



CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS E FIBRAS RECICLADAS

Hinoel Zamis Ehrenbring¹ (hinoelzamis@hotmail.com), Bernardo Fonseca Tutikian¹ (btutikian@unisinós.br)

1 UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)

RESUMO

Em meio a tantos problemas relacionados a sustentabilidade ambiental, é de extrema importância que as pesquisas voltem-se à reutilização e diminuição de resíduos. Segundo pesquisadores da atualidade, existem diversas maneiras de reutilizar os resíduos em sistemas da construção civil. Uma destas possibilidades é a inserção de materiais na forma de filamentos em matrizes cimentícias. Esta adição proporciona ao composto novas propriedades, podendo, muitas vezes, serem melhoradas e até mesmo redefinir um novo material. Visando as questões sustentáveis e as propriedades relacionadas aos concretos, este trabalho tem como objetivo analisar a utilização de fibras recicladas e fibras naturais nestas misturas. Feito isto, os resultados mostraram-se promissores na adição de fibras naturais e fibras recicladas, onde o composto desenvolveu propriedades mecânicas e de durabilidade, atendendo certos padrões de serviço.

Palavras-chave: Concreto. Fibras naturais. Fibras Recicladas.

CONCRETE REINFORCED WITH NATURAL AND RECYCLED FIBERS

ABSTRACT

Among the many issues related to environmental sustainability, it is of utmost importance that the research back to the reuse and reduction of waste. According to today's researchers, there are several ways to reuse waste in construction systems. One of these possibilities is the inclusion of materials in the form of strands into cement matrices. This addition provides new properties to the compound, may often be improved and even reset a new material. Aiming at sustainable issues and related properties to the concrete, this work aims to analyze the use of recycled fibers and natural fibers in these mixtures. This done, the results shown promise in the addition of natural fibers and recycled fibers, wherein the compound developed mechanical and durability properties, given certain service standards.

Keywords: Concrete. Natural Fibers. Recycled Fibers.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, concretos são os materiais mais produzidos e consumidos da construção civil em todo o mundo. (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Formado a partir da mistura estratégica de outros materiais simples, suas propriedades finais são uma resultante das características de interação entre cada um destes elementos de constituição. (GOODIER, 2003).

Fácil confecção e flexibilidade de produção são características fortes deste material, podendo ser produzido no local de aplicação ou ser processado industrialmente fora do canteiro de obras. (BERNARDI, 2003). A capacidade de manuseá-lo no seu estado fresco possibilita assumir inúmeros formatos, como solicitam os projetos. A flexibilidade do manuseio deste material é perdida quando o mesmo encontra-se endurecido, ganhando rigidez e considerável resistência. (TUTIKIAN; HELENE, 2011). Entretanto, considerado um material não homogêneo e, predominantemente frágil, o concreto possui baixa resistência à tração, não tendo a capacidade de suportar grandes deformações, podendo levá-lo, caso elas ocorram, à ruptura. (HAMOUSH; ABU-LEBDEH; CUMMINS, 2010; DESNERCK; LEES; MORLEY, 2015).



Em elementos estruturais é inevitável utilizar reforços no composto, pois esta medida evita a ruptura brusca do material e pode-se diminuir o número e a área total de fissuras ao longo da peça. (CHODOUNSKY; VIECILI, 2007). O incremento de microfibras e macrofibras é uma alternativa que possibilita amenizar a aparição destas manifestações patológicas. (QUININO, 2015). A nucleação de fissuras em concretos diminui a capacidade de carga do elemento. (GAO; ZHANG; HAN, 2013). Além disto, estas aberturas tornam-se caminhos fáceis para penetração de agentes agressivos, que deterioram os reforços metálicos, no caso de sistemas em concreto armado. (CARMONA; HELENE, 2006). Conseqüentemente, com a penetração de íons cloreto e outros produtos químicos, a capacidade de passivação das armaduras é diminuída e, ocorrendo a sua corrosão, pode levar ao colapso da estrutura. (HAMOUSH; ABU-LEBDEH; CUMMINS, 2010). Baixando o potencial de fissuração das matrizes cimentícias, o Concreto Reforçado com Fibras (CRF) torna-se uma ótima opção para aplicação nos diversos sistemas da construção civil. Para ACI 544.1R (2009) o CRF é um composto formado a partir de uma matriz cimentícia, contendo cimento hidráulico, agregados graúdos e miúdos, reforçado com fibras naturais, sintéticas ou metálicas.

