Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

COMPARAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM ENTRE CONCRETOS CONVENCIONAIS E COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIÉSTER

H. Z. EHRENBRING
Engenheiro civil, mestrando em Engenharia civil
Unisinos
Rio Grande do Sul; Brasil
hinoelzamis@hotmail.com

U. QUININO
Professor Dr. Engenharia civil
itt Performance / Unisinos
Rio Grande do Sul; Brasil
uquinino@unisinos.br

B. TUTIKIAN
Professor Dr. Programa de Pós Graduação em Engenharia civil
itt Performance / Unisinos
Rio Grande do Sul; Brasil
bftutikian@unisinos.br

RESUMO

A versatilidade de matrizes cimentícias desenvolve-se constantemente, trazendo ao mercado consumidor alternativas que melhoram o desempenho dos sistemas construtivos. As diversas pesquisas feitas com estes materiais têm como foco principal melhorar suas propriedades e diminuir a probabilidade de surgirem anomalias. O problema mais evidente em sistemas constituídos por concretos e argamassas é a formação de fissuras. Muitas ações podem ser assossiadas às fissuras, assim como a retração. A retração está diretamente relacionada com as trocas de umidade entre meios, causando a variação volumétrica dos materiais. Caso a retração ocorra em materiais frágeis, como em concreto, pode ocorrer com mais facilidade a fissuração da peça. Relacionada à formação destas aberturas está a baixa resistência à tração do concreto. A contração da pasta de cimento hidratada faz com que se criem tensões de transão no interior da matriz e se foram superiores à resistência à tração do material, potenciam o aparecimento de fissuras. Neste contexto, o objetivo deste trabalho écomparar a retração por secagem de concretos sem fibras e com fibras de poliéster novas e descartadas. Os ensaios feitos foram fundamentados no método desenvolvido pela norma C1581/1581M [1], através da retração restringida. Observou-se que os concretos reforçados com fibras apresentaram uma diminuição considerável da retração por secagem, tanto em quantidade de fissuras quanto no prazo que estas ocorreram. Estruturou-se o trabalho em: (a) método de pesquisa, (b) análise de resultados e (c) conclusão.
Palavras-chave: concreto, retração por secagem, fibras de poliéster usadas, potencial de fissuração.

ABSTRACT

The versatility of cement matrix is developed constantly, bringing the consumer market alternatives that improve the performance of building systems. The various surveys of these materials are focused primarily on improving its properties and decrease the likelihood of anomalies. The most obvious problem in systems constituted by concrete and mortar is the formation of cracks. Many actions can be related to cracking, as well as retraction. The decline is directly related to the moisture exchanges between media, causing the volumetric variation of materials. If shrinkage occurs in brittle materials, such as concrete, can occur more easily cracking of the part. Related to the formation of these openings is the low tensile strength of concrete. The contraction of hydrated cement paste makes transaction voltages are created within the matrix and were higher than the tensile strength of the material, enhance the appearance of cracks. In this context, the aim of this study is to compare the shrinkage of concrete without fibers and with new and discarded polyester fibers. The tests were made based on the method developed by the standard C1581/1581M [1], through the restricted shrinkage. It was observed that the concrete reinforced with fibers showed a considerable decrease in shrinkage, both in number of cracks as within which they took place. The work was structured in: (a) research method, (b) results analysis and (c) completion.
Keywords: concrete, drying shrinkage, polyester fibers used, cracking potential.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

Amplamente aplicado na construção civil, o concreto é um dos materiais mais versáteis para a composição de sistemas estruturais e também o mais utilizado [2]. Este material pode ser empregado tanto em pisos industriais quanto em elementos como pilares, vigas, cortinas de contenção e lajes. Suas características interferem no desempenho de cada estrutura, devendo ter na composição as propriedades necessárias para o bom funcionamento dos sistemas.

Composto por aglomerantes e agregados, o concreto pode ser feito em qualquer local, desde que sejam levadas em conta as características do ambiente, como a temperatura e umidade, pois são agentes que interferem nos aspectos da mistura. A fim deflexibilizar o uso deste material, vem-se estudando diversas maneiras de confeccioná-lo e compô-lo. Segundo Christ [3], o desenvolvimento de matrizes cimentícias aumenta a cada ano, levando em conta suas propriedades mecânicas e de durabilidade, quando comparadas às convencionais.

O desempenho mecânico das matrizes cimetícias está diretamente ligado com a resistência à compressão da mesma. Entretanto, o concretonão resisteaos esforços relacionados à tração, já que é um material frágil. A deficiência à tração deste material, quando solicitado, explica uma série de manifestações patológicas, assim como a formação de fissuras.

A fissuraçãoestá presente em diversos sistemas estruturais, devido às reações físicas ou químicas e causando o aumento de esforços. As fissuras caracterizam-sepela descontinuidade no composto, encontrando-se de maneira localizada ou em toda peça.Estas aberturas podem interligar-se, acarretando em fissuras mapeadasno elemento e diminuindosua resistência.De acordo com Nunes e Figueiredo [4], a retração causa a formação de fissuras no concreto. Isto é explicado por ocorrer o acúmulo de tensões de tração nas zonas de transição entre o agregado graúdo e a pasta cimentícia.

