV-RT RA2 IA), e à adição de 0,6% de redutor de água à base de lignosulfonato (MV-RTRA2 RA1). Os resultados indicaram que a amostra MV-RT_RA2_IA apresentou o maior valor de porosidade, atingindo 21%. Quanto aos módulos de ruptura e de elasticidade, os maiores valores foram encontrados na amostra MV-RT_RA2_RA1, com médias de 14,4 MPa e 7,8 MPa, respectivamente. Todas as amostras apresentam poros e fissuras após a fratura da matriz de cimento.

Palavras-chave: Aditivo químico. Fibra de sisal. Compósitos de cimentícios. Sustentabilidade. Fibrocimento.

Abstract

The incompatibility between sisal fibers and the cement matrix can pose a challenge in the production of fiber cement. To address this scenario, a combination of additives can be used to enhance the interaction between fiber and matrix, promoting more effective adhesion and improving the properties of fiber cement. The aim of this study was to produce fiber cement composed of 97% Portland CPV cement and ground agricultural limestone, 3% natural sisal fibers, along with 1% viscosity modifiers and 1% water-reducing additives, with samples identified as MV-RT_RA2, and due to the addition of 0.8% air entrainer (MV-RTRA2IA), and the addition of 0.6% lignosulfonatebased water reducer (MV-RTRA2RA1). The results indicated that sample MV-RTRA2IA exhibited the highest porosity value, reaching 21%. This was attributed to the addition of the air entrainer additive, which resulted in a heterogeneous distribution of pores and open fissures after the fracture of the cement matrix, as confirmed by SEM analysis. As for the modulus of rupture and elasticity, the highest values were found in sample MV-RTRA2RA1, with averages of 14.4 MPa and 7.8 MPa, respectively. All samples exhibit pores and fissures after the fracture of the cement matrix.

¹Elizeth Neves Cardoso Soares ¹Universidade Federal de Lavras Lavras - MG - Brasil

²Dayana Cristina Silva Garcia ²Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte - MG - Brasil

> ³Danillo Wisky Silva ³Universidade Federal de Lavras Lavras - MG - Brasil

> > ⁴Maria Alice Martins
> > ⁴Embrapa Instrumentação São Carlos - SP - Brasil

⁵José Benedito Guimarães Junior ⁵Universidade Federal de Lavras Lavras - MG - Brasil

> Recebido em 18/01/24 Aceito em 15/07/24

Keywords: Chemical additive. Sisal fiber. Cementitious composites. Sustainability.

SOARES, E. N. C.; GARCIA, D. C. S.; SILVA, D. W.; MARTINS, M. A.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Efeito da combinação de aditivos surfactantes em fibrocimento extrudado reforçado com fibras de sisal *in natura*. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 25, e138066, jan./dez. 2025. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212025000100842

Introdução

De acordo com a Associação nacional do fibrocimento (ANF, 2024), o fibrocimento é composto por cimento Portland, calcário, fibras lignocelulósicas, além dos fios sintéticos de reforço. Segundos dados de Mordor Inteligente (2024), estima-se que produção global de fibrocimento seja de 38,24 milhões de toneladas para o ano de 2024, com expectativa de crescimento de 47,36 milhões de toneladas até 2029. Isso é principalmente impulsionado pelo aumento da construção residencial em países em desenvolvimento. No Brasil, os produtos de fibrocimento mais utilizados são telhas e acessórios para coberturas. Porém, nos últimos anos, placas planas e painéis cimentícios passaram a ser utilizados em aplicações de construção a seco e sistemas de fachadas de prédios, além de oferecerem várias outras possibilidades de uso (ANF, 2024).

As fibras sintéticas são muito utilizadas para a produção de fibrocimento, devido à sua acessibilidade e resistência mecânica. Contudo, o seu uso extensivo pode proporcionar riscos à saúde humana e ao meio ambiente, uma vez que não são recicláveis e nem biodegradáveis. Consequentemente, observa-se uma crescente busca por materiais mais sustentáveis, como as fibras vegetais, como alternativa para a produção de fibrocimento (Ng *et al.*, 2020; Akinyemi; Adesina, 2021). As fibras vegetais têm potencial para se transformarem em um material alternativo para a produção de fibrocimento, uma vez que geram menos poluição em seu processo produtivo (Bahja *et al.*, 2021). O estudo de Pederneira, Veiga e Brito (2021) constatou que a incorporação de fibras de coco contribuiu para controlar a fissuração da matriz cimentícia.

Sabe-se que matriz cimentícia apresenta baixa resistência à tração e fissuração, baixa ductilidade e pouca absorção de energia (Galicia-Aldama *et al.*, 2019; Yoo; Shin; Chun, 2021). Em contrapartida, as fibras vegetais são caracterizadas por apresentarem baixa densidade, baixo módulo de elasticidade, alta resistência à tração e flexão (Bahja *et al.*, 2021). Sendo assim, a incorporação de fibras traz alguns benefícios como melhorar a tenacidade e resistência à tração do compósito cimentício através da ponte de fissuração e transferência de carga. Uma ponte de fissuração corresponde a inserção de um material, como aço e fibras, em regiões de potencial fissuração. Assim, esses materiais redistribuem as tensões geradas na matriz cimentícia, minimizando a propagação de fissuras (Figueiredo; Ceccato., 2015; Galicia-Aldama *et al.*, 2019; Hedjazi; Castillo, 2020).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2021), o Brasil é o maior produtor mundial de sisal. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), a produção de sisal em 2021 foi de 98,4 mil toneladas. Sabe-se que, as fibras de sisal são baratas, disponíveis no Brasil e requerem apenas um baixo grau de industrialização para seu processamento. Além disso, apresentam alta reciclabilidade, biodegradabilidade, elevada resistência mecânica e baixa densidade. Nesse cenário, a utilização de fibra de sisal é uma oportunidade para a indústria da construção civil, como por exemplo, para a fabricação de fibrocimento (Senthilkumar *et al.*, 2018; Kesikidou; Stefanidou, 2019; Bahja *et al.*, 2021).

As fibras alteram o comportamento do fibrocimento no estado fresco, interferindo na consistência que é responsável pela facilidade de extrusão (Schmidt *et al.*, 2013; Baldino, 2014; Kim *et al.*, 2018). Além disso, um desafio da utilização das fibras vegetais é a incompatibilidade entre as fibras hidrofílicas e a matriz cimentícia. Isso pode resultar em baixa adesão entre as fibras e a matriz, contribuindo para a redução da resistência do compósito cimentício. Consequentemente, as fibras podem afetar a mistura cimentícia no estado fresco, influenciando a consistência do compósito cimentício (Castoldi *et al.*, 2022).

Assim, a fim de garantir o desempenho de materiais reforçados com as fibras vegetais, pode-se utilizar aditivos surfactantes em pequenas quantidades que auxiliam na interação com a matriz cimentícia. Eles são responsáveis por facilitar a transferência da água presente nas fibras para as partículas de cimento, devido ao seu efeito dispersor, que por sua vez melhora a trabalhabilidade e a molhabilidade da mistura (Atahan *et al.*, 2008; Mangane *et al.*, 2018). A melhoria da trabalhabilidade no estado fresco contribui para redução da energia de extrusão. Isso garante a melhor eficiência do processo, garantido menor gasto energético (Romano; Cincotto; Pileggi, 2018). Os aditivos surfactantes podem atuar como redutores de água ou como incorporadores de ar (Romano; Cincotto; Pileggi, 2018).

Os autores Raabe *et al.* (2022) relataram que ao se utilizar a extrusão como processo de fabricação do fibrocimento, é possível alcançar baixa relação água/cimento (por exemplo, de 0,15 a 0,20) com aditivos redutores de água. Consequentemente, há uma diminuição de água e hidróxido de cálcio ao redor das fibras. Contudo, esse processo gera um compósito cimentício mais compacto e denso. Uma maneira de reduzir a massa específica é pela utilização de aditivo incorporador de ar. Note que, a redução da densidade reduz os custos de produção do fibrocimento (Silva *et al.*, 2021). Assim, a combinação de aditivos surfactantes pode contribuir para a melhoria na produção de fibrocimento reforçado com fibras vegetais (Texeira *et al.*, 2019).

Os aditivos redutores de água são utilizados para a redução de água do fibrocimento. Os aditivos redutores de água de primeira geração, à base de lignosulfonato, (RA1) além de reduzirem a quantidade de água, também incorporam ar (Topçu; Atesin, 2016). Por outro lado, os aditivos superplastificantes, redutores de segunda geração à base de policarboxilatos, apresentam maior capacidade de redução de água, porém não incorporam ar (Raabe *et al.*, 2022).

Os aditivos incorporadores de ar são adicionados aos compósitos cimentícios para introduzir pequenas bolhas de ar uniformemente distribuídas na matriz cimentícia. Essas microbolhas distribuídas homogeneamente melhoram a coesão e a trabalhabilidade do compósito cimentício, evitam a penetração de água e reduzem a tendência de segregação no estado fresco (Mehta; Monteiro, 2014; Mendes *et al.*, 2017). Além disso, elas podem reduzir a probabilidade de aglomeração ou agrupamento das fibras. Isso pode facilitar a incorporação das fibras vegetais na mistura sem comprometer significativamente o processo de hidratação do cimento (Veigas; Najimi; Shafei, 2022). O aumento do teor de ar incorporador tem relação direta com a redução da densidade de massa dos materiais, mas pode comprometer o desempenho mecânico (Romano; Cincotto; Pileggi, 2018). A densidade é importante para o processo de extrusão e moldagem, isolamento térmico e acústico e peso do produto.

No estudo realizado por Soto (2010), foram utilizados diferentes tipos de aditivos surfactantes para a produção de fibrocimento extrudado com fibras de eucalipto e polipropileno. Eles visavam verificar o efeito dos diferentes componentes da formulação no estado fresco da mistura. Soto (2010), Fonseca *et al.* (2019), Silva *et al.* (2020) e Raabe *et al.* (2022) produziram fibrocimento com combinação de aditivos surfactantes (incorporador de ar e redutor de água) na produção de fibrocimento reforçado com fibras vegetais de eucalipto, juta, polpa de eucalipto e fibras de celulose. Os resultados indicaram que os aditivos auxiliam na trabalhabilidade, facilitando a passagem do fibrocimento pela boquilha do equipamento.

A inovação proposta reside na produção de fibrocimento exclusivamente com fibras de sisal *in natura*, sem a adição de outros materiais como sílica ativa ou cinzas. Essa abordagem inclui a combinação estratégica de aditivos, como incorporadores de ar e redutores de água à base de lignosulfonato, para o desenvolvimento de um compósito com fibras, a fim de melhorar a interação entre a fibra e a matriz cimentícia. Os aditivos desempenham um papel importante na formação e distribuição de poros no compósito cimentício com fibras. Por exemplo, a introdução controlada de ar pode reduzir a formação de poros grandes e prejudiciais, aumentando a capacidade das fibras de sisal de mitigar fissuras e falhas no material. Além disso, contribuem para a redução da densidade do fibrocimento, tornando-o mais leve e proporcionando benefícios como a redução de cargas permanentes nas estruturas de uma edificação.

Diante desse contexto, para a produção do fibrocimento reforçado com fibras de sisal por extrusão é necessário utilizar aditivos para promover uma mistura cimentícia com aspectos pseudoplásticos. Isso permite a conformação por extrusão. Além disso, como visto acima, cada aditivo tem uma forma de atuação diferente e a combinação entre eles pode ser vantajosa. Assim sendo, o presente estudo visa investigar o efeito da utilização combinada de aditivos surfactantes no fibrocimento extrudado reforçado com fibras de sisal *in natura* e seus efeitos sobre as propriedades físicas e mecânicas do compósito endurecido. Vale ressaltar que esta pesquisa representa uma contribuição original, visto que são escassos os estudos que abordam o uso de fibras de sisal como reforço no fibrocimento e a combinação dos aditivos.

Material e métodos

Materiais

O fibrocimento foi produzido com cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI), por apresentar menor teor de adições, conforme definido pela norma NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos (ABNT, 2018); calcário agrícola moído utilizado como substituto parcial do cimento Portland; e os aditivos: modificador de viscosidade e retentor de água à base de hidroxipropilmetilcelulose (MV-RT), redutor de água tipo 1 à base de lignosulfonato (RA1), redutor de água tipo 2 à base policarboxilato (RA2), incorporador de ar (IA), conforme NBR 11768-1. As especificações e funções dos aditivos são apresentadas na Tabela 1, de acordo com as fichas técnicas.

As fibras de sisal (*Agave sisalana*) foram picadas manualmente e lavadas em água corrente. Após essa etapa, foram secas em estufa a uma temperatura de 105 °C. As fibras de sisal secas foram moídas com o uso de moinho de faca tipo Willye. O material foi peneirado com peneiras de granulometria de 40 e 60 mesh sobrepostas e apenas a fração retida na peneira de 60 mesh foi utilizada. Em seguida, as fibras foram secas em estufa a 105 °C por um período de 24 horas. Na Figura 1 estão indicadas as etapas de produção das fibras curtas.

Efeito da combinação de aditivos surfactantes em fibrocimento extrudado reforçado com fibras de sisal *in natura* 3 Soares, E. N. C.; Garcia, D. C. S.; Silva, D. W.; Martins, M. A.; Guimarães Junior, J. B.

Identificação	Função	Densidade (g/cm ³)	рН	Dosagem recomendada (%)
MV-RT	Modificador de viscosidade/ retentor de água	NA	3,0	NA
RA1	Redutor de água tipo 1	1,00	13,0	0,4 a 0,5
RA2	Redutor de água tipo 2	1,10	5,5	0,4 a 1,2
IA	Incorporador de ar	1,00	11,5	0,1 a 0,6

Tabela 1 -	 Especificac 	ões dos	aditivos	auímicos
------------	---------------------------------	---------	----------	----------

Fonte: fabricantes Aditex (2020) e GCP Apllied Technologies (2020).

Figura 1 - Fluxograma das etapas de produção das fibras de sisal natural



Métodos

Na Tabela 2 estão apresentados os traços utilizados nessa pesquisa. As amostras de fibrocimento foram identificadas conforme composições realizadas. Portanto, a amostra de referência foi nomeada de MV-RT_RA2, pois foram empregados 1% de MV-RT e 1% de RA2. A outra amostra foi identificada como MV-RT_RA2_IA devido à adição de 0,8% de incorporador de ar, e a terceira amostra foi identificada por MV-RT_RA2_RA1 devido à adição de 0,6% de redutor de água à base de lignosulfonato. Todas essas amostras foram dosadas em relação à massa do cimento e foram nomeadas de acordo com as alterações feitas em relação à composição de referência. Note que, todas as amostras foram moldadas com um modificador de viscosidade e com o redutor de água tipo 2. Como a densidade é uma propriedade importante, decidiu-se verificar a influência de um incorporador de ar e um redutor de água que incorpora ar.

Com a finalidade de avaliar os aditivos no fibrocimento reforçado com fibras de sisal foram desenvolvidas três composições conforme pesquisa de Raabe *et al.* (2022). Para isso, quatro etapas foram realizadas conforme mostrado na Figura 2. Todas as amostras de fibrocimento foram produzidas com os materiais secos (cimento, calcário e MV-RT) misturados com relação água/cimento de 0,30 em um misturador planetário. As fibras de sisal foram adicionadas gradativamente, para obter uma boa distribuição na mistura.

Na etapa (I) as fibras foram misturadas com os demais componentes até a completa homogeneização, na seguinte ordem: fibras previamente dispersas; cimento, calcário e modificador de viscosidade, previamente misturados (~2 min), água destilada e RA2 (~2 min). Já para produção dos corpos de provas de fibrocimento com aditivo incorporador de ar (IA) foram adicionados 0,8% e misturados novamente com os materiais secos e aditivo RA2 (~2 min). Para produção da amostra RA1 foi utilizado 0,6% de redutor de água, o procedimento foi o mesmo (~2 min). O intervalo do tempo entre a adição dos componentes de ordem foi de aproximadamente 2 min. A homogeneização completa da mistura composta ocorreu em torno de 10 min.

Nome	Cimento e calcário (%)	Fibra (%)	a/c (%)	(MV-RT) (%)	RA2 (%)	IA (%)	RA1 (%)
MV-RT_RA2	97	3	0,3	1	1	-	-
MV-RT_RA2_IA	97	3	0,3	1	1	0,8	-
MV-RT_RA2_RA1	97	3	0,3	1	1	-	0,6

Tabela 2 - Composição das misturas utilizadas para produção de fibrocimento





Na etapa (II) moldagem, a mistura fresca foi moldada por extrusão com equipamento extrusora helicoidal modelo VERDES 051. Foram produzidas 42 amostras no total, divididas em três grupos: 14 amostras do tipo MV-RT_RA2, 14 do tipo MV-RT_RA2_IA e 14 do tipo MV-RT_RA2_RA1, as dimensões dos corpos de provas foram de 50 x 16 x 200 mm (largura, espessura e comprimento), respectivamente. A etapa (III) cura, ocorreu após a moldagem dos corpos de prova que foram armazenados em saco plástico selado em condições saturadas para cura em temperatura ambiente por 28 dias. Para etapa (IV) foram realizados os ensaios físico, mecânico e análise de microestrutura.

Propriedades físicas do fibrocimento

As propriedades físicas como absorção de água, densidade e porosidade aparente foram analisadas de acordo com a norma C 948-81: Método de teste para densidade aparente seca e úmida, absorção de água e porosidade aparente de seções finas de concreto reforçado com fibra de vidro (ASTM, 2023). Os compósitos foram imersos em água à temperatura ambiente (± 21 °C) por 72 h para obtenção da massa úmida (saturada de água do compósito com remoção do excesso de água da superfície) e massa imersa. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 80 °C por 24 h para determinar a massa seca. Os resultados foram determinados pela a média de 7 amostras.

Propriedades mecâncias do fibrocimento

O teste de flexão estática foi realizado na máquina de teste universal modelo WDW-20E, equipada com uma célula de carga de 20 kN. Foi empregada uma configuração com três pontos de apoio (com vão inferior igual a 150 mm) para determinar os valores médios do módulo de ruptura, do limite de proporcionalidade, do módulo de elasticidade e da tenacidade dos compósitos cimentícios quando submetidos ao ensaio de flexão estática (RILEM, 1984; Santos *et al.*, 2019). Os resultados foram determinados pela a média de 7 amostras.

Caracterização microestrutural

A caracterização por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em um equipamento JEOL modelo JSM-6510, com tensão aplicada de 10 kV e distância de trabalho de 10 mm. As amostras foram recobertas com ouro pelo método de *sputtering* em um equipamento da marca Leica para os ensaios. As análises foram realizadas na superfície de ruptura das placas de fibrocimento que foram ensaiadas por flexão

estática. Foram avaliados aspectos relacionados à microestrutura da interface fibra-matriz, presença de vazios e fissuras.

A identificação das fases policristalinas das amostras de fibrocimento foi realizada por difração de raios X (DRX) em um difratômetro XRD-6000 (Shimadzu Co., Kyoto, Japão) operando com radiação de Cu K α ($\lambda = 0,15428$ nm), voltagem de 30 kV, corrente de 30 mA e modo varredura contínua a 1° min⁻¹ no intervalo de ângulo de Bragg (2 θ) de 5 a 60°.

A análise termogravimétrica das amostras de fibrocimento aos 28 dias de idade foi realizada no equipamento SDT Q500 da TA Instruments. As amostras foram aquecidas até uma temperatura de aproximadamente 1000 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min e um fluxo de N2 de 50 mL/min. inicialmente, os compósitos foram moídos manualmente em um almofariz de ágata, e o material utilizado na análise foi o passante na peneira de malha quadrada de 0,075 mm de abertura. O teor de hidróxido de cálcio $(Ca(OH)_2)$ e de carbonato de cálcio $(CaCO_3)$ foram calculado de acordo com a Equação 1, considerando que a decomposição deste composto ocorreu na faixa de temperatura de 380-430 °C e 605-715 °C (Scrivner; Snellings; Lothenbach, 2016).

$$W\% = M_i - M_f x \frac{mX}{m H_2 O}$$

Eq. 1

Onde:

W% é a perda de massa do composto;

mX é a massa molar do composto;

m Ca(OH)2 é a massa molar do composto (74 g/mol);

m CaCO₃ é a massa molar do composto (100 g/mol); e

m H₂O é a massa molar da água (18 g/mol).

Análise dos resultados

Para realizar a análise estatística dos resultados, utilizou-se o software SISVAR e a Análise de Variância (ANOVA) com o objetivo de investigar possíveis diferenças entre as médias dos grupos, uma vez que o número de tratamentos no experimento excedeu 3. Para isso, optou-se por aplicar o teste Scott-Knott para distinguir entre as médias dos diferentes tratamentos e foi estabelecido um critério de significância de 95%, o que implica considerar uma diferença de estatística significativa se a probabilidade de ocorrência por acaso for inferior a 5%. Para avaliar possíveis diferenças entre grupos, utiliza-se o Teste Scott-Knott. Este teste atribui letras sobrescritas para identificação dos grupos que são diferentes ou similares. Quando os resultados recebem letras sobrescritas iguais, indica que não há diferenças estatísticas entre eles. Por outro lado, se recebem letras diferentes, isso implica que são estatisticamente distintos (Antoniazzi *et al.*, 2020).

Resultados e discussão

Propriedades físicas do fibrocimento

Na Figura 3 estão apresentados os resultados da densidade aparente das amostras. Comparando os valores, percebe-se que a densidade aparente dos fibrocimentos não apresentou diferença estatisticamente significativa, mesmo com a utilização de aditivo incorporador de ar. De acordo com Silva *et al.* (2020), quanto menor a densidade do fibrocimento, mais leve é o compósito e menor será a carga permanente atribuída a estrutura da edificação.

Contudo, é possível notar que as amostras de fibrocimento com o aditivo incorporador de ar apresentaram porosidade maior conforme visto na (Figura 4). No entanto, a absorção de água manteve-se similar ao das outras amostras. Isso pode ser explicado, pois, os aditivos incorporadores de ar são responsáveis por incorporar ar na matriz cimentícia, e pode resultar em um material cimentício menos permeável devido à presença de poros não conectados em seu interior (Cordeiro, 2018). Além disso, observa-se uma diferença significativa nos resultados de porosidade entre os compósitos de fibrocimento (MV-RT_RA2) e as amostras contendo incorporadores de ar e redutor de água (MV-RT_RA2_IA e MV-RT_RA2_RA1), com valores de 14,86%, 21,01% e 15,16%, respectivamente. Resultados semelhantes de porosidade, devido à utilização de teor 0,8% de incorporador de ar foram obtidos por Mendes *et al.* (2017). Além disso, não houve diferença estatística entre as amostras de referência (MV-RT_RA2) e as amostras com aditivos incorporadores de ar e redutor de água (MV-RT_RA2) e as amostras de referência (MV-RT_RA2) e as amostras com aditivos incorporadores de ar e redutor de água (MV-RT_RA2) e as amostras com aditivos incorporadores de ar e redutor de água (MV-RT_RA2) e as amostras com aditivos incorporadores de ar e redutor de água (MV-RT_RA2) e as amostras com aditivos incorporadores de ar e redutor de água (MV-RT_RA2) e as amostras com aditivos incorporadores de ar e redutor de água (MV-RT_RA2_IA e MV-RT_RA2_IA e MV-RT_RA2_RA1) em relação à absorção de água.

Mendes *et al.* (2017), pesquisaram argamassa produzida com aditivo incorporador de ar e observou que a dosagem inferior 0,4%, a permeabilidade da argamassa não se altera com o aumento do teor de ar incorporado. Nesse caso, os poros desenvolvidos não contribuem para a penetração da água na matriz. São bem distribuídos, de forma que não haja ligação entre eles, e/ou interrompam os canais capilares próximos à superfície, impedindo a penetração de água. Já em relação às misturas com 0,8%, os tamanhos dos poros, sua quantidade e distribuição permitem que a água penetre mais profundamente na matriz. Contudo, na presente pesquisa, observou-se que o teor de 0,8% de IA não afetou a permeabilidade.

Propriedades mecânicas

Na Figura 5 estão apresentados os resultados de resistência à flexão dos fibrocimentos produzidos. Observouse que o valor de resistência de tração na flexão de 15,46 MPa para a amostra (MV-RT_RA2) encontrado foi inferior em comparação com os valores de 19,73 e 25,53 MPa das amostras MV-RT_RA2_IA e MV-RT_RA2_RA2, respectivamente, conforme apresentado na Figura 5. Estes resultados são consistentes com a resistência mecânica dos compósitos de fibrocimentos e demonstram que as amostras mais resistentes são mais rígidas.





Nota: médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott - Knott a 5% de significância.





Nota: médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott - Knott a 5% de significância.

Efeito da combinação de aditivos surfactantes em fibrocimento extrudado reforçado com fibras de sisal *in natura* 7 Soares, E. N. C.; Garcia, D. C. S.; Silva, D. W.; Martins, M. A.; Guimarães Junior, J. B. Figura 5 - Curvas tensão - deformação das amostras de fibrocimento, sendo MV-RT_RA2, MV-RT_RA2_IA e MV-RT_RA2_RA1



O estudo de Ferreira *et al.* (2022), revela que as argamassas mais resistentes são mais rígidas. Do ponto de vista da durabilidade dos revestimentos de argamassa, esta não é uma característica desejável, pois, via de regra, os revestimentos mais rígidos têm menor capacidade de absorver deformações e, portanto, são mais propensas as fissuras, além de facilitarem o acesso de água e agentes agressivos. Isso implica que as amostras de fibrocimento MV-RT_RA2 (Figura 5) com baixa resistência tiveram uma maior deformação. Quanto menor o valor de resistência, maior será sua deformação e, consequentemente, sua tenacidade. Isso indica que, em alguns casos, materiais com menor resistência podem apresentar uma capacidade de absorver mais energia antes da falha, tornando-os mais tenazes (Ferreira *et al.*, 2022).

A redução da resistência à flexão na amostra MV-RT_RA2_IA apresentado na Figura 5 é atribuída ao aumento do teor de ar incorporado na matriz cimentícia, o que está correlacionado com o resultado de maior porosidade (Figura 4). Isso valida que quanto maior for o teor de ar incorporado para uma mistura, maior será a redução de suas propriedades mecânicas (Büyükyağci; Tuzcu; Aras, 2009). Essa relação da diminuição da resistência mecânica com o aumento da porosidade também foi observada por Mendes *et al.* (2017).

A combinação de aditivos surfactantes nas amostras de fibrocimento MV-RT_RA2 e MV-RT_RA2_IA, com valores de módulo de ruptura de 9,2 e 10,3 MPa, respectivamente, conforme mostrado na Figura 6a, não apresentou diferença estatística significativa. No entanto, quando comparados com o valor de MOR de 14,48 MPa da amostra de MV-RT_RA2_RA1, observa-se um aumento. Além disso, na Figura 6b, são apresentados os valores de limite de proporcionalidade para as amostras MV-RT_RA2, MV-RT_RA2_IA e MV-RT_RA2_RA1, sendo os valores de 8,2, 8,9 e 12,48 MPa, respectivamente. Sendo assim, os resultados apresentam o limite de proporcionalidade menor que os resultados de módulo de ruptura, isso pode indicar que o material possui uma faixa mais ampla de deformação elástica antes da ruptura.

Os valores de módulo de elasticidade, mostrados na Figura 6c, de 5,6 e 6,3 GPa, respectivamente, para as amostras de referência (MV-RT_RA2) e MV-RT_RA2_IA, não revelaram diferença estatística significativa entre elas. No entanto, quando comparados com o valor de 7,8 GPa da amostra MV-RT_RA2_RA1, foi observado um aumento. Isso sugere que os valores mais altos de módulo de elasticidade podem indicar uma maior rigidez do fibrocimento, corroborando com os resultados de módulo de ruptura mais elevados confirmados na Figura 6a. O estudo de Pederneira, Veiga e Brito (2021) sugere que um baixo módulo de elasticidade contribui para uma melhor deformabilidade, enquanto uma alta resistência à flexão indica uma melhor resistência mecânica para suportar a carga aplicada. Portanto, os autores sugerem que as argamassas reforçadas com fibras de coco tendem a apresentar maior suscetibilidade à fissuração quando a relação entre módulo de elasticidade e resistência à flexão (E/f_t) for alta. Desta forma, acredita-se que o mesmo efeito possa estar ocorrendo com as fibras de sisal.

8

Figura 6 - Efeito da combinação de aditivos nas propriedades mecânicas: (a) Módulo de ruptura (MOR), (b) Limite de proporcionalidade (LOP), (c) módulo de elasticidade (MOE) e (d) tenacidade (TE) do fibrocimento reforçado com fibras de sisal *in natura*



Nota: médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott - Knott a 5% de significância.

A combinação dos aditivos da amostra (MV-RT_RA2_RA1) foi eficiente em manter as propriedades físicas do fibrocimento reforçado com fibras de sisal estáveis, e ao mesmo, resultou em um aumento da resistência a flexão, limite de proporcionalidade e módulo de elasticidade. Essa relação entre as propriedades mecânicas sugere que o fibrocimento possui uma maior rigidez e capacidade de suportar cargas antes da ruptura em comparação com as outras amostras. O aumento da porosidade nas amostras de fibrocimento reforçado com fibras de sisal, produzidas com aditivo incorporador de ar (MV-RT_RA2_IA), resultou em reduções significativas nos valores de módulo de Ruptura e módulo de Elasticidade em comparação com a amostra MV-RT_RA2_RA1. No entanto, as amostras de fibrocimento reforçado com fibras de sisal MV-RT_RA2_RA1, com os valores de tenacidade de 2,0, 2,40 e 2,7 kJ/m², respectivamente, não apresentaram diferença estatística significativa entre elas.

Pederneira, Veiga e Brito (2021) afirmam que, no que diz respeito às propriedades de flexão, é sabido que a adição de fibras de coco aumenta a resistência à flexão, a tenacidade à fratura e a ductilidade das argamassas. A explicação dada pelos autores foi que as fibras distribuem as tensões antes da ruptura. Além disso, a superfície das fibras de coco apresenta-se rugosa, o que proporciona uma melhor adesão interfacial entre a fibra e a matriz cimentícia. Deste modo, a mesma característica superficial foi observada na fibra de sisal e os resultados encontrados de resistência podem ter sido atribuídos à incorporação de fibras de sisal, e as alterações nas propriedades mecânicas podem ser motivadas pelo incremento e pela combinação dos aditivos nos compósitos de fibrocimento. Com base na classificação das amostras de fibrocimento como categoria C, classe 2, pela norma NBR 15498 (ABNT, 2021), que estabelece requisitos mínimos com valores de MOR de 7 MPa, as amostras MV-RT_RA2, MV-RT_RA2_IA e MV-RT_RA2_RA1 atendem aos requisitos mínimos para a categoria e classe especificada na norma. Sendo assim, as amostras podem ser consideradas adequadas para a aplicação como chapas cimentícias para piso não estrutural.

Microestrutura

A Figura 7 apresenta os resultados das análises térmicas das amostras produzidas. De acordo com Scrivener, Snellings e Lothenbach (2016), no ensaio de termogravimetria, a perda de massa entre 20-105 °C está associada à remoção da água livre presente nos poros do compósito cimentício, incluindo a água adsorvida na superfície dos materiais e a água não quimicamente ligada. No intervalo de temperatura aproximadamente entre 380-430 °C ocorre perda de massa relacionada à decomposição do hidróxido de cálcio (portlandita - $Ca(OH)_2$) presente na matriz cimentícia. Durante essa faixa de temperatura, o hidróxido de cálcio é desidratado e convertido em óxido de cálcio (CaO). Por fim, a faixa de temperaturas entre 617-707 °C está relacionada à decomposição térmica do carbonato de cálcio (CaCO₃). O carbonato de cálcio é um produto de hidratação do cimento e sua decomposição térmica resulta na liberação de dióxido de carbono (CO₂) e na formação de óxido de cálcio (Scrivener; Snellings; Lothenbach, 2016).

A redução na alcalinidade da matriz do compósito cimentício pode ser benéfica para evitar a degradação das fibras vegetais, como destacado por Castoldi *et al.* (2022). Em compósitos cimentícios, a hidratação do cimento pode resultar no acúmulo de grandes cristais de portlandita, que tendem a se depositar nas proximidades das fibras, prejudicando a ancoragem entre a matriz e o reforço, conforme observado por Gualberto *et al.* (2021). No entanto, a redução na quantidade de portlandita pode contribuir para a resistência a agentes agressivos, aumentando a durabilidade do compósito. Além disso, pode auxiliar na redução da retração por secagem do fibrocimento, ajudando a minimizar o desenvolvimento de fissuras.

A difração de raios-X foi realizada com o intuito de avaliar se a combinação de aditivos afetaria os produtos hidratados formados e os resultados estão apresentados na Figura 8. Pode-se observar que não houve alteração dos produtos cristalinos presentes nas três amostras. A presença de carbonato de cálcio é explicada pela incorporação de carbonato de cálcio para produção do fibrocimento. O hidróxido de cálcio corresponde a um produto de hidratação do cimento Portland. Pode-se observar um leve aumento dos picos característicos do CH na amostra MV-RT_RA2. Esses resultados corroboram com o observado na termogravimetria (Figura 7). A presença de C₂S é explicada pela presença de partículas anidras no fibrocimento, uma vez que a quantidade de água utilizada é de apenas 0,3.

Na Tabela 3, são apresentadas as quantidades de portlandita (Ca(OH)₂ ou CH) e carbonato de cálcio, ou calcita (CaCO₃), nos compósitos de fibrocimento calculados a partir da Figura 7. Observa-se que houve um leve aumento da quantidade de CH e CaCO₃ nas amostras com utilização de aditivo incorporador de ar (MV-RT_RA2_IA) e no redutor de água tipo 1 (MV-RT_RA2_RA1). Portanto, a presença das bolhas de ar pode ter facilitado a formação de CH. Isso explicaria o leve aumento de CH nas amostras com IA e RA1, respectivamente. De acordo com Bernardes, (2013), a presença de poros facilita a formação de cristais de CH, devido a mais espaço disponível.

Imagens de MEV foram realizadas para analisar os compostos hidratados, a presença de poros e a interação matriz/fibra. Na Figura 9 estão apresentadas imagens ilustrativas de elétrons secundários, com suas imagens binárias dos poros. Note que essas imagens foram realizadas em superfície de fratura com foco nas fibras. Realizando uma análise semi-quantitativa, a amostra referência MV-RT_RA2 apresentou porosidade de 4,78%, a amostra MV-RT_RA2_IA de 6,24% e a amostra MV-RT_RA2_RA1 de 4,81%. Além disso, parece haver a tendência de aumento de poros de maior diâmetro na amostra com incorporador de ar. A porosidade foi determinada pela área ocupada pelos poros em função da área total da imagem. Além disso, os poros estão distribuídos de maneira homogênea por toda a matriz cimentícia. Contudo, não se observa uma alteração significativa na distribuição, tamanho ou quantidade de poros na matriz de cimento é comum, pois é resultado dos componentes do material e do processo de mistura. Isso significa que é esperado que haja porosidade em todas as amostras, e a presença desses poros pode afetar as propriedades físicas e mecânicas do compósito.

Na Figura 10, são apresentadas as imagens de elétrons retroespalhados de seção polida. É evidente a presença de fissuras, agregados e fibras de sisal em todas as amostras. Além disso, é possível notar a presença de partículas anidras de cimento, o que corrobora com os resultados de DRX (Figura 8).

Observa-se na Figura 10, que as fissuras estão se propagando pelo material, entretanto, são interrompidas nas fibras. No caso dos agregados, as fissuras os atravessam. Segundo Costa (2015), em sua pesquisa menciona que as fibras como reforço no compósito cimentício podem prevenir a propagação de fissuras. No entanto, a presença de poros pode comprometer a eficácia dessas fibras, especialmente se os poros estiverem localizados em regiões onde as fissuras são mais propensas a se desenvolver. É importante notar que as imagens das Figuras 9 e 10 são imagens da microestrutura com foco nas fibras e na matriz cimentícia, não sendo direcionadas para os poros. Contudo, como evidenciam as Figuras 5 e 6, a resistência mecânica está

diretamente relacionada à porosidade, conforme demonstrado na Figura 4. Por exemplo, a amostra MV-RT_RA2_IA, caracterizada por alta porosidade, apresentou baixa resistência à flexão em comparação com as demais amostras.



Figura 7 - Análise termogravimétrica (TG) e termogravimetria derivada (DTG) das amostras de fibrocimento reforçado com fibras de sisal e relação água/cimento = 0,30 aos 28 dias

Figura 8 - Difratogramas das amostras de fibrocimento



Tabela 3 - Quantidade de hidróxido de cálcio (% CH) e carbonato de cálcio (% CO) nas amostras de compósitos de fibrocimento

Intervalo de temperatura (°C)	MV-RT_RA2	MV-RT_RA2_IA	MV-RT_RA2_RA1
Perda 1: 380 a 430	6,207%	7,852%	6.048% (1.402mg)
СН	(1,359 mg)	(1,647 mg)	0,948% (1,405mg)
Perda 2: 617 a 707	27,455%	32,477%	30,250% (6,228mg)

Efeito da combinação de aditivos surfactantes em fibrocimento extrudado reforçado com fibras de sisal *in natura* 11 Soares, E. N. C.; Garcia, D. C. S.; Silva, D. W.; Martins, M. A.; Guimarães Junior, J. B.

ISSN 1678-8621		Ambiente	Construído, Porto Alegre,	v. 25, e138066,	jan./dez.	2025.
	CaCO ₃	(6,011 mg)	(6,811 mg)			

Figura 9 - MEV das placas de fibrocimento reforçados com fibra de sisal *in natura*: a) Amostra de referência (MV-RT_RA2), b) MV-RT_RA2_IA e c) MV-RT_RA2_RA1



Figura 10 - Imagens de micrografias (MEV-BSE) de superfície de fibrocimento reforçados com fibra de sisal natural: (a) referência (MV-RT_RA2), (b) MV-RT_RA2_IA e (c) MV-RT_RA2_RA1



Conclusões

A partir dos resultados obtidos pode-se inferir as seguintes conclusões:

(a) é possível obter fibrocimento reforçado com fibras de sisal *in natura*, combinadas com aditivos para melhorar sua interação com a matriz cimentícia;

Efeito da combinação de aditivos surfactantes em fibrocimento extrudado reforçado com fibras de sisal *in natura* 13 Soares, E. N. C.; Garcia, D. C. S.; Silva, D. W.; Martins, M. A.; Guimarães Junior, J. B.

- (b) a utilização da combinação dos aditivos, incluindo 0,8% de incorporador de ar, provocou alterações nas propriedades de porosidade aparente, resistência à flexão e módulo de elasticidade dos compósitos em comparação com a amostra MV-RT_RA2_RA1;
- (c) o compósito MV-RT_RA2_RA1, contendo 0,6% de aditivo redutor de água à base de lignosulfonato, apresentou os maiores resultados de módulos de ruptura e elasticidade e limite de proporcionalidade em relação às demais amostras;
- (d) as propriedades de absorção de água, densidade aparente e tenacidade não foram alteradas com ação combinadas dos aditivos no compósito de fibrocimento.;
- (e) pode-se observar que não houve alteração nos produtos cristalinos presentes nas três amostras, conforme demonstrado nos difratogramas; e
- (f) a presença das fibras de sisal como reforço no fibrocimento restringiu a abertura das fissuras nas amostras, conforme observado nas imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Referências

AKINYEMI, B. A.; ADESINA, A. Utilization of polymer chemical admixtures for surface treatment and modification of cellulose fibres in cement-based composites: a review. **Cellulose**. v. 28, n. 3, p. 1241–1266, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 948-81: test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass-fiber reinforced concrete. West Conshohocken, 2023.

ANTONIAZZI, J. P. *et al.* Ação dos aditivos estabilizadores de hidratação e incorporador de ar em pastas de cimento Portland. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 249-262, jul./set. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15498: placa plana cimentícia sem amianto: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FIBROCIMENTO. **O fibrocimento**. Disponível em: https://anfibro.org.br/o-fibrocimento. Acesso em: 24 abr. 2024.

ATAHAN, H. N. *et al.* The morphology of entrained air voids in hardened cement paste generated with different anionic surfactants. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 7, p. 566-575, 2008.

BAHJA, B. *et al.* Morphological and structural analysis of treated sisal fibers and their impact on mechanical properties in cementitious composites. **Journal of Building Engineering**, v. 34, p. 1-9, 2021.

BALDINO, N. *et al.* Rheological behaviour of fresh cement pastes: Influence of synthetic zeolites, limestone and silica fume. **Cement and Concrete Research**, v. 63, p. 38–45, 2014.

BÜYÜKYAĞCI, A.; TUZCU, G.; ARAS, L. Synthesis of copolymers of methoxy polyethylene glycol acrylate and 2- acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid: its characterization and application as superplasticizer in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 39, n. 7, p. 629-635, 2009.

CASTOLDI, R. *et al.* Effect of alkali treatment on physical-chemical properties of sisal fibers and adhesion towards cement-based matrices. **Construction and Building Materials**, v. 345, 2022.

CORDEIRO, P. C. Estudo do avanço da frente de carbonatação em compósitos cimentícios produzidos com baixos teores de aditivos incorporadores de ar. Belo Horizonte, 2018. 163 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

COSTA, F. B.F. Análise da durabilidade de compósitos cimentícios de elevada capacidade de deformação reforçados com fibras. Porto Alegre, 2015. 169 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

FERREIRA, R. L. S. *et al.* Effects of particle size distribution of standard sands on the physical-mechanical properties of mortars. **Materials**, v. 16, p. 1-16, 2023.

FIGUEIREDO, A. D.; CECCATO, M. R. Workability analysis of steel fiber reinforced concrete using slump and Ve-Be test. **Materials Research**, v. 18, n. 6, p. 1284-1290, 2015.

FONSECA, C. S. *et al.* Jute fibers and micro/nanofibrils as reinforcement in extruded fiber-cement composites. **Construction and Building Materials.** v. 211, n. 30, p. 517-527, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The state of food insecurity in the world 2021. Meeting the 2021. Available: https://www.fao.org/home/search/en/?q=SISAL. Access: 20 sep. 2021.

GALICIA-ALDAMA E. *et al.* Behaviour of cement paste added with natural fibres. **Construction Building Materials**, v. 198, n. 20, p. 148–157, 2019.

GUALBERTO, S. L. *et al.* Tratamento de fibras de sisal com lignosulfonato para aprimoramento das propriedades dos compósitos de fibrocimento. **Revista Virtual Química**, p. 1-11, 2021.

HEDJAZI, S.; CASTILLO, D. Relationships among compressive strength and UPV of concrete reinforced with different types of fibers. **Heliyon**, v. 6, p. 1-12, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Agricultura, pecuária e outros**. Rio de Janeiro: IBGE; 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/sisal-fibra/br. Access: 10 jun. 2023.

KESIKIDOU, F.; STEFANIDOU, M. Natural fiber-reinforced mortars. Journal of Building Engineering, v. 25, 2019.

KIM, Y. J. *et al.* Investigation of rheological properties of blended cement pastes using rotational viscometer and dynamic shear rheometer. Advances in Materials Science and Engineering, p. 1–6, 2018.

MANGANE, M. B. C. *et al.* Influence of superplasticizers on mechanical properties and workability of cemented paste backfill. **Minerals Engineering**. v. 116, n. 3, p. 3-14, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete**: microstructure, properties, and materials. New York: McGraw-Hill. 2014.

MENDES, J. C. *et al.* Mechanical, rheological and morphological analysis of cement-based composites with a new LAS-based air entraining agent. **Construction and Building Materials**, v. 145, p. 648-661, 2017.

MORDOR INTELLIGENCE. **Tamanho do mercado de fibrocimento e análise de participação**: tendência e previsões de crescimento (2024-2029). Índia, 2024. Disponível em: https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/fiber-cement-market. Acesso em: 24 abr. 2024.

NG, L. F. *et al.* A comparison study on the mechanical properties of composites based on kenaf and pineapple leaf fibres. **Polymer Bulletin**, v. 77, p. 1449–1463, 2020.

PEDERNEIRAS, M.; VEIGA, R.; BRITO, J. Physical and mechanical performance of coir fiber-reinforced rendering mortars. **Materials**, v. 14, p. 823, 2021.

RAABE, J. *et al.* Impact of nanosilica deposited on cellulose pulp fibers surface on hydration and fibercement compressive strength. **Construction and building materials**, v. 326, 2022.

RILEM. **Test and Method methods for steel fiber reinforced concrete**. Recommendations for uniaxial tension test, Materials and Structures. Prepared by RILEM- Committee- TDF-162, 1984.

ROMANO, R. C. O.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 289-308, abr./jun. 2018.

SANTOS, V. *et al.* Fiber-cement composites hydrated with carbonated water: effect on physical-mechanical Properties. **Cement and Concrete Research**, v. 124, p. 2-9, 2019.

SCHMIDT, W. *et al.* Rheology modifying admixtures: the key to innovation in concrete technology, a general overview and implications for Africa. **Change**, v. 4, n. 5, 2013.

SCRIVENER, K.; SNELLINGS, R.; LOTHENBACH, B. A practical guide to microstructural analysis of cementitious materials. New York: Taylor & amp; Francis Group, 2016.

SENTHILKUMAR, K. *et al.* Mechanical properties evaluation of sisal fibre reinforced polymer composites: a review. **Construction and Building Materials**, v. 174, p. 713-729, 2018.

SILVA, D. W. *et al.* Superabsorbent ability polymer to reduce the bulk density of extruded cement boards. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 103130, 2021.

Efeito da combinação de aditivos surfactantes em fibrocimento extrudado reforçado com fibras de sisal *in natura* 15 Soares, E. N. C.; Garcia, D. C. S.; Silva, D. W.; Martins, M. A.; Guimarães Junior, J. B.

SILVA, D. W. *et al.* Influence of thermal treatment of eucalyptus fibers on the physical-mechanical properties of extruded fiber-cement composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 31, p. S348-S352, 2020.

SOTO, Y. J. M. Adequação de formulações para a produção de placas de fibrocimento por extrusão. São Paulo, 2010. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TEIXEIRA, F. P. et al. Thermal degradation of fibers. BioResources. v. 14, n. 1, p. 1494-1511, 2019.

TOPÇU, I. B.; ATESIN, O. Effect of high dosage lignosulphonate and naphthalene sulphonate based plasticizer usage on micro concrete properties. **Construction and Building Materials**, v. 120, 2016.

VEIGAS, M.; NAJIMI, B.; SHAFEI, B. Cementitious composites made with natural fibers: investigation of uncoated and coated sisal fibers. **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, 2022.

YOO, D. Y.; SHIN, W.; CHUN, B. Corrosion effect on tensile behavior of ultra-highperformance concrete reinforced with straight steel fibers. **Cement Concrete Composite**. v.109, p. 1-16, 2021.

Elizeth Neves Cardoso Soares

Conceitualização, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia de Biomateriais | Universidade Federal de Lavras | Trevo Rotatório Professor Edmir Sá Santos, s/n | Caixa Postal 3037 | Lavras - MG - Brasil | CEP 37203-202 | Tel.: (37) 99802-8613 | E-mail: elizethcard2017@gmail.com

Dayana Cristina Silva Garcia

Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia de Materiais e Construção | Universidade Federal de Minas Gerais | Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Pampulha | Belo Horizonte - MG - Brasil | CEP 31270-901 | Tel.: (31) 3409-1964 | E-mail: dayanacsgarcia@ufmg.br

Danillo Wisky Silva

Supervisão e experimentos.

Departamento de Engenharia de Biomateriais | Universidade Federal de Lavras | Tel.: (35) 98462-9449 | E-mail: danilowisky@hotmail.com

Maria Alice Martins

Validação de dados e experimentos, Redação - revisão e edição.

Laboratório de Nanotecnologia para Agronegócio | Embrapa Instrumentação | Rua XV de Novembro, 1452, Centro | São Carlos - SP - Brasil | CEP 13561-206 | Tel.: (16) 2107-2800 | E-mail: maria-alice.martins@embrapa.br

José Benedito Guimarães Junior

Administração do projeto, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia química e de materiais | Universidade Federal de Lavras | Tel.: (35) 3829-1436 | E-mail: jose.guimaraes@ufla.br

Editor: Marcelo Henrique Farias de Medeiros

Ambiente Construído Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3° andar, Centro Porto Alegre - RS - Brasil CEP 90035-190 Telefone: +55 (51) 3308-4084 www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido www.scielo.br/ac E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.