Desenvolvido para melhorar a resistência à tração, durabilidade, dureza e ductibilidade das estruturas, o CRF é facilmente encontrado em revestimentos de túneis, em radiers, pisos industriais, lajes e até em vigas. (JAMERAN; IBRAHIM; YAZAN; RAHIM, 2015). Segundo Quinino (2015), a inserção de filamentos em matrizes cimentícias é eficiente quando se considera a distribuição uniforme das fibras pela pasta de cimento, o fator de forma e o teor ótimo de adição das mesmas. Sendo estes parâmetros atendidos, os compósitos são mais deformáveis, possuem maior tenacidade e, conseqüentemente, maior módulo de elasticidade. (CHRIST, 2014).

O avanço tecnológico do concreto fez com que se criassem diversas alternativas e tipos de materiais para aplicação na construção civil. (AITCIN, 2000). Por hora, o avanço dos compósitos também sofreu alterações, trazendo ao mercado inúmeras matrizes cimentícias contendo diversas categorias de fibras. (MAZZOLI; MONOSI; PLESCIA, 2015).

O mercado consolidado das fibras compostas por aço, polipropileno, vidro e nylon é o reflexo claro da dissemelhança entre as fibras sintéticas para com as fibras naturais e recicladas. A demanda de pesquisas relacionadas ao CRF volta-se praticamente aos mesmos materiais, estreitando a possibilidade de abertura de mercado e, como resultado, restringindo a possibilidade de proporcionar um composto com maior cunho sustentável. Todavia, partindo da premissa de que todos os resíduos devem virar concreto, deve-se esbarrar nas questões de que se pode estar gerando um novo produto tão mais perigoso quanto o primário.

Em alguns casos, a adição de fibras naturais supera as propriedades de resistência e durabilidade de compostos feitos a partir de filamentos sintéticos, sendo esta afirmação ilustrada ao longo do trabalho. Isto posto, a seguinte pesquisa tem o objetivo de ampliar o conhecimento técnico sobre a inserção de fibras residuais e naturais em matrizes cimentícias, trazendo consigo ideias e resultados inovadores de grandes pesquisadores da atualidade.

2. CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS NATURAIS E COM FIBRAS RECICLADAS

A busca pela sustentabilidade no uso consciente de materiais na construção civil faz com que a aplicação de recursos renováveis torne-se uma necessidade. (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016). Um caminho a fim de solucionar os problemas relacionados aos resíduos é regido pelo Princípio dos 3 R's - Reduzir, reutilizar e reciclar – como informa o Ministério do Meio Ambiente pertencente ao Brasil. Este termo vem sendo o embasamento e a inspiração de diversas pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de novos materiais aplicados à construção civil. (YANG; WU; HUNG. *et al*, 2015).

Fibras recicladas e naturais são ótimas alternativas para inserção em concretos, podendo substituir a altura outros materiais, como o aço e os polímeros. (MAZZOLI; MONOSI; PLESCIA, 2015). No momento atual, as constantes pesquisas sobre fibras aplicadas como reforços estruturais voltam-se, principalmente, para a utilização de materiais sintéticos poliméricos e



também há uma forte tendência sobre os insumos naturais. (LI; TABIL; PANIGRANI, 2007). Segundo Savastano Jr. (2000), matrizes frágeis à base de materiais cimentícios são muito vislumbradas por países em desenvolvimento, pelo fato de suas características serem aceitáveis na melhoria de propriedades das misturas, principalmente, por agregar um baixo custo e baixa energia de produção deste material.

Caracterizando as fibras naturais, algumas possuem consideráveis resistências à tração, como é o caso das fibras de sisal (BEAUDOIN, 1990), coco (AGOPYAN; SAVASTANO Jr., 1997), linho (BOGHOSSIAN; WEGNER, 2008) e bambu (GUIMARÃES, 1987) (vide Figura 1). Porém, como são provindas de processos naturais, ou seja, sem nenhum controle tecnológico, as fibras naturais possuem grandes variabilidades nas propriedades. (SILVA, 2004). Além deste fator, a baixa durabilidade em meio alcalino, quando utilizadas como reforço, é algo que limita a aplicação destes filamentos em matrizes à base de cimento. (GRAM, 1988). Por outro lado, o baixo custo, a grande abundância, a baixa densidade e por não serem prejudiciais à saúde e serem renováveis, estes materiais acabam tornando-se muito atrativos para a elaboração de novos produtos. (AGOPYAN, 1992; SAVALTANO Jr., 2000; BOGHOSSIAN; WEGNER, 2008).

Figura 1. Representação ilustrando as fibras naturais



Fonte: Silva, 2004. (Adaptado pelo autor).

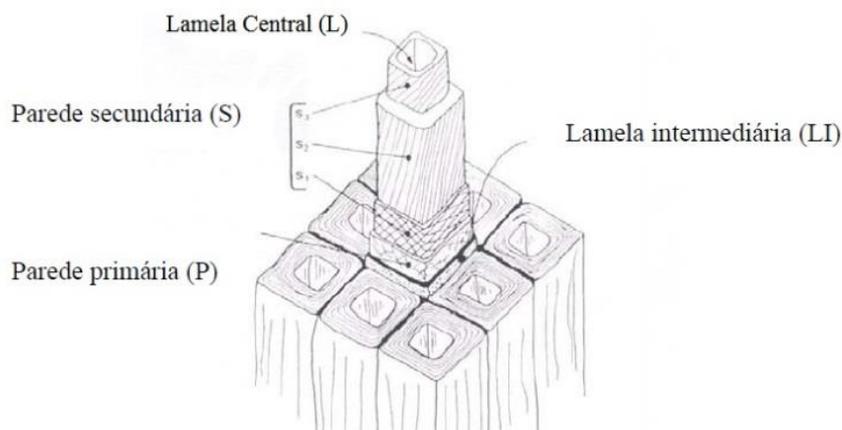
Legenda: (A) processo de separação das fibras pela polpa do bambu; (B) Fibras de sisal.

De acordo com a organização Food and Agriculture Organization (FAO) dos Estados Unidos, na maioria dos casos, as fibras naturais são produzidas como resíduos de subprodutos relacionados aos processos industriais agrícolas. Aliando o custo benefício de sua produção, tornam-se produtos baratos para adição em matrizes cimentícias. Contudo, antes de analisar o comportamento das fibras reforçando a matriz, deve ser feita, obrigatoriamente, o estudo das propriedades do filamento vegetal. (SILVA, 2004).

Um dos grandes motivos para alimentar as pesquisas sobre concretos com reforço de fibras naturais partiu da grande quantidade disponível no ambiente e pela alta resistência mecânica. (BENTUR; MINDESS, 2006). Assim como mencionado a cima, a durabilidade deste material é questionável e ainda deve ser estabelecida. O hidróxido de cálcio disperso na matriz cimentícia influi diretamente na integridade da lignina e da hemicelulose, as quais estão presentes na lamela central das fibras, que garante a ligação das células individuais, desestabilizando a microestrutura do material (vide Figura 2). (TOLEDO FILHO; SCRIVENER; ENGLAND; GHAVAMI, 2000). Gram (1983) ainda reforça que a degradação das moléculas de celulose acontece através da hidrólise alcalina, cuja qual reduz a resistência à tração da fibra. Entretanto, Savastano Jr. (2000) ressalta que há procedimentos que apresentam menor alcalinidade da matriz, como é o caso da adição de cinza de casca de arroz, e assim diminuindo a degradação das fibras.



Figura 2. Composição microestrutural da fibra de madeira



Fonte: Coutts, 1992.

A dificuldade de trabalhar com as fibras naturais é evidenciada nas pesquisas dos autores como: Yang et al. (2015), que ensaiou as resistências mecânicas das fibras de bambu, Lertwattanaruk e Suntijitto (2015), os quais verificaram as propriedades das fibras de palmeira e as fibras de coco, e Boghossian e Wergner (2008), onde sua proposta era aplicar fibras de linho evitando a fissuração por retração plástica em concretos.

Diferentemente das fibras naturais, as fibras poliméricas provindas de resíduos são mais estáveis em meio alcalino. Em determinados casos, como é a fibra de PVA, as reações químicas, que ocorrem entre os materiais do composto, são de extrema importância, favorecendo a interação fibra-matriz. (XU; TOUTANJI; GILBERT, 2010). Resistentes aos ataques químicos, as fibras poliméricas recicladas possuem maior durabilidade em relação às naturais. Os materiais poliméricos possuem altas resistências à tração, porém como o módulo de elasticidade é baixo são muito flexíveis. (BENTUR; MINDESS, 2006). Todavia, sabe-se que existem algumas exceções, como as fibras de PVA e de Nylon, que possuem maior rigidez.

Assim como as fibras naturais, diversos profissionais estudam as reações dos reciclados poliméricos em matrizes cimentícias. Spadea et al. (2015) aplica fibras recicladas de nylon em argamassas a fim de caracterizar as propriedades mecânicas do novo composto gerado. Yin, Tuladhar et al. (2015) reciclam as fibras de polipropileno e aplicam em concretos, verificando o potencial de fissuração do composto. Bae Kim et al. (2010) estudou a inserção de fibras recicladas de PET em concretos, avaliando as questões estruturais do material.

Além dos materiais poliméricos reciclados, pesquisadores estão desenvolvendo produtos com adição de resíduos metálicos. Zamanzadeh et al. (2015) desenvolveu sua pesquisa em torno da utilização de fibras de aço recicladas, oriundas do descarte de pneus usados (vide Figura 3). Já Martinelli et al. (2015) estudou a hibridização de fibras de aço e fibras recicladas de aço, ilustrando que a relação entre estes materiais pode ser feita visando ganhos mecânicos e ambientais.



Figura 3. Fibra de aço retirada de pneus usados



Fonte: Zamanzadeh et al., 2015.

A reutilização destes materiais metálicos é de grande importância para conservar as questões sustentáveis e diminuir o volume de materiais descartados ao meio ambiente. Bernardi (2003) enfatiza que a aplicabilidade das fibras de aço é incomensurável quando comparada a aplicabilidade das fibras poliméricas e naturais. Conseqüentemente, com maior demanda, ocorre maior geração de resíduos de fibras metálicas. Martineau e Agopyan (2002) explicam uma série de vantagens para inserção de fibras em concretos, podendo os mesmos serem aplicados na construção civil, indústria náutica e aeroespacial. Com isto, não é atoa que os filamentos metálicos são os reforços mais utilizados para matrizes, atualmente, no mundo todo.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho seguiu os parâmetros convencionais de pesquisa, a fim de coletar diversos exemplos sobre o assunto em questão, trazendo os resultados obtidos pelos pesquisadores. Com base nisto, foi necessário coletar inúmeras referências bibliográficas para a elaboração deste trabalho, tomando como parâmetro de consulta, artigos internacionais e nacionais, normas nacionais e internacionais.

Inicialmente, fez-se um apanhado técnico referencial para conhecimento do assunto. A primeira etapa contou com a revisão de 37 documentos, entre eles artigos e normas, a fim de consolidar as melhores abordagens e traçar uma diretriz para obter fundamentos comparativos mais semelhantes.

Obtendo maiores informações sobre o assunto, na segunda etapa foram selecionados 7 trabalhos com diferentes linhas de pesquisas que, conseqüentemente, utilizaram fibras naturais e recicladas em concretos. Dentre as 7 escolhidas, duas destas avaliaram o desempenho das fibras naturais, três voltaram-se à adição de filamentos poliméricos reciclados em concretos e dois trabalhos contemplando fibras de aço recicladas.

Em cada artigo, foi necessário identificar os seus objetivos gerais e específicos, assim como os métodos de preparo de amostras. Além destes itens, a maneira de obtenção dos resultados e a forma de análise também foram levadas em consideração na elaboração deste trabalho.

Com a etapa de coleta de referências e a seleção dos trabalhos, que contemplam a estruturação da pesquisa, finalizada, analisaram-se os resultados encontrados por cada um dos autores dos 7 artigos. Levando em conta a argumentação e tese dos responsáveis sobre cada pesquisa realizada com diferentes filamentos, no Capítulo 3 relatam-se os resultados encontrados e alguns procedimentos importantes referentes ao método de pesquisa escolhido pelos autores.

As conclusões desta pesquisa foram tiradas com base em todas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração do mesmo, entretanto com o enfoque voltado às pesquisas selecionadas, mostrando-se relevantes no tema do trabalho proposto.



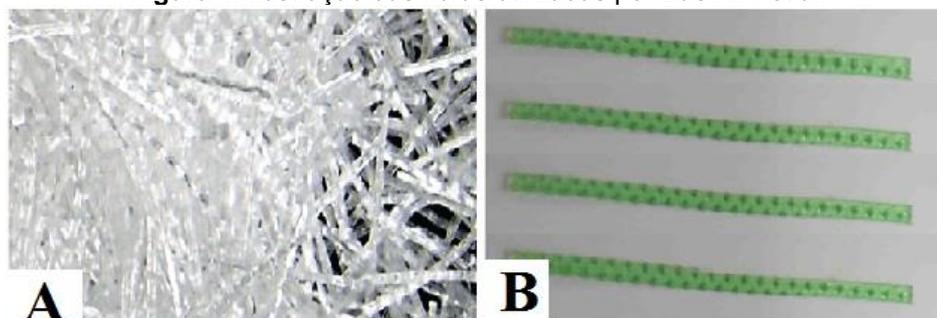
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Partindo do pressuposto de que fibras naturais tem grande potencial de inserção em concretos, Boghossian e Wegner (2008) desenvolveram estudos utilizando fibras de linho para combater a fissuração por retração plástica de concretos. Utilizando teores de adição equivalentes a 0,10% e 0,30% em função do volume, os autores ainda ensaiaram fibras de polipropileno e de vidro, onde no final fizeram a comparação de resultados entre os diferentes materiais. O surpreendente desta pesquisa foi de que as fibras de linho diminuíram bruscamente a área total de fissuras (95%), quando comparado ao concreto convencional. Além dos bons resultados em função do concreto referencial, o com fibras naturais, ainda assim, teve maior desempenho do que o com as de polipropileno e vidro.

Ainda sobre a durabilidade dos filamentos em matrizes, Lertwattanaruk e Suntijitto (2015) desenvolveram o estudo sobre o comportamento de fibras de palmeiras e de coco. Os pesquisadores analisaram a adição destes materiais em argamassas a fim de caracterizar as propriedades físicas e térmicas dos produtos finais. Nesta pesquisa também ensaiaram as propriedades mecânicas dos compósitos. As fibras foram submetidas a um banho de 2 horas com água fervida para estabilizar o seu pH em 7. Após iniciou-se o processo de secagem, tendo permanecido por 24 horas em uma estufa com 100°C e antes de inseri-las na matriz. Os termos de adição foram feitos com 5%, 10% e 15% em massa. Lertwattanaruk e Suntijitto (2015) comprovaram que a morfologia da fibra foi alterada com a preparação inicial dos filamentos, tomando como base as fibras no seu estado primário. A superfície das mesmas tornou-se irregular, que no caso aumenta a área de contato com a matriz e, por conseguinte, melhora a interação fibra-matriz. Os ensaios mecânicos, como o de resistência à tração na flexão, mostraram baixa evolução nos resultados, tendo o teor de 5% de fibra de coco os melhores resultados da pesquisa. Os resultados foram mais atrativos na questão de eficiência térmica do material, mostrando que a inclusão das fibras de coco e de palmeira em matrizes cimentícias pode baixar em até 60% a condutividade térmica do material, comparando com a matriz referencial.

Contemplando a inserção de materiais poliméricos reciclados, Bae Kim et al. (2010) ensaiou a performance estrutural de fibras recicladas de PET como reforço em concretos. Utilizando teores de 0,50%, 0,75% e 1,00% de adição em volume, o autor comparou o comportamento das fibras recicladas de PET com fibras convencionais de polipropileno (PP) (vide Figura 4). Os ensaios mecânicos abrangeram a resistência à tração na flexão, compressão, definição de módulo de elasticidade e resistência à fissuração devido a retração por secagem. Os resultados à compressão não mostraram valores muito distintos entre as fibras de PET e de PP, do mesmo modo que não houve alteração no módulo de elasticidade das misturas. Entretanto, nos ensaios de tração, o composto com fibras recicladas de PET foi, aproximadamente, 8% maior do que o com inserção de PP. Nos resultados expressos em relação à retração, as fibras de PP possuíram uma pequena vantagem nos resultados.

Figura 4. Ilustração das fibras utilizadas por Bae Kim et al.



Fonte: Bae Kim et al., 2010.

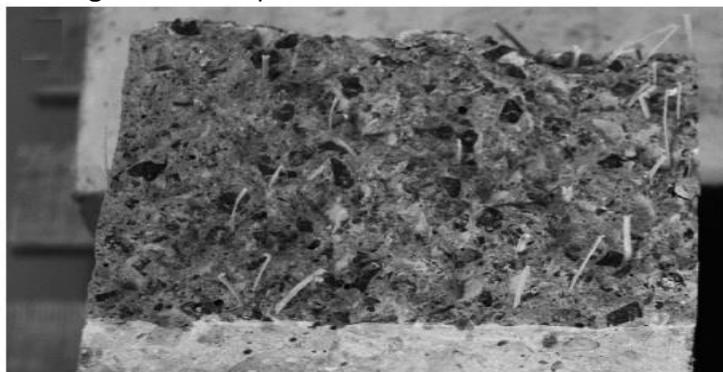
Legenda: (A) fibras de polipropileno (PP); (B) fibras recicladas de PET.



Utilizando como insumo de pesquisa as fibras recicladas de nylon, Spadea et al. (2015) ensaiou a evolução da trabalhabilidade, resistência a contaminantes químicos e as propriedades mecânicas de argamassas com as fibras de nylon. Os teores de adição de fibras foram de 0,50%, 1,00% e 1,50% em função do volume. Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão mostraram-se promissores, onde os compostos com filamentos reciclados de nylon obtiveram resistência 35% maior, quando comparados às argamassas simples, e proporcionando uma mistura mais dúctil. A resistência aos álcalis presentes na matriz cimentícia não prejudicou as propriedades das fibras de nylon, conforme afirma Spadea et al. (2015) em sua pesquisa. Como já comprovam diversas pesquisas relacionadas aos compósitos fibrados, os resultados de compressão sofreram uma alteração de 7% na resistência, sendo argamassa convencional chegando a valores de 52 MPa e para os compósitos fibrados foi encontrado valores próximos a 41 MPa.

Reforçando as referências bibliográficas sobre utilização de polímeros reciclados em matrizes cimentícias, Yin et al. (2015) propôs o desenvolvimento de pesquisas voltadas à aplicação de fibras recicladas de polipropileno em concretos. O trabalho analisa o desempenho das macrofibras recicladas de polipropileno após a fissuração da matriz, tendo como parâmetro referencial as fibras de polipropileno virgem. Os resultados encontrados pelo pesquisador sobre a resistência à tração na flexão do compósito com fibras recicladas de polipropileno foram, em média, 25% menor do que os com polipropileno virgem, porém o seu módulo de elasticidade foi 13% maior. Além destes dois compósitos, Yin et al. (2015) hibridizou uma matriz contendo 50% de cada fibra, no qual mostrou resistência à tração superior a de polipropileno reciclado, sendo o valor 10% maior. Os resultados de compressão não sofreram alterações significativas, como já era esperado. Observou-se que as fibras recicladas de polipropileno possuem boa interação com a matriz cimentícia, diferentemente das fibras de PP (vide Figura 5) através do ensaio de tração.

Figura 5. Efeito *pull out* ocorrendo nas fibras de PP



Fonte: Yin et al., 2015.

Zamanzadeh e Lourenço (2015) evoluíram suas pesquisas em fibras recicladas de aço, as quais foram retiradas da estrutura de pneus usados. Já que existe uma grande demanda para fibras de aço na construção civil e, conseqüentemente, maior geração de resíduos, não há nada mais justo de que adicionar estes resíduos também ao concreto. Assim como Yin et al. (2015), os autores ensaiaram os compósitos com filamentos reciclados de aço após a fissuração e obtiveram resultados importantes. Sem potencial para ser aplicado com função estrutural e podendo diminuir a agressão ao meio ambiente, os resíduos de aço mostraram valores de resistência muito inferiores aos materiais virgens, tornando-se um material pouco atrativo. Os teores de adição da pesquisa foram feitos em massa e corresponderam a 45, 60 e 90 kg/m³ de fibras de aço. Entretanto, o comportamento do compósito com fibras recicladas mostrou resistência constante mesmo após a fissuração da peça, indicando ser um bom material para contenção da propagação de fissuras. Segundo Zamanzadeh e Lourenço (2015), mesmo possuindo valores inferiores às



fibras novas de aço, os resíduos de aço possuem resistência suficiente para serem aplicados em blocos de fundação, radier, placas de contenção e pisos industriais.

Seguindo a ideologia Zamanzadeh e Lourenço (2015), Martinelli et al. (2015) também pesquisou os resultados da reação das fibras de aço quando adicionadas no concreto. Os parâmetros de comparação foram destinados à análise das fibras de aço industriais e as fibras de aço retiradas de pneus. Foram desenvolvidos ensaios de tração e compressão. Os teores de adição foram de 0,50% e 1,00% em relação ao volume. A adição dos materiais não alterou as propriedades de compressão dos compósitos, mostrando apenas significância na resistência a tração do material. Porém, os resultados mostraram que quanto maior a adição de fibras recicladas, mais significativa é a redução da resistência após a fissuração. Martinelli et al. (2015) comprovou que o teor das fibras recicladas não é equivalente ao de fibras industriais, isto porque as recicladas têm menor eficiência e, conseqüentemente, devem obter dosagem mais elevadas.

5. CONCLUSÃO

Depois dos resultados vistos, não há dúvida de que as fibras naturais e os materiais reciclados são ótimas alternativas para reforço estrutural de matrizes cimentícias. Cada um possui suas peculiaridades, entretanto suas propriedades e misturas convergem para um compósito de qualidade, durabilidade e boa resistência mecânica. Em determinados casos, as fibras originais ainda possuem propriedades mais favoráveis em função das recicladas, entretanto dependendo da sua aplicação, estas fibras recicladas podem tranquilamente substituir filamentos novos.

Quando se utilizam as fibras naturais, nota-se que são excelentes materiais, os quais resistem aos esforços de tração, entretanto devem ser preparados para suportarem aos ataques de reagentes químicos como álcalis presentes nas matrizes cimentícias. Este problema é o que enfraquece o comércio destes filamentos, pois já possuem uma vida útil inferior aos outros materiais analisados na pesquisa.

As fibras recicladas poliméricas mostraram resultados muito bons em todos os ensaios realizados pelos diversos pesquisadores. É um bom material que ilustra estabilização das propriedades tanto quando se encontram no processo de fabricação, quanto são caracterizados como resíduos. A maior eficiência dos filamentos foi identificada nas questões de durabilidade dos compósitos cimentícios, mostrando uma diminuição considerável nas dimensões e quantidade de fissuras nas amostras.

As pesquisas relacionadas à utilização do aço encontrado na estrutura de pneus foram de grande colaboração para os estudiosos da área. Mesmo não mostrando propriedades tão avançadas quanto às fibras industriais de aço, as fibras providas de pneus podem ser tranquilamente utilizadas na estruturação de raders, lajes para controle de fissuração e serem acrescentadas como complemento estrutural em pilares e vigas, a fim de aumentar o módulo de elasticidade do concreto, em função da matriz natural.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.1R-96 Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI Committee 544 (Reaprovado 2009), Detroit, USA, 1996.

AGOPYAN, V. JOHN, V. M. Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials. Building Research and Information, v. 20, n.4, p 233 – 235, 1992.

AGOPYAN, V. SAVASTANO Jr, H. Uso de materiais à base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira. In: Seminário Iberoamericano 1997 de Materiales Fibrorreforzados, 1., y Reunión Proyecto PIP VIII. 5 Cyted, 3., Cali, 1997. Memorias. Cali, Universidad del Valle, 1997. P 23 – 40.

AÏTCIN, P. C. Cements of yesterday and today Concrete of tomorrow. 2000. n. 30, p. 1349 – 1349.



BAE KIM, S. YI, N. H. KIM, H. Y. JAY KIM, J. SONG, Y. Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber. *Cement and Concrete Composites* 32 (2010) 232 – 240.

BEAUDOIN, J. J. Handbook of fiber reinforced concrete – principles, properties, developments and applications. Noyes Publications, USA., 1990, p. 332.

BENTUR, A.; MINDESS, S. Fiber reinforced cementitious composites. USA and Canada: Taylor & Francis. Applied Science, 2006.

BERNARDI, S. T. Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de Aramida Kevlar. 2003. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOGHOSSIAN, E. WEGNER, L. D. Use of flax fibers to reduce plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Composites* 30 (2008) 929 – 937.

CARMONA, T. G. HELENE, P. Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*. São Paulo, 2006.

CHODOUNSKY, M. A.; VIECILI, F. A. Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e executivos. São Paulo: Reggenza, 2007.

CHRIST, R. Desenvolvimento de compósitos cimentícios avançados à base de pós-reativos com misturas híbridas de fibras e reduzido impacto ambiental. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

DESNERCK, P. LEES, J. M. MORLEY, C. T. Bond behavior of reinforcing bars in cracked concrete. *Construction and Building Materials* 94 (2015) 126 – 136.

GAO, Y. ZHANG, J. HAN, P. Determination of stress relaxation parameters of concrete in tensions at early-age by ring test. *Construction and Building Materials* 41 (2013) 152 – 164.

GOODIER, C. I. Development of self-compacting concrete. 2003.

GRAM, H. E. Durability of natural fiber in concrete. Swamy RN, editor. *Natural fiber reinforced cement and concrete*. Glasgow: Blackie, 1988. p. 143 – 172.

GUIMARÃES, S. S. Fibra vegetal-cimento- resultados de algumas experiências realizadas no THABA/CEPED. *Hahitec* 1987. pp. 103 – 109.

HAMOUSH, S. ABU-LEBDEH, T. CUMMINS, T. Deflection behavior of concrete beams reinforced with PVA micro-fibers. *Construction and Building Materials* 24 (2010) 2285 – 2293.

JAMERAN, A. IBRAHIM, I. S. YAZAN S. H. S. RAHIM, S. N. A. A. Mechanical properties of steel-polypropylene fiber reinforced concrete under elevated temperature. *Procedia Engineering* 125 (2015) 818 – 824.



LERTWATTANARUK, P. SUNTIJITTO, A. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. *Construction and Building Materials* 94 (2015) 664 – 669.

LI, X. TABIL, L. G. PANIGRANI, S. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites. *Journal Polymer Environmental*. v. 15, pp. 25 – 33, Jan. 2007.

MARTINEAU, P. AGOPYAN, V. Conferência Magna I – Compósitos: material inovador. In: *Arquimacom' 2002*. São Paulo, 2002.

MARTINELLI, E. CAGGIANO, A. XARGAY, H. An experimental study on the post-cracking behavior of hybrid industrial/recycled steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials* 94 (2015) 290 – 298.

MAZZOLI, A. MONOSI, S. PLESCIA, E. S. Evaluation of the early-age-shrinkage of fiber reinforced concrete (FRC) using image analysis methods. *Construction and Building Materials* 101 (2015) 596 – 601.

MEHTA, P. K., MONTEIRO P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2014.

ONUAGULUCHI, O. BANTHIA, N. Plant-based natural fiber reinforced cement composites. *Cement and Concrete Composites* (2016).

QUININO, U. C. M. Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adição híbridas de fibras. 2015. 243 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação da Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

SAVASTANO Jr. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. 2000. 152 f. Tese (Livre-Docência em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA, F. A. Tenacidade de materiais compósitos não convencionais. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, 2004.

SPADEA, S. FARINA, I. CARRAFIELLO, A. FRATERNALI, F. Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement. *Construction and Building Materials* 80 (2015) 200 – 209.

TOLEDO FILHO, R. D. SCRIVENER, K. ENGLAND, G. L. GHAVAMI, K. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibers in cement mortar composites. *Cement and Concrete Composites* 22 (2000) 127 – 143.

TUTIKIAN, B. F. ISAIA, G. C. HELENE, P. Concreto de alto e ultra-alto desempenho. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. G.C. Isaia. 1. ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 2v.

XU, B. TOUTANJI, H. A. GILBERT, J. Impact resistance of poly(vinyl alcohol) fiber reinforced high-performance organic aggregate cementitious material. *Cement and Concrete Research* 40 (2010) 347 – 351.

RESÍDUOS SÓLIDOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS



15 a 17
junho de 2016
Porto Alegre, RS



Realização:

INSTITUTO VENTURI
para Estudos Ambientais

YANG, T. WU, T. HUNG, K. CHEN, Y. L. WU, J. Mechanical properties and extended creep behavior of bamboo fiber reinforced recycled poly(lactic acid) composites using the time-temperature superposition principle. *Construction and Building Materials* 93 (2015) 558 – 568.

YIN, S. TULADHAR, R. COLLISTER, T. COMBE, M. SIVAKUGAN N. DENG, Z. Post-cracking performance of recycled polypropylene fiber in concrete. *Construction and Building Materials* 101 (2015) 1069 – 1077.

ZAMANZADEH, Z. LOURENÇO, L. BARROS, J. Recycled steel fiber reinforced concrete failing in bending and in shear. *Construction and Building Materials* 85 (2015) 195 – 207.

Apoio acadêmico

ESCOLA
POLITÉCNICA
UNISINOS

 UNISINOS

 Universidade de Brasília

 ilacis | Lab. de Ambiente Construído
Inclusão e Sustentabilidade
FAU | CDS | FGA | UnB

 BIMTECH
BIRLA INSTITUTE
OF MANAGEMENT TECHNOLOGY