A retração de matrizes cimentícias tem sido estudada desde o início do século XX, por Le Chatelier, surgindo a partir registros sistemáticos relacionados ao estudo das propriedades do cimento e o processo de autodessecação de concretos. Entretanto, as pesquisas voltadas para este fenômeno só foram evoluir a partir da década 40 por diversos pesquisadores [5]. A partir do ano de 1948, a retração por secagem teve como investigação pioneira o trabalho feito pelos pesquisadores Powers e Brownyard, mostrando a possibilidade de cálcularo potencial do fenômeno em compósitos endurecidos.De acordo com as análises feitas sobre a retração por secagem, podem ser encontradas quando referenciadas à influência da relação a/c, dimensões dos agregados, geometria de fibras, tipos de fibras, entre outros.

A retração dos materiais tendencia a formação de fissuras ao longo da peça. Segundo Carmona [6], a presença de fissuras é um fator que agrava a funcionalidade de qualquer sistema, já que o mesmo encontra-se desprotegido e a deriva de ataques de agentes externos. O combate ao surgimento destas aberturas pode ser feito de diversas maneiras e também possui muitos fatores a serem analisados, como as dimensões dos agregados, conformepesquisa feita por Bisschop e Van Mier [7], e a geometria das fibras, como enfatiza Ababneh [8].Com isto, desenvolveu-se este trabalho a fim de agregar ao cenário nacional a utilização de fibras poliéster de baixo módulo de elasticidade em matrizes cimentícias, analisando as consequências da retração por secagem, como a deformação e o potencial de fissuração.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto Reforçado com Fibras (CRF)

O concreto reforçado com fibra (CRF) é um composto formado a partir de uma matriz cimentíciareforçada com fibras naturais, sintéticas ou metálicas. Com a adição de fibras, há melhoras nas propriedades da mistura, com destaquepara flexibilidade e a melhoria da resistência à tração. Compósitos com adição de filamentos são mais deformáveis quando comparados aos sem adição [9]. Umdos fatores presente nestes materiais, para suportarem maiores deformações, é o aumento da tenacidade. Conforme Christ [3], a tenacidade é a quantidade de energia mecânica que o material absorve antes da ruptura, pois quanto maior for a energia necessária para deformação, maior será a sua tenacidade.

Deve-se enfatizar que a incorporação de fibras em matrizes busca alterar o estado frágil da mesma para pseudo-dúctil, ou seja, o material passa a deformar-se antes da ruptura[10].Quinino [9] aponta a colaboração de materiais fibrosos nas matrizes cimentícias em função destas deformações, que neste caso tendem a não extrapolarem seus limites funcionais.Além da possibilidade de deformação do composto, existe o aumento da sua resistência antes da ruptura, quando exposta a ações de carregamentos externos. Entretanto, a capacidade de interferência das fibras nas propriedades da mistura só é expressiva quando o seu volume de adição é considerável [11]. Segundo Tanesi [10], sucedendo-se a inserção de baixos teores de filamentos, na ordem de 0,30% do volume de material, diminui-se a

formação de fissuras devido à retração do concreto. Com isto, utilizando pequenas quantidades de filamentos em matrizes cimentícias objetiva-se controlar a sua fissuração nas idades inicias da mistura [10].

As fibraspara adição em concretos podem ser separadas em diversas categoriasde acordo com as sua composição e características geométricas.É grande a diversidade de matérias-primas dispostas para a fabricação de fibras, podendo ser de origem metálica, polimérica ou orgânica [12]. Os ganhos mais expressivos nas propriedades dos materiais com adição de filamentos poliméricos, segundo Bernardi [13], são a resistência à abrasão, controle de fissuração e ductibilidade da matriz, sendo que a diminuição de aberturas é o aspecto mais significativo para a adição de microfibras no concreto [14].

2.2 Interação Fibra-Matriz

A adição de fibras na matriz é feita para que ocorram melhoriasnas propriedades do produto, relacionando seus comportamentos separados. Estes desenvolvimentos acontecem quando a interação fibra-matriz é bem sucedida. Esta ação potencializa a resistência à tração por flexão da matriz, pois adquire características semelhantes aos materiais fibrosos [15].A função principal da interface entre os materiais é garantir a transferência dos esforços para o reforço presente na matriz [13]. Narayanan [16] afirma que as fibras com melhores propriedades de fixação, ou seja, ancoragem nas extremidades ou superfícies corrugadas, possuem melhor interação com o composto e, consequentemente, melhor desempenho mecânico quando comparadas às sem ancoragem e lisas.

A interação fibra-matriz tem um fator muito importante para o bom desempenho do compósito. Hannant [17] enfatiza que a interface entre estes materiais é o fator crítico da mistura, relacionado ao seu funcionamento.A ligação entre a fibra e a matriz deve garantir aderência, podendo esta ser melhorada a partir da adição de fibras metálicas, químicas e naturais [2].Em um concreto sem adições, as fissuras presentes propagam-se através do próprio material. Isto ocorre pelo acúmulo de tensões nas extremidades da abertura, fazendo com que o compósitoas absorva, porém sem eficiência [18]. Já com a adição de fibras, as tensões ocorridas no concreto são transferidas e absorvidas pelas fibras, que atuam como pontes de transferênciade esforços quando o material encontra-se fissurado [19].

Segundo Quinino [9], compósitos sem a adição de filamentos possuem instabilidade na formação da abertura até ocorrer o colapso da peça. Em contrapartida, matrizes com adição de fibras tendem a retardar o aparecimento de fissuras progressivamente em decorrência da retração. Ainda segundo o autor, matrizes fibradas permitem que a fissuração do elemento seja distribuída com mais eficácia. Os filamentos auxiliam no aumento da energia mecânica necessária para a ruptura do material, pois qualquer quantidade de fibra adicionada ao concreto exige uma reorganização de esforços, aliviando as tensões sobre o concreto. De acordo com Tanesi e Agopyan [20], teores de fibras acima de 1% do volume da matriz aumentam expressivamente a capacidade de absorção de energia na tração por flexão, aprimorando o desempenho mecânico do compósito.

A eficiência das fibras poliméricas na contenção da formação de fissuras nas idades iniciais da mistura, relacionando com o módulo de elasticidade. Isto acontece, pois o módulo de elasticidade das fibras poliméricas é superior ao módulo da mistura no início de pega. Portanto, a aplicação das fibras sintéticas só é atraente nas idades inicias do concreto, onde o seu módulo de elasticidade ainda é baixo e inferior aos das fibras. Sendo assim, as fibras sintéticas de baixo módulo tornam-se soluções atrativas para evitar a fissuração nas idades iniciais do concreto [21].

2.3 Retração

A retração é um fenômeno físico-químico representadopela variação volumétrica de um determinado material. Esta variação altera as dimensões do elemento no qual podem ocorrer ou não consequências.O volume da pasta de cimento é influenciado com a perda de água, levando aretração. Quando a retração é restringida causa o aumento de tensões de trações no interior e na superfície do concreto.Caso as tensões de trações sejam maiores do que a resistência à tração característica do concreto há a fissuração do mesmo [13].

Avariação volumétrica do concreto é influenciada por uma série de fatores integrados simultaneamente. Conforme Mehta e Monteiro [11], a principal fonte destas deformações em concretos estárelacionada à umidade relativa da pasta de cimento hidratada. A contraçãoda pasta de cimento ocorre diferentemente entre as matrizes. Esta desigualdade é explicada pela diferença no teor de agregados de cada uma das misturas, sendo que quanto maior o teor de agregado menor a retração [22].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

A perda de água dos materiais cimentícios ocorre por diversos fatores, um deles está relacionado com a hidratação do cimento. Nas reações iniciais de hidratação ocorre a formação de produtos, como silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de cálcio ($Ca(OH_2)$) (SENISSE, 2010). O hidróxido de cálcio ocupa, em massa, 20% da pasta de cimento hidratada e garante a estabilidade química, mantendo opH elevado. Já o C-S-H é responsável pelas propriedades mecânicas da matriz, atuando diretamente na resistência e durabilidade da mesma[23].

2.3.1 Retração por Secagem

A retração por secagem é um fenômeno físico causado exclusivamente pela perda de água, levando a contração do concreto já endurecido. Este processo pode prejudicar seriamente o desempenho do material pela alta taxa de fissuração e as consequências desta retração não devem ser ignoradas em projetos estruturais.Em elementos de grandes áreas superficiais a retração por secagem pode trazer problemas maiores do que a formação de fissuras [24].Segundo Granger, Torrenti e Acker [25], a retração por secagem é originada através do processo de secagem da matriz cimentícia. A perda de água no concreto pode ocorrer de várias formas, trazendo ao composto micro e macrofissuras. Os movimentos de umidade, que aclaram a retração, ocorrem na pasta de cimento, posto que o estágio de hidratação do material não esteja finalizado. Estas trocas de umidade, entre o meio externo e a pasta de cimento atingem a quantidade de água presente na mistura, mesmo que já tenha passado pelo período de pega.

O tipo de agregado também pode interferir na retração por secagem do concreto, pois há variações nos módulos de elasticidade.Os inertes com baixo módulo de elasticidade são chamados de agregados leves e, quando adicionados em matrizes cimentícias, ocasionam maior retração na mesma [18].Agregados com módulos mais elevados causam menor retração no concreto do que os com menor módulo, entretanto, quanto menos deformável for o agregado maior é a reação contra a movimentação da pasta de cimento hidratada, o que ocasiona um aumento expressivo de tensões de tração, formando fissuras na zona de transição dos materiais [11].Troxell[26] pressupõe que a retração por secagem do concreto pode aumentar 2,5 vezes com a substituição de agregados de alto módulo de elasticidade, como quartzo, para baixo módulo de elasticidade, como arenito.

Ainda, além do agregado, o cimento tem ação direta na retração do concreto. Neville [18] comprovou que quanto maior o teor de cimento maior será a retração da pasta hidratada.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O ensaio de anel, ou *Ring Test*, é descrito pela C1581/1581M [1]. Este ensaio caracteriza as propriedades do concreto em relação ao seu potencial de fissuração por retração restringida, devido à tensão de compressão exercida pelo anel de concreto sobre o anel interno de aço. Este ensaio consiste em um anel de concreto moldado por duas fôrmas, conforme Figura 1.



Figura 1: Sistema utilizado nos ensaios de retração, tendo concluída a etapa de posicionamento das fôrmasmetálicas interna e externa, assim como a instalação dos extensômetros na face interna do núcleo

O núcleo metálico interno mede 330 ± 3 mm de diâmetro externo, com altura de 150 ± 6 mm e espessura de 12,5 mm.A fôrma externa necessita ser impermeável e não abrasiva. Conforme orientações da norma, a mesma pode ser

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

confeccionada com material metálico, tendo diâmetro interno de 405 ± 3 mm, altura de 150 ± 6 mm e espessura a definir. Assim como a fôrma externa, a base de apoio também deve ser impermeável e lisa. Sendo assim, utilizou-se como base uma chapa de acrílico com 3 mm de espessura e medidas de 600 x 600 mm.

No processo de secagem do anel de concreto criam-se tensões de compressão sobre anel metálico interno. Estas tensões de compressão são oriundas da retração da mistura, o que ocasina a deformação da fôrma interna metálica. A medição destas tensões foi registrada através de extensômetros eletrônicos ligados ao equipamento de aquisição de dados. De acordo com a C1581/1581M [1], os extensômetros devem ser colados no núcleo metálico na sua face interna, na metade da altura. A partir da coleta das tensões originadas no ensaio, pode-se determinar a deformação direta do anel de aço.

A inserção do concreto entre as fôrmas foi feita de maneira manual, assim como o adensamento do mesmo. Executou-se a compactação do material em duas camadas, sendo que cada camada recebeu 75 golpes com uma haste metálica de diâmetro equivalente a 10 mm. Ao final do adensamento, regularizou-se a superfície da amostra, retirando qualquer excesso de material no interior do anel e ao longo de sua circunferência externa. Os ensaios ocorreram em uma sala climatizada, com temperatura e umidade controladas, conforme estipula a norma. A temperatura do ambiente deve permanecer a23 ± 2 ºC e umidade a50 ± 4%.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados de retração por secagem restringida das amostras serão ilustrados ao longo dos itens seguintes. Para análise e obtenção dos valores, fez-se necessário a utilização de normas nacionais e internacionais. De acordo com a norma C1581/1581M [1], a primeira fissura pode ser averiguada quando ocorre o alívio de tensões sobre o núcleo. A partir desta afirmação, pode-se saber com precisão o exato momento da formação da fissura no compósito.

4.1 Efeito da Retração no Concreto Referência

Os resultados das tensõesmédias diárias obtidas neste ensaio estão ilustradas na Figura2. Os dados que compõem este gráfico representam as reações do anel de aço em relação aos esforços devido à retração do concreto referência, sem fibras.



Figura 2: Tensão média diária dos *strain gages* em cada amostra do Concreto Referencial (CR)

Nota-se que as tensões nas amostras foram intensificando-se de maneira distinta. Entre o início do ensaio até o 8º dia identificou-se que os esforços de compressão aumentam gradativamente, tanto na amostra CR 02 quanto na CR 03, e a partir do 9º dia de ensaio houve o alívio de tensões em ambas.Segundo Senisse [2], este alívio de tensões evidencia a formação de fissuras no composto. Entretanto, mesmo acontecendo o alívio de tensões, as aberturas só puderam ser visualizadas a partir do 11º dia de ensaio.

Constatou-se, visualmente, a presença de fissura aos 11 dias de idade na amostra CR 02. Aos 16 dias de idade, também no CR 02, ocorreu a formação da segunda fissura (vide Figura 3). Tal ação já era esperada, visto que o material foi produzido sem fibras e com uma quantidade elevada de água e utilizou-se nenhum tipo de mecanismo para absorver as tensões geradas pela contração do concreto. A intensidade da deformação máxima medida na amostra CR 02 foi de -403 µm.

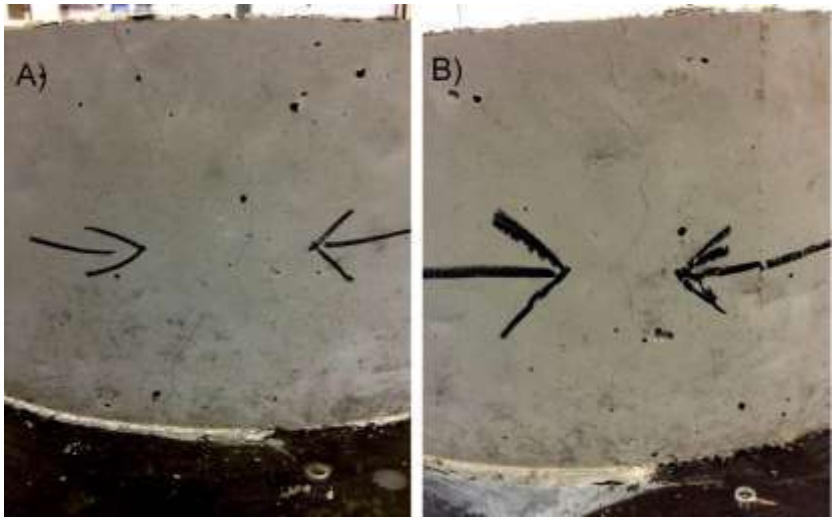

Figura 3: Fissuração na amostra CR 02 do concreto referencial
Legenda: A) primeira fissura formada aos 11 dias de ensaio; B) segunda fissura formada aos 16 dias de ensaio.

A amostra CR 03 teve sua primeira fissura aos 17 dias de idade (vide Figura 4). Tal ação também já era esperada, sendo que o material tem as mesmas características da amostra CR 02, onde não havia inserção de fibras, consumindo o equivalente a 237 l/m³ de água para a confecção da mistura. A retração máxima medida na amostra CR 03 foi de -291 µm.



Figura 4: Presença da primeira fissura na amostra CR 03 do concreto referencial

A Tabela 1 ilustra as dimensões das fissuras das amostras doconcreto referência. Entretanto o ensaio foi estendido até os 21 dias após a mistura do material.

Amostra	Fissura	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4
		(mm)			
CR 02	1ª	<0,05	0,05	0,05	0,05
	2ª	0,05	0,05	0,05	0,05
CR 03	1ª	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Tabela 12: Dimensão das aberturas nas amostras de concreto referencial.

De acordo com a Tabela 1verifica-se que as fissuras da amostra CR 02 mantiveram-se com dimensões equivalentes e estabilizadas. As medições feitas nas aberturas da amostra aconteceram aos 11, 16, 18 e 21 dias de idade. Diferentemente da amostra CR 02, o concreto CR 03 apresentou apenas uma fissura com abertura menor de 0,05 mm, sendo monitorada aos 17, 18 e 21 dias de idade.

4.2 Efeito da Retração no Concreto com Adição de Fibras de Poliéster Usadas

A Figura 5 ilustra as tensões médias geradas pelo concreto reforçado com fibras de poliéster usadas. Foram inseridos no gráfico os valores medidos pelos quatro extensômetros, com o intuito de aumentar a precisão dos resultados. Cada núcleo recebeu dois *strain gages*.

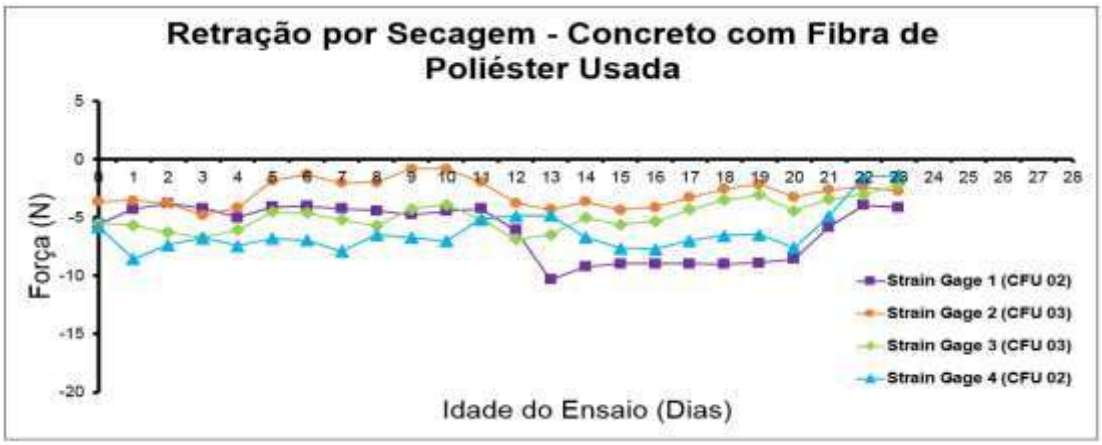

Figura 5: Tensão média diária dos *strain gages* em cada do concreto com fibra de poliéster usada (CFU)

A partir do gráfico, pode-se notar que as tensões geradas foram menores, comparando com as de tensões do concreto referência. Os acréscimos dos esforços em cada amostra são feitos de forma ordenada e simultânea. Ao longo de todo o ensaio, os esforços medidos mantiveram-se constantes e semelhantes.Entre o início do ensaio e o 10º dia, as amostras ensaiadas não apresentaram um aumento expressivo de tensões. Uma das justificativas para esta ação é a presença das fibras de poliéster. Do 10º até o 13º dia de ensaio, houve o aumento das tensões atuantes no núcleo, mostradas, principalmente, pelo *strain gage 1e*4, na qual ambos são pertencentes à mesma amostra. A amostra CFU 03mostrou variabilidade ascendente no mesmo período.

Comparando com o concreto referência, nota-se que os esforços são mais uniformes, evidenciando uma melhor distribuição de tensões nos concretos com fibra de poliéster.Além da diferenciação da distribuição das tensões, a magnitude das mesmas também é ressaltada nos gráficos analisados. Os esforços atuantes no concreto sem reforço são maiores do que os medidos no concreto com adição de fibras de poliéster, isto porque, segundo Nunes e Figueiredo [4] e Quinino [9], as fibras tem a capacidade de absorver tensões e distribuí-las igualitariamente no composto.

O alívio de tensões ocorreu entre o 13º e 14º dia de ensaio, entretanto a visualização das aberturas só pôde ser comprovada 7 dias após este período. Isto significa que com a adição das fibras de poliéster prolonga-se o surgimento e a propagação das fissuras.Comparando a fissuração das amostras com adição de fibras usadas e o concreto referência, pode-se notar que o surgimento das fissuras foi em um período de 7 dias , contra os 2 dias do material sem fibras, mostrando eficiência 350% superior.

As primeiras aberturas apresentaram-se aos 20 dias de ensaio nas amostras CFU 02 e CFU 03 (vide Figuras6 e 7). As duas amostras manifestaram indícios de fissuração no mesmo dia, sendo que a amostra CFU 02 teve a formação da primeira fissura aos 20 dias de ensaio com deformação máxima de -322 µm e no dia seguinte foi identificada a presença da segunda. Já a amostra CFU 03 apresentou 2 fissuras no mesmo dia, ou seja, no 20º dia de ensaio e teve sua deformação máxima igual a -228 µm.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

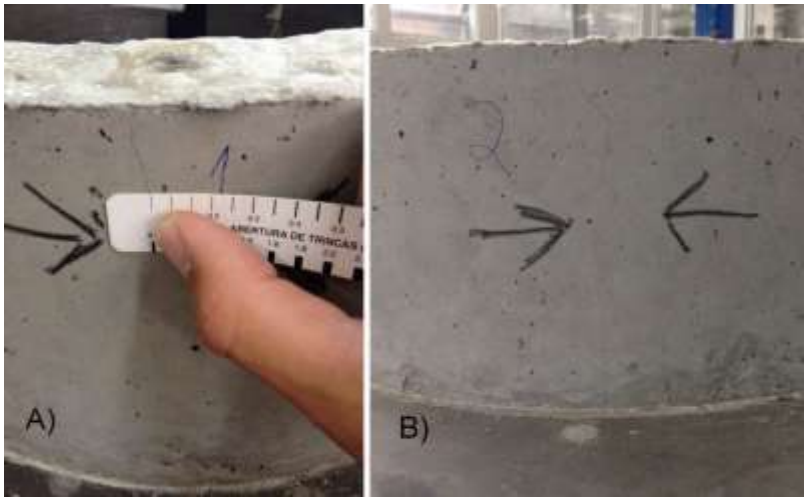

Figura 6 – Fissuração da amostra CFU 02 do concreto reforçado com fibra de poliéster usada
Legenda: A) quantificação geométrica da primeira fissura da amostra aos 20 dias; B) segunda fissura originada na amostra e identificada aos 21 dias de ensaio

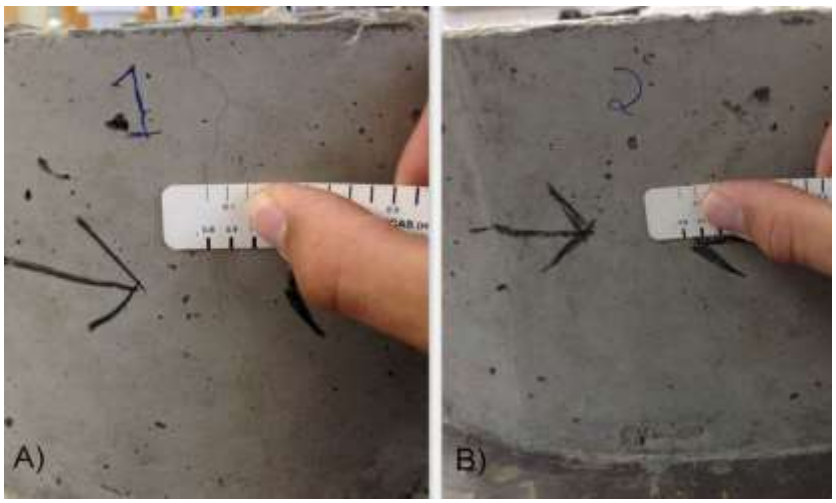

Figura 7 – Fissuração da amostra CFU – 03 do concreto reforçado com fibra de poliéster usada
Legenda: A) medição da fissura da primeira fissura na amostra, constatada aos 20 dias de ensaio; B) segunda fissura na amostra de concreto com fibra de poliéster usada, vista também aos 20 dias de ensaio

A Tabela 2 ilustra as dimensões das fissuras de cada amostra do concreto com fibras de poliéster usadas.

Amostra	Fissura	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4
		(mm)			
CFU 02	1ª	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	2ª	0,05	0,05	0,05	0,05
CFU 03	1ª	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	2ª	0,05	0,05	0,05	0,05

Tabela 2: Dimensão das aberturas nas amostras de concreto com fibras de poliéster usadas

O acompanhamento das fissuras nas amostras CFU 02 e CFU 03 ocorreu durante o 20º, o 21º e o 23º dia de ensaio. Ambas as aberturas encontram-se estabilizadas, porque não ocorreu o aumento de suas dimensões.Comparando os resultados obtidos em relação às dimensões das aberturas do concreto referência e do com fibras de poliéster usadas, nota-se que as fissuras nas amostras de CFU são menores do que as de CR.Outro parâmetro a ser destacado é a não progressão geométrica das fissuras do concreto com fibras. Com isto, subentende-se, que a adição das fibras evita a propagação de fissuras.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

4.3 Efeito da Retração no Concreto com Adição de Fibras de Poliéster Novas

A Figura 8 ilustra as tensões médias geradas pelo concreto reforçado com fibras de poliéster novas.

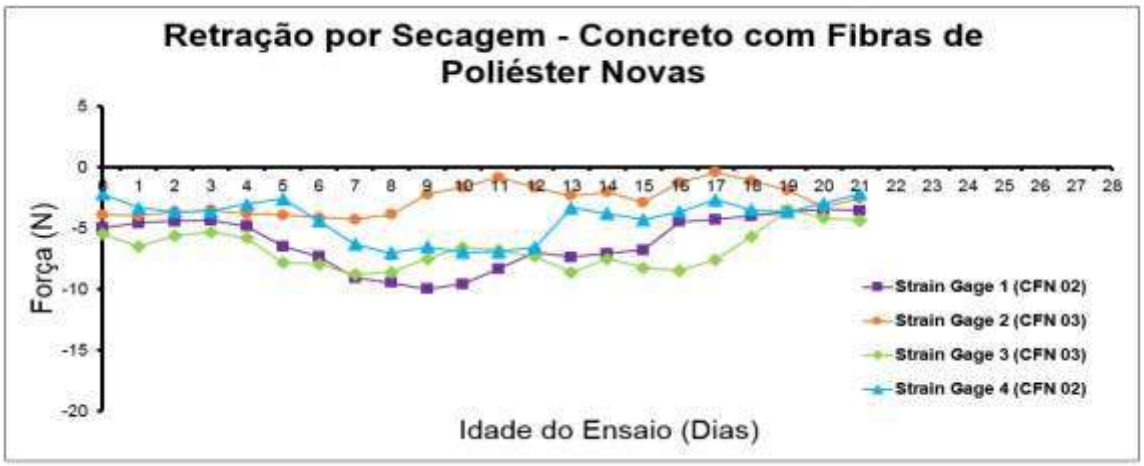

Figura 8: Tensão média diária dos *strain gages* em cada do concreto com fibra de poliésternova (CFN)

Analisando os valores ilustrados na Figura 8, pode-se notar que a amostra apresenta tensões constantes nos primeiros dias de ensaio, entretanto os esforços intensificaram-se após o 4º dia. Pode-se notar que o acréscimo de tensões ocorre simultaneamente nas duas amostras analisadas até o 12º dia. Quando se comparam os valores de tensões obtidos nos ensaios feitos no concreto referencia, evidencia-se que as tensões no concreto com fibras de poliéster novas são mais controladas.

Relacionando as tensões do concreto com fibras de poliéster usadas, nota-se que estas sofrem o aumento de esforços a partir do 12º dia de ensaio, já o concreto com fibras novas aumenta as tensões a partir do 4º dia de ensaio.Após o 4º dia e o 11º acontecem alívios de tensão.

A absorção de tensões por parte da fibra de poliéster nova foi efetiva durante 4 dias. Ou seja, aos 15 dias de ensaio comprovou-se visualmente a formação da primeira fissura no concreto, sendo ela averiguada na amostra CFN 02. Já a constatação de fissuração da amostra CFN 03 ocorreu aos 18 dias de ensaio.As tensões encontradas na amostra CFN 02 são ligeiramente maiores do que as atuantes na amostra CFN 03. O período de eficiência das fibras de poliéster novas foi de 4 dias e é inferior ao encontrado no concreto com fibras usadas, cuja eficiência foi de 7 dias. Estes valores representam a superioridade da fibra usada de 75% em relação à fibra de poliéster nova. Uma das justificativas desta discrepância de desempenho está relacionada a caracterização superficial das fibras.Em relação ao concreto referencial, a formação da primeira abertura ficou eminente aos 11 dias de ensaio, sendo que o alívio de tensão ocorreu no 9º dia. Com isto, nota-se que os concretos com adição de fibras novas, neste caso, possuem o dobro da eficiência em evitar a propagação de fissuras relacionando-os ao concreto referencial.

A primeira aferição visual das fissuras ocorreu aos 15 dias de ensaio na amostra CFN 02. Inicialmente a abertura possuía dimensões inferiores a 0,05 mm, como se observa na Figura 9. Quatro dias após, ou seja, no 19º dia de ensaio houve a formação da segunda fissura na mesma amostra.Analisando a integridade do anel de concreto da amostra CFN 02, notou-se que as fissuras desenvolvem-se em extremos opostos da circunferência, como já era esperado. As deformações máximas na amostra CFN 02 e CFN 03 foram, respectivamente, de -331 µm e -309 µm.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

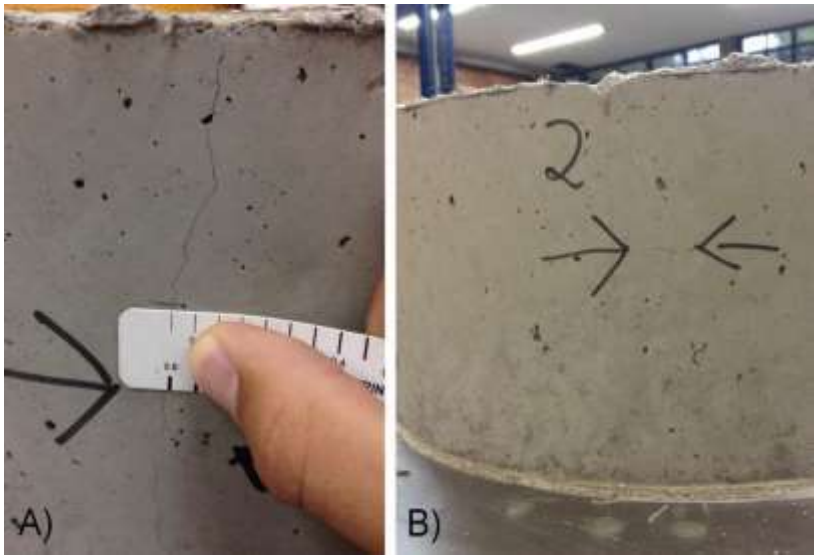

Figura 9: Fissuração da amostra CFN 02 do concreto reforçado com fibra de poliéster nova

Legenda: A) quantificação geométrica da primeira fissura da amostra aos 21 dias; B) segunda fissura originada na amostra

Na amostra CFN 03, foi constatada a presença da primeira fissura aos 18 dias de ensaio. No 20º dia ocorreu a formação da segunda fissura na amostra, conforme ilustra a Figura 10. Assim como na amostra CFN 02, ocorreu o desenvolvimento das fissuras em extremos opostos da circunferência.

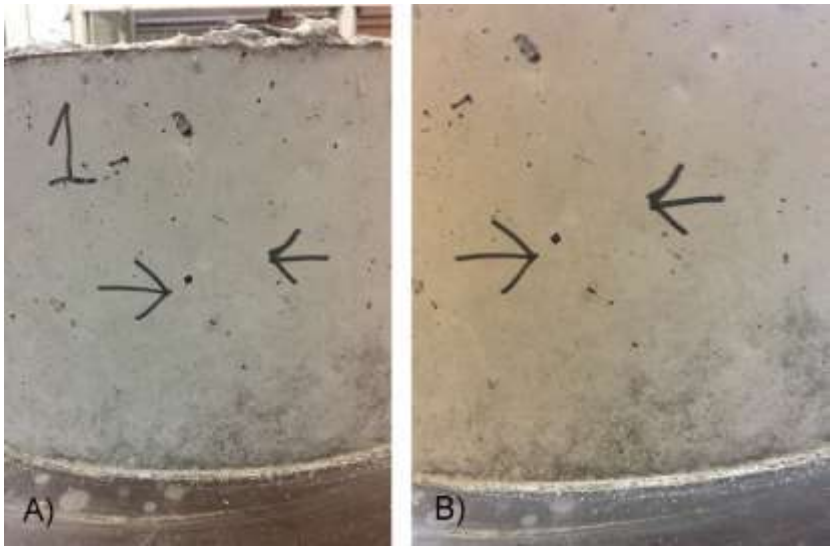

Figura 10: Fissuração da amostra CFN 03 do concreto reforçado com fibra de poliéster nova

Legenda: A) primeira fissura da amostra aos 18 dias; B) segunda fissura originada na amostra aos 20 dias de ensaio

A Tabela 3 mostra as devidas medições feitas no acompanhamento de desenvolvimento das fissuras encontradas tanto na amostra CFN 02 quanto na CFN 03.

Amostra	Fissura	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4
		(mm)			
CFN 02	1ª	<0,05	0,05	0,05	0,05
	2ª	<0,05	<0,05	0,05	-
CFN 03	1ª	<0,05	0,05	0,05	-
	2ª	<0,05	<0,05	-	-

Tabela 3 - Dimensão das aberturas nas amostras de concreto com fibras de poliéster novas

5. CONCLUSÃO

A pesquisa desenvolvida teve como principal objetivo avaliar o desempenho de concretos com fibras de poliéster em relação à retração por secagem restringida. Para isto, foram ensaiados 3 tipos de misturas, os quais seus resultados são:

- Compósitos com adição de fibras poliméricas de poliéster apresentaram melhor distribuição de esforços em comparação ao concreto convencional, que apresentaram maiores picos de tensão e deformação;
- Os concretos com fibras foram mais eficientes, em 3,5 vezes na absorção de tensões,devido à retