

Compostos cimentícios reforçados com fibra de baixo impacto ambiental comportamento mecânico

C. A. Juárez-Alvarado¹, J. R. González López*¹, J. M. Mendoza-Rangel¹, A. A. Zaldivar Cadena¹

* Autor de Contato: rhodio@hotmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i2.189>

Recepción: 16/03/2017 | Aceptación: 27/05/2017 | Publicación: 31/05/2017

RESUMO

Este artigo apresenta algumas importantes propriedades mecânicas obtidas numa pesquisa de materiais cimentantes reforçados com fibras, nos quais foram utilizados consumos moderados e altos de cinza volante (fly ash, FA), em substituição ao cimento Portland (20%, 40% e 60%), com o objetivo de produzir elementos primários de baixo impacto ambiental. Os resultados experimentais mostraram que a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e a resistência à flexão, aumentaram em relação ao de referência, para as misturas de a/cm = 0,60 e 20% de substituição. Para os demais casos de substituição foram encontradas resistências e módulo mais baixos que o de referência. Os resultados mostraram que pode ser viável o uso desses materiais cimentantes reforçados com fibras, como alternativa de construção primária de baixo impacto ambiental

Palabras chave: fibra; cimento; compósitos; cinzas volantes, material de impacto.

Citado como: C. A. Juárez-Alvarado, J. R. González López, J. M. Mendoza-Rangel, A. A. Zaldivar Cadena (2017). “Compostos cimentícios reforçados com fibra de baixo impacto ambiental comportamento mecânico”, Revista ALCONPAT, 7 (2), pp. 135-147, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i2.189>

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2018 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2017.

Low impact fiber reinforced material composite

ABSTRACT

This article investigates the mechanical behavior of fiber-reinforced cementitious composites using moderate to high contents of fly ash (FA) as a replacement for cement; the goal is to create primary building elements with low environmental impact. The experimental results showed that the compressive strength, modulus of elasticity, and post-cracking flexural strength for specimens with $w/cm = 0.60$ and 20% FA substitution increased with respect to the control. Moreover, the specimens with high FA substitutions had significantly lower mechanical strength values and elastic modulus values. The results indicate that it is feasible to use fiber-reinforced concrete composites as an alternative for low-environmental impact primary construction.

Keywords: fiber; cementitious; composites; fly ash, impact material.

Compostos cimentícios reforçados com fibra de baixo impacto ambiental comportamento mecânico

RESUMEN

El presente texto expone los resultados del estudio del comportamiento mecánico de compuestos cementantes fibroreforzados utilizando consumos moderados y altos de ceniza volante (CV) en sustitución de volúmenes determinados de cemento (20%, 40% y 60%), con el objetivo de producir elementos constructivos primarios de bajo impacto ambiental. La experimentación realizada indicó que el esfuerzo a compresión, el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión post agrietamiento, para los especímenes con relación $a/mc = 0.60$ y con 20% de sustitución con CV registraron incrementos en sus valores con respecto al control para ambas edades. No se evidenció deterioro en las mallas de fibras naturales por la exposición al medio alcalino. Los resultados hasta ahora obtenidos indican que es viable el uso de estos compuestos cementantes fibroreforzados como alternativa de construcción primaria de bajo impacto ambiental.

Palabras clave: fibra; cementicios; compuestos; ceniza volante, material de impacto

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção utiliza, cada vez mais, projetos com foco numa mudança de compromisso e responsabilidade com o resultado a ser construído. A investigação de materiais de construção intensificou a atenção a essas ideias, dado que muitos autores questionam sobre o significado da construção sustentável, entendido como aquela que considera o impacto ambiental de todos os processos envolvidos na construção, a partir da seleção de materiais até a destinação final de resíduos da mesma no seu arranjo final, e integralmente gerar o menor impacto ambiental possível.

Neste contexto, também deve considerar a localização dos edifícios e suas emissões ao meio ambiente, o consumo de energia dos mesmos, bem como a possível reciclagem de resíduos após a demolição do edifício quando se cumpriu a sua função ou ciclo de vida (Alfonso, 2003; Gundes 2016). Tendo em conta esta definição, devem-se considerar todos os critérios para o projeto sustentável, que envolve uma análise da localização, seu processo construtivo, utilização ou demolição, a fim de minimizar as circunstâncias que poderiam causar a deterioração do ambiente natural em cada um dos tais passos.

O desenvolvimento de edifícios é uma demanda social e a aplicação de novos materiais e métodos de construção que têm como premissa tanto a economia como o baixo impacto ambiental, podem-se pensar em uma possível solução para a demanda iminente da habitabilidade

básica para países de economias emergentes. Considerando algumas taxas aproximadas de crescimento, conforme relatado no relatório das Nações Unidas de 2013 (Population Reference Bureau, 2014), espera-se que em 2050 o mundo terá 9.600 milhões de habitantes, ou seja, 33% a mais dos aproximadamente 7.200 milhões de hoje. Além disso, os países pobres ou em desenvolvimento aumentará mais de sua população (Population Reference Bureau, 2014).

Este fato leva à suposição de que a habitação deve ser oferecida anualmente para acomodar 65 milhões de pessoas, que envolve a construção de cerca de 15 milhões de novas moradias. Isso significa que terá 600 milhões de metros quadrados (na proporção de 40 m² por família) que equivale a produzir e utilizar cerca de 400 milhões de metros cúbicos, ou cerca de um bilhão de toneladas de materiais, componentes e subsistemas anualmente, apenas para atender construção de novas casas (Salas & Oteiza, 2008).

Aunado a esto, se debe considerar también, el incremento de emisiones de CO₂, consumo energético masivo, daños al paisaje natural, la explotación de recursos naturales, problemas de durabilidad y otros tantos factores para la producción de materiales y construcción de estos complejos habitacionales.

Por estos motivos la propuesta de desarrollar materiales de construcción alternativos a los que se emplean de manera convencional para cuya producción se genere un menor impacto ambiental y con bajos costos es una solución real a las condiciones mundiales de habitabilidad.

Além disso, também se deve considerar o aumento das emissões de CO₂, consumo excessivo de energia, danos à paisagem natural, exploração dos recursos naturais, problemas de durabilidade e muitos outros fatores para a produção de materiais e construção destes complexos habitacionais.

Por estas razões, a proposta de desenvolver materiais de construção alternativos que são convencionalmente utilizados, cuja produção gera menos impacto ambiental e com baixo custo, é uma solução real para as condições mundiais de habitabilidade.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Materiais com baixo impacto ambiental

O uso e reutilização de matérias-primas alternativas são generalizados em todo o mundo, a fim de obter materiais com baixo impacto ambiental. Tal é o caso do Uruguai, onde foi usado um sistema de construção, utilizando blocos de solo-cimento elaborados com elevadas cargas de compressão para conferir alta resistência, durabilidade e excelente isolamento térmico (Patrone, Garcia & Nigro, 2005). Na Venezuela, as fundações são de pedra combinadas com a terra, e telhados de madeira e para as paredes fardos de palha revestidos com cal ou terra para protegê-los contra agentes externos (Patrone, García & Nigro, 2005). Em Cuba, foram determinadas as propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade do concreto feito com 25% e 100% dos agregados graúdos reciclados usando adições ativas e inertes. Os resultados mostram que o concreto com agregado reciclado feito com adições ativas melhorou a durabilidade do concreto convencional (Pavo, Etxeberría & Martínez, 2011).

No Chile, são projetadas casas onde a fundação é baseada em pedra com uma estrutura de madeira e betume colocados dentro de malhas de metal e revestidos com argila (Patrone, Garcia & Nigro, 2005). No México, a utilização do solo, cal ou cimento Portland como um estabilizador, restos de cacto e água misturados, permitiram fazer blocos de terra comprimidos (BTC) utilizados em vários tipos de habitação para reduzir custos e emissões de CO₂ (Roux 2010). Além disso, têm-se realizado estudos com materiais cimentícios com baixo impacto ambiental quem tem utilizado fibras que reduzem o uso de aço de reforço estrutural. Geralmente, as fibras podem ser classificadas de acordo com a sua origem em vegetal (a partir de caules ou folhas), minerais (amianto) e feitas pelo homem (aço, vidro e polímeros). Houve uma pesquisa sobre a utilização

de fibras vegetais, como uma alternativa às fibras minerais para reforçar os materiais cimentícios (Juarez, Valdez & Duran, 2004).

Estas fibras podem ser consideradas como um "material verde" ou amigável com o meio ambiente e são uma opção viável para os próximos anos. Além disso, são encontradas em todo o mundo para uso como material de reforço em uma matriz cimentícia e podem ser consideradas uma alternativa econômica e de baixo impacto ambiental para a construção.

Para determinar a viabilidade das fibras como material de reforço é necessário um estudo das suas propriedades e sua morfologia (Pacheco-Torgal, Jalali, 2011; Jarabo, Monte, White & Tijero, 2012). Tem havido muitas contribuições tecno científicas sobre a utilização de fibras naturais, tais como as provenientes do côco, sisal, bagaço de cana, bambu, palma, juta e madeira, devido à sua abundância em certas regiões do mundo (Pacheco-Torgal Jalali, 2011). Nos últimos anos tem havido um interesse crescente na utilização destas fibras como reforço em materiais cimentícios. Algumas pesquisas têm mostrado que utilizadas como reforço, apresentam propriedades comparáveis e competitivas para os concretos armado convencionais (Aziz & Lee 1984; ACI, 1998).

Adicionalmente à utilização de fibras vegetais como um substituto para a armadura pode-se reduzir o impacto ambiental com a adição de materiais de resíduos industriais de cimento como compostos substitutos de cimento, tal é o caso das cinzas volantes. O benefício desta substituição encontra-se na redução do consumo de cimento, um componente principal de concreto, mas que tem a desvantagem ecológica de liberar uma grande quantidade de CO₂ e outros gases prejudiciais para o ambiente durante a sua produção (USGS, 2015). Além disso, a utilização das cinzas volantes como um substituto para uma determinada quantidade de cimento no concreto é justificada por duas razões adicionais: poupanças econômicas resultantes da redução do cimento utilizado e as alterações microestruturais motivadas pela substituição. Este segundo ponto existe um consenso de que as cinzas geram um concreto mais denso e uma redução do tamanho médio dos poros.

2.2 Aspectos de durabilidade

Outro aspecto importante a considerar em materiais com baixo impacto ambiental está ligado à sua durabilidade em serviço. Verificou-se que a substituição parcial de cimento portland com cinzas volantes em quantidades que variam de 50% a 60% conduz a materiais cimentícios com melhor desempenho de durabilidade (Malhotra 2001). No entanto, é necessário considerar que a utilização de fibras naturais na matriz cimentícia apresenta uma série de problemas relacionados com a sua natureza orgânica. Diversos estudos descobriram que há uma degradação das fibras naturais, quando elas são incorporadas na matriz cimentícia, porque ambientes de elevada alcalinidade dissolvem os compostos primários das fibras, tais como a lignina e hemicelulose e, conseqüentemente, a sua microestrutura enfraquece (Stancato, Burke & Beraldo de 2005, Sedan, Pagnoux, Smith & Chotard, 2008; Kriker, Bali, Debicki, Bouziane & Chabannet, 2008).

Outro fator a considerar é a elevada absorção que as fibras naturais apresentam (Savastano, Warden e Coutts 2005). Para reduzir este fenômeno tem sido relatado o uso de substâncias orgânicas para o seu revestimento, limitando a porcentagem de absorção da fibra em 4% (Alawar, Hamed e Al-Kaabi 2009; Bilba e Arsene 2008); outras alternativas estão no uso de fornos (Claramunt, Ardanuy, García-Hortal & Filho, 2011).

Tem sido utilizada também a modificação da alcalinidade da matriz usando cimentos compostos adicionando pozolanas, tais como cinza volante, cascas de arroz e bagaço de cana (Agopyan et al 2005; Gutierrez, Diaz e Delvasto 2005; Savastano Warden e Coutts 2003). No entanto, verificou-se que o uso destes materiais cimentícios suplementares não garante necessariamente a não-degradação das fibras, porque os diferentes compostos na mesma não reduzem substancialmente a alcalinidade da matriz cimentícia (Mohr, Biernacki e Kurtis 2007; John 2005; Tonoli et al 2010). Nesta perspectiva, o objetivo de investigação no presente artigo é estudar o

comportamento mecânico de compostos de cimento com baixo impacto ambiental, utilizando como reforço fibras vegetais incorporadas na matriz binária utilizando diferentes porcentagens de cinzas volantes em substituição do cimento.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Materiais

Neste estudo utilizou-se fibra vegetal da família do agave conhecido como "Lechuguilla" com a qual foi formada uma malha do tipo têxtil. Além disso, foi empregado o cimento Portland CPC 30R, cinzas volantes (CV) e agregados calcários de dimensão máxima de 10 mm para a brita e 4,75 milímetros para a areia. A CV é uma pozolana artificial encontrada na planta Río Escondido, localizado em Piedras Negras, Coahuila. A composição química do cimento e CV estão mostradas na Tabela 1. A CV foi utilizada em porcentagens de 20, 40 e 60% em substituição do cimento para duas diferentes relações água/ligante (a/cm) de 0,60 e 0,70. O consumo de cimento utilizado foi de 350, 280, 210 e 140 kg/m³, para 0, 20, 40 e 60% de CV em substituição, respectivamente.

Tabela 1. Composição química dos materiais cimentícios (% em massa).

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
Cinza Volante	63.93	24.32	4.29	2.34	0.78	0.20
Cimento Portland	17.55	4.7	1.77	64.74	1.23	0.37

3.2 Fabricação da malha

A malha tipo têxtil à base de fibra vegetal tem dimensões de 1100 x 600 mm e foi elaborada em forma de rede, como visto na Figura 1. A ligação dos perfis longitudinais e transversais para formar a malha foi conduzida utilizando um adesivo polimérico aplicado nos seus pontos de contato, o qual foi deixado secando durante 24 horas a 23°C no laboratório. Para evitar afetar a própria lignina - componente primário da fibra vegetal – contra o meio alcalino da matriz cimentícia, se impregnou com uma substância a base de parafina (Malhotra, 2001).

A malha foi introduzida num forno a 100°C durante 24 horas para secar a umidade do ambiente nas fibras e, assim, terem a condição seca. Em seguida, a parafina foi fundida a cerca de 67°C. Como visto na Figura 1, a malha foi impregnada durante 5 min, em seguida, deixada a secar a temperatura ambiente durante 30 min.

Em adição à proteção contra o meio alcalino da matriz cimentícia, o revestimento permitirá reduzir significativamente a absorção de umidade da fibra. Isto aumenta a sua durabilidade dentro da matriz cimentícia e, portanto, a resistência do compósito é preservada.

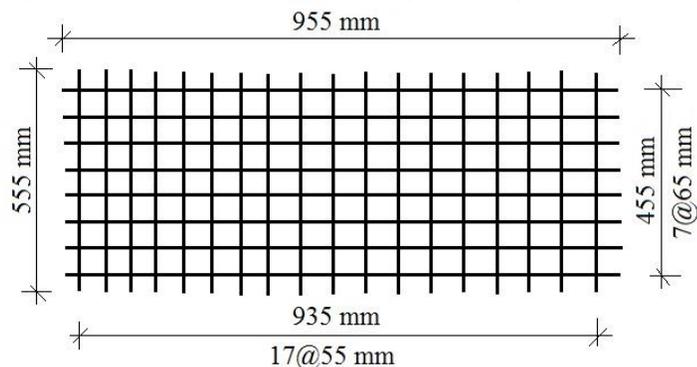




Figura 1. Arranjo e impregnação do tecido de fibras naturais.

3.3 Mistura, colagem e cura

Foram feitos 32 painéis duplicados de 960 x 560 x 50 mm reforçados com malha de fibra natural e 48 corpos de prova de concreto triplicados de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. Os traços de concreto utilizados estão mostrados na Tabela 2. Foi utilizada uma betoneira com capacidade de 100 L. O concreto foi misturado de acordo com a norma ASTM C192 e o ensaio de abatimento foi realizado de acordo com a norma ASTM C143. Os processos de moldagem e de cura foram realizados de acordo com a ASTM C 31.

Tabela 2. Traços de concreto (kg/m³)

a/mc	0.60				0.70			
	0%	20%	40%	60%	0%	20%	40%	60%
Materiais								
Água	229	229	229	229	263	263	263	263
Cimento	350	280	210	140	350	280	210	140
CV	0	70	140	210	0	70	140	210
Brita	705	698	690	682	667	659	652	644
Areia	1055	1043	1032	1020	998	986	975	963
Abatimento (cm)	9.0	10.5	11.5	13.0	23.5	24.5	25.5	26.5

A concretagem dos painéis fibroreforçados foi realizado em duas camadas de cerca de 25 mm cada uma. A primeira camada foi compactada utilizando 15 golpes com um martelo sobre as faces laterais da forma em madeira, depois foi colocada a rede manualmente no meio da espessura do painel, e em seguida foi compactada numa mesa vibratória durante um período de 1 minuto. Para a segunda camada foi efetuado o mesmo processo de colagem e compactação da primeira, a malha foi mantida no meio da espessura e finalizou com o acabamento da superfície da peça.

3.4 Ensaio mecânicos

Os ensaios mecânicos dos painéis reforçados com fibra e dos corpos de prova de concreto foram realizados em duas idades entre 2 e 4 meses para cada relação a/mc. Os corpos de prova de concreto foram ensaiados à compressão de acordo com a norma ASTM C39 e o seu módulo de elasticidade de acordo com ASTM C469 nas idades estabelecidas e para as diferentes porcentagens de CV. Da mesma forma, os painéis de concreto reforçado com fibra de foram ensaiados a flexão através da aplicação de uma carga nos terços do painel, o vão livre entre os apoios foi de 900 mm, a deformação foi medida no meio vão por um transdutor de deslocamento (LVDT), os dados foram registrados em um sistema de aquisição de dados. Na Figura 2 se apresenta o ensaio de flexão dos painéis.

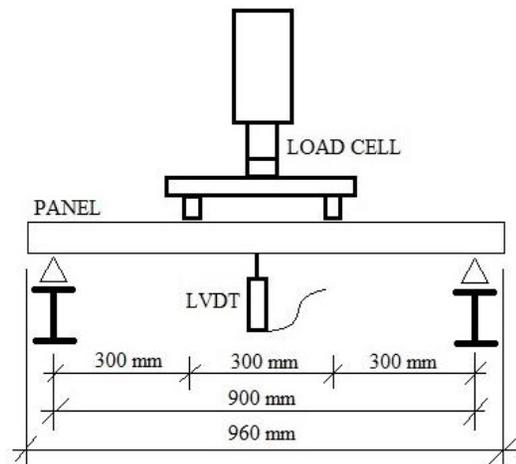


Figura 2. Ensaio de flexão dos painéis reforçados com fibra.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Tensão de compressão e módulo de elasticidade

Na Figura 3 apresenta-se o efeito da substituição de 20% do cimento por CV na resistência à compressão obtida em corpos de prova de concreto. O resultado mostra que permanece praticamente o mesmo valor de controle para ambas as relações a/mc e para 2 e 4 meses de idade. A relação a/mc tem um efeito significativo no aumento da resistência para 20% de CV e para o controle, para a substituição de 40% e 60% por CV as resistências diminuíram em relação ao controle, também a relação a/mc assim como a idade não parece afetar significativamente.

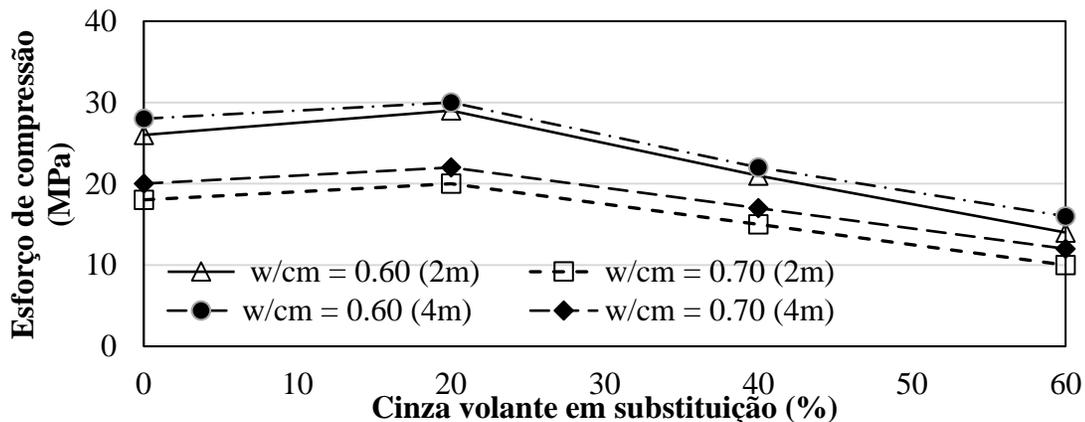


Figura 3. Comportamento da resistência à compressão em relação a % CV para 2 e 4 meses de idade.

Um comportamento mecânico semelhante pode ser observado para o módulo de elasticidade, embora, como se mostra na Figura 4, a relação a/mc não produz aumento significativo no módulo para qualquer porcentagem de CV (Shen, Shi, Zhu, Duan & Zhang, 2016), (Siddque, 2004). A substituição de 20% CV mantém, pelo menos, o mesmo valor em comparação com o controle. De acordo com os resultados experimentais para a resistência de compressão e o módulo de elasticidade, as amostras com relação $a/mc = 0.60$ e com 20% de substituição de CV mantiveram os valores de controle, e inclusive registraram um aumento de 24 e 15%, respectivamente, para ambas as idades.

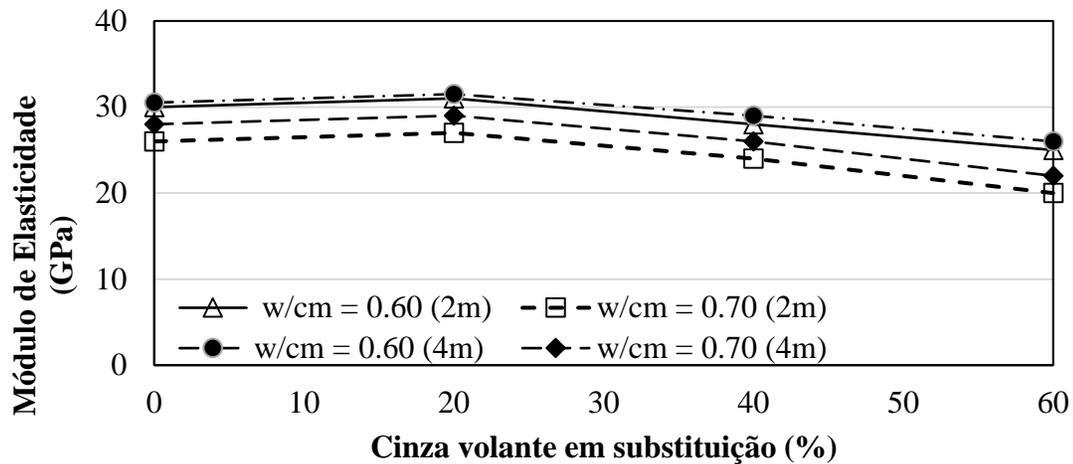


Figura 4. Comportamento do módulo de elasticidade em relação ao % CV durante 2 a 4 meses de idade.

Como é sabido, a CV produz uma reação pozolânica com o hidróxido de cálcio presente nas reações de hidratação do cimento, o que lhe permite fornecer resistência mecânica à matriz de cimento quando as substituições são relativamente baixas e para o qual demanda uma certa quantidade de água da relação a/mc .

Além disso, quando são utilizadas porcentagens elevadas de substituição de CV pelo cimento também se reduz a quantidade de hidróxido de cálcio presente na mistura e é possível que os aluminossilicatos da CV não tenham hidróxido de cálcio suficiente para a reação pozolânica e combinado o baixo consumo de cimento resulta numa redução da resistência mecânica, o que permite supor que o resto da CV interage na matriz mais como um material de enchimento que como um material cimentício. Estudos anteriores sobre o comportamento mecânico em corpos de prova com substituição de CV por cimento em porcentagens relativamente baixas demonstraram um comportamento mecânico adequado, o que se verifica na presente investigação (Duran-Herrera Juarez, Valdez & Bentz, 2011), (Siddique, 2004).

4.2 Flexão nos painéis

A Figura 5 mostra o efeito da CV e da idade na resistência à flexão nos painéis de concreto reforçado com fibras. Pode-se observar que ambas as relações a/mc têm um comportamento semelhante: com uma substituição de 20% de cimento por CV para 2 e 4 meses de idade aumentou a resistência à flexão de 20% e 25%, respectivamente, em relação ao controle. Contrariamente, para as porcentagens de 40 e 60% de substituição de CV é observada uma diminuição da resistência em relação ao controle, o que é consistente com os resultados encontrados em compressão e no módulo de elasticidade, em que a substituição do cimento em 20% de CV para ambas as relações a/mc e ambas idades apresenta uma melhora em geral no comportamento mecânico. Na Figura 5 pode também ser visto que a idade parece não ter nenhum efeito significativo sobre o ganho de resistência à flexão, principalmente para a relação $a/mc = 0,70$.

Nas Figuras 6 e 7, observa-se a contribuição para a resistência à flexão da matriz cimentícia e a malha de fibra natural como o painel de reforço, a contribuição unicamente da malha ocorre quando a matriz cimentícia atinge a carga máxima de fissuração e segue um descarregamento repentino. Na Figura 6, as amostras de controle apresentaram um aumento da carga pós-fissuração e na Figura 7 são as amostras com 20% de CV que apresentaram melhor comportamento de pós-fissuração. Além disso, os painéis com elevadas substituições de CV (40% e 60%) tiveram uma redução significativa na carga pós-fissuração no que diz respeito à carga máxima à flexão que o painel resistiu antes de fissurar (Bernal, Gutierrez, Delvasto & Rodriguez, 2010).

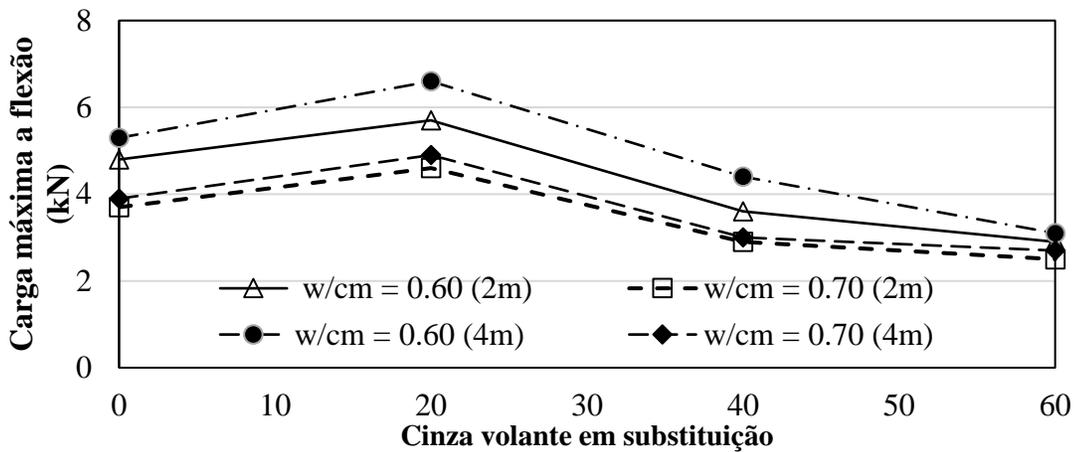


Figura 5. Comportamento da carga de falha a flexão em relação a % de CV para 2 e 4 meses de idade.

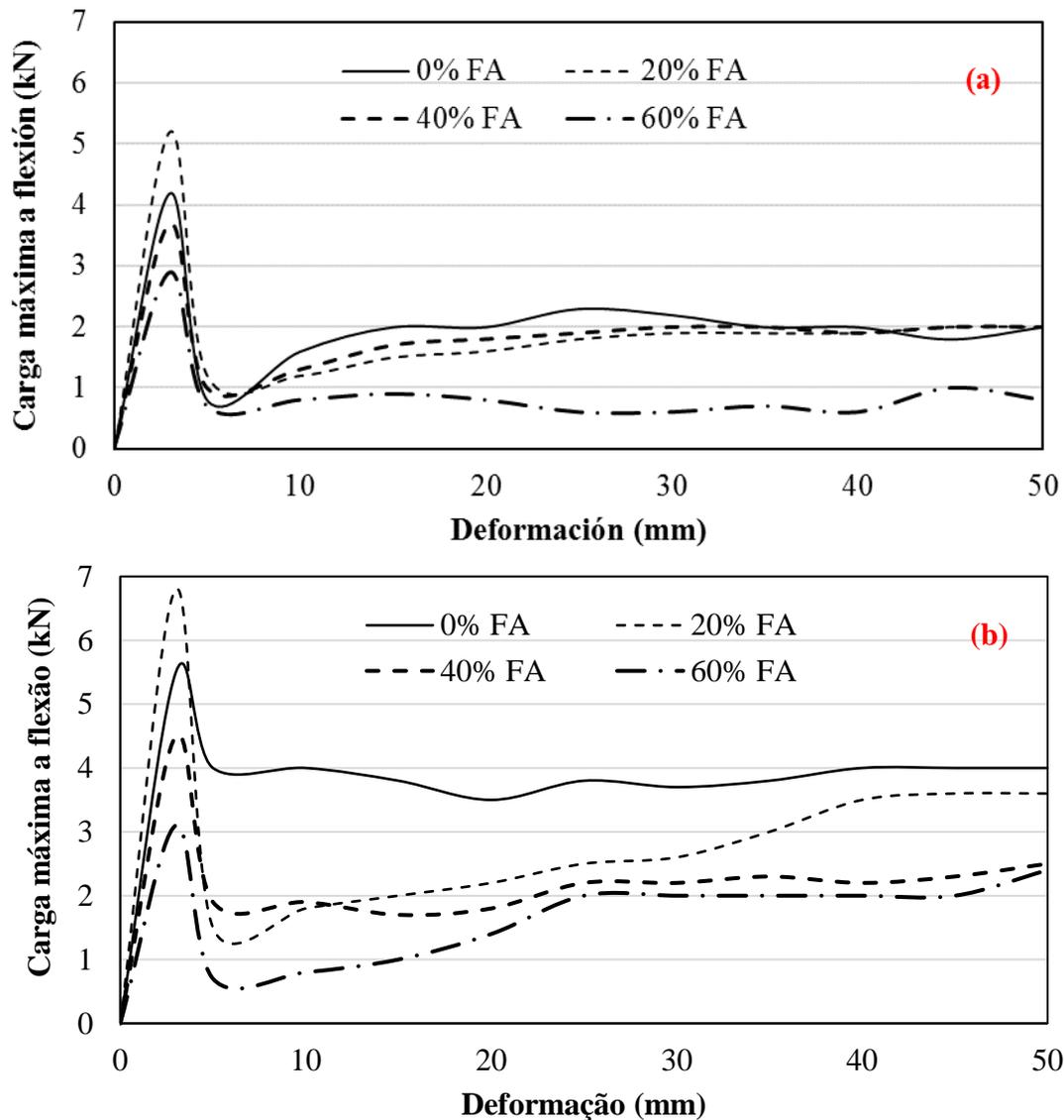


Figura 6. Comportamento a flexão depois da fissuração, Rel. a/mc = 0.60. (a) 2 meses de idade. (b) 4 meses de idade.

A adição da malha à base de fibras naturais como reforço em painéis de concreto contribuiu, em primeira instância, para melhorar o comportamento do concreto no estado fresco, impedindo a fissuração por retração plástica, uma vez endurecido o concreto, o reforço da malha modificou o modo de ruptura frágil própria do concreto em si, trazendo ductilidade (Banyhussan Sahib, Yildirim, Bayraktar, Demirhan & Sahmaran, 2016). Nas Figuras 6 e 7 pode-se observar que a malha contribuiu para que o painel apresentasse um comportamento dúctil, além de que em alguns casos a carga se recuperou sem atingir a carga máxima de fissuração. De acordo com os resultados obtidos, a substituição de 20% de CV apresentou a maior carga de fissuração por flexão para ambas as relações a/mc e para as duas idades. Observa-se também que a carga foi aumentada em 10% para 4 meses de idade em comparação com 2 meses na maioria dos casos estudados.

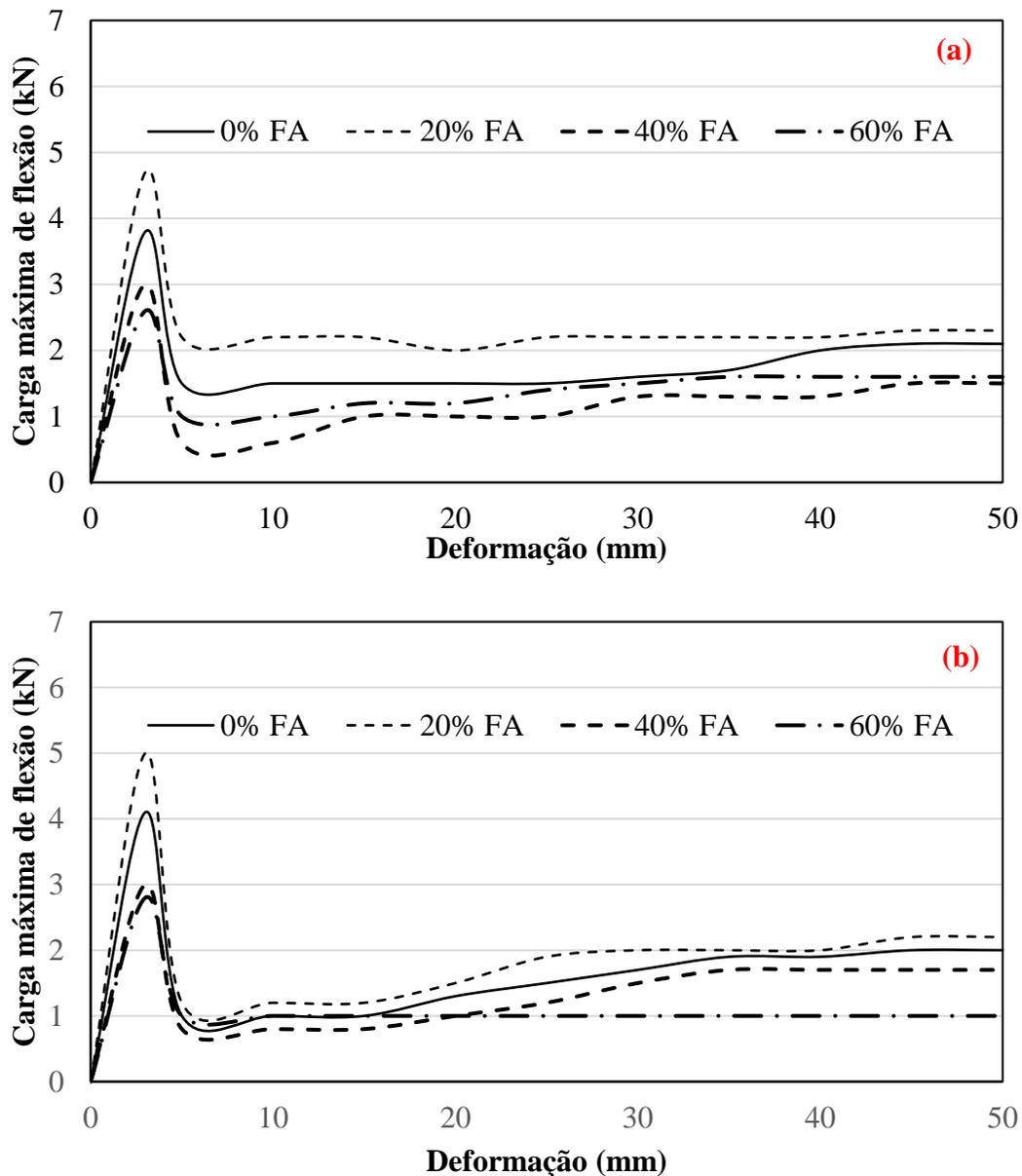


Figura 7. Comportamento a flexão depois da fissuração, Rel. a/mc = 0.70. (a) 2 meses de idade. (b) 4 meses de idade.

Uma vez ensaiados a flexão, os corpos de prova nas duas idades correspondentes, não houve evidência de degradação nas fibras naturais causadas por exposição ao meio alcalino durante o

tempo acima mencionado. Isto é fisicamente verificado porque o modo de falha de todas as amostras testadas foi dúctil. O efeito de diferentes condições de umidade e/ou temperatura que se relacionam com a deterioração de fibras vegetais e a geração de um mecanismo de falha quebradiça (Juarez, Duran, Valdez & Fajardo, 2007), devem ser extensivamente estudado para determinar a viabilidade de utilização a longo prazo deste tipo de reforço a base de malha (Georgiou & Pantazopoulou, 2016), visando gerar materiais de construção alternativos.

5. CONCLUSÕES

A partir da comparação dos resultados com referências existentes pode-se concluir que:

1. Para a tensão de compressão e o módulo de elasticidade, as amostras com relação $a/mc = 0.60$ e com 20% de substituição de CV mantiveram os valores de controle, e ainda registraram alguns incrementos de 24 e 15%, respectivamente, para ambas as idades que foram documentadas.
2. As substituições de 40% e 60% de CV registraram valores menores de resistência à compressão e módulo em relação ao controle. Além disso, para estas porcentagens de substituição, a relação a/mc e a idade não parecem afetar significativamente.
3. As amostras de controle e substituição de 20% de CV tiveram melhor comportamento à flexão após fissuração para ambas as relações a/mc e ambas as idades. Além disso, os painéis com altas substituições de CV (40% e 60%) tiveram uma redução significativa na carga de pós-fissuração no que diz respeito à carga máxima para resistir à flexão do painel antes de fissurar.
4. O reforço de malha de fibra natural modificou o modo de falha frágil do próprio concreto dando-lhe ductilidade.
5. Não foi evidenciada a deterioração nas malhas de fibras naturais pela exposição ao meio alcalino durante 2 e 4 meses, tempo decorrido para executar os ensaios à flexão, o que permite supor que o revestimento de parafina usado foi adequado.
6. O compósito reforçado com fibra, com 20% de CV em substituição poderia ser considerado adequado para aplicação como elementos primários nos edifícios, uma vez que mostrou comportamento mecânico adequado para compressão e flexão. No entanto, as amostras com 40% e 60% de substituição de CV não são recomendadas para aplicação nos elementos acima mencionados.

6. REFERÊNCIAS

- ACI Manual of Concrete Practice, Part 5, (1998). *State of-the-Art on Fiber Reinforced Concrete*. ACI Committee 544.
- Agopyan, V., Savastano, H., John, V. M., Cincotto, M. A. (2005). *Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview*. Cement and Concrete Composites, 27(5), 527-536. doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.09.004.
- Alawar, A., Hamed, A. M., Al-Kaabi, K. (2009). *Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement*. Composites Part B: Engineering, 40(7), 601-606. doi:10.1016/j.compositesb.2009.04.018.
- Alfonso, C. (2003). *La vivienda del siglo XXI: edificación sostenible*. Ambiental: Revista del Ministerio de Medio Ambiente, (23), 22-28.
- Alvarez Anton, L., Díaz, J. (2014). *Integration of life cycle assesment in a BIM environment*. Procedia Enginnering, 85, 26-32.
- Aziz, M. A., Lee, S. L. (1984). *Concrete Reinforced with Natural Fibers*. Surrey R. N., Ed. New Reinforced Concretes, Oxford: University Press, 106-140.
- Bernal, S., De Gutierrez, R., Delvasto, S., Rodriguez, E. (2010). *Performance of an alkali-activated slag concrete reinforced with eteel fibers*. Construction and building Materials, 24, 208-214. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.10.027

- Bilba, K., Arsene, M. (2008). *Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39(9), 1488-1495. doi:10.1016/j.compositesa.2008.05.013.
- Claramunt, J., Ardanuy, M., García-Hortal, J. A., Filho, R. D. T. (2011). *The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites*. Cement and Concrete Composites, 33(5), 586-595. doi:10.1016/j.cemconcomp.2011.03.003.
- De Gutiérrez, R. M., Díaz, L. N., Delvasto, S. (2005). *Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars*. Cement and Concrete Composites, 27(5), 593-598. doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.09.010.
- Ding Grace, K. C. (2008). *Sustainable construction – The role of environmental assessment tools*. Journal of Environmental Management, 86, 451-464.
- Durán-Herrera, A., Juárez, C. A., Valdez, P., Bentz, D. P. (2011). *Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes*. Cement Concrete Composites, (33)1, 39-45.
- Georgiou Antroula, V., Pantazopoulou Stavroula, J. (2016). *Effect of fiber length and surface characteristics on the mechanical properties of cementitious composites*. Construction and Building Materials, 125, 1216-1228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.009>
- Gudes, S. (2016). *The use of life cycle techniques in the assessment of sustainability*. Procedia – Social and Behavioral Sciences, 216, 919-922.
- Jarabo, R., Monte, M. C., Blanco, A., Negro, C., Tijero, J. (2012). *Characterisation of agricultural residues used as a source of fibres for fibre-cement production*. Industrial Crops and Products, 36(1):14–21. doi:10.1016/j.indcrop.2011.07.029.
- John, V. M. (2005). *Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre*. Cement and Concrete Composites, 27, 565-574. doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.09.007.
- Juárez C. A., Valdez P. L., Durán A. (2004). *Fibras Naturales de Lechuguilla como Refuerzo en Materiales de Construcción*. Revista Ingeniería de Construcción. Santiago: Escuela de Ingeniería Pontificia. Universidad Católica de Chile, 19 (2): 83-92.
- Juárez C., Durán A., Valdez P., Fajardo G., (2007). *Performance of “Agave Lecheguilla” natural fiber in Portland cement composites exposed to severe environment conditions*. Building and Environment, 42 (3), 1151-1157.
- Kriker, A., Bali, A., Debicki, G., Bouziane, M., Chabannet, M. (2008). *Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates*. Cement and Concrete Composites, 30(7), 639-648. doi:10.1016/j.cemconcomp.2007.11.006.
- Malhotra, V. M., (2001). *High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainability*. P.-C Aïtcin Symposium on the Evolution of Concrete Technology, Sherbrooke: Université de Sherbrooke, 19-74.
- Mineral Commodity Summaries. (2015). U.S. Geological Survel. Virginia, USA.
- Mohr, B. J., Biernacki, J. J., Kurtis, K. E. (2007). *Supplementary cementitious materials for mitigating degradation of kraft pulp fiber-cement composites*. Cement and Concrete Research, 37(11), 1531-1543. doi:10.1016/j.cemconres.2007.08.001.
- Pacheco-Torgal, F., Jalali, S. (2011). *Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review*. Construction and Building Materials, 25(2): 575–581, doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024.
- Patrone, A., García, B., Nigro E. (2005). *Muro monolítico con suelo estabilizado*. Construcción con Tierra1, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, (1), 60-65.
- Pavon, E., Etxeberria, M., Martinez, I. (2011). *Properties of recycled aggregates concrete using active and inert additions*. Revista de la Construcción [online], 10(3), 4-15, doi.org/10.4067/S0718-915X2011000300002.
- Population Reference Bureau (2014), *World population data sheet*. (n.d.) Retrieved from http://www.prb.org/pdf14/2014-world-population-data-sheet_eng.pdf. [visited 19.10.14].
- Roux, R. (2010). *Los bloques de tierra comprimida en zonas húmedas, méxico: plaza y valdés*.

- Salas, J., Oteiza, I. (2008). *Los materiales de construcción ante las ingentes necesidades de hábitat en el tercer mundo (Carencias de una investigación necesaria)*. II Jornada de Investigación en Construcción. (p. 463), Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Sahib Banyhussan, Q., Yildirim, G., Bayraktar, E., Demirhan, S., Sahmaran, M. (2016). *Deflection-hardening hybrid fiber reinforced concrete: The effect of aggregate content*, Construction and Building Materials, 125, 41-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.020>
- Savastano, H., Warden, P. G., Coutts, R. S. P. (2005). *Microstructure and mechanical properties of waste fibre–cement composites*. Cement and Concrete Composites, 27(5), 583-592. doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.09.009.
- Savastano, H., Warden, P., Coutts, R. S. (2003). *Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas*. Cement and Concrete Composites, 25(6), 585-592. doi:10.1016/S0958-9465(02)00071-9.
- Sedan, D., Pagnoux, C., Smith, A., Chotard, T. (2008). *Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction*. Journal of the European Ceramic Society, 28(1), 183-192. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2007.05.019.
- Shen, D., Shi, X., Zhi, S., Duan, X., Zhang, J. (2016). *Relationship between tensile Young's modulus and strength of fly ash high strength concrete at early age*. Construction and Building materials, 123, 317-326. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.145>
- Siddique, R. (2004). *Performance characteristics of high-volume Class F fly ash concrete*. Cement and Concrete Research, 34, 487-493.
- Stancato, A. C., Burke, A. K., Beraldo, A. L. (2005). *Mechanism of a vegetable waste composite with polymer-modified cement (VWCPMC)*. Cement and Concrete Composites, 27(5), 599-603. doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.09.011.
- Tonoli, G. H. D., Santos, S. F., Joaquim, A. P., Savastano, H. (2010). *Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre*. Construction and Building Materials, 24(2), 193-201. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.11.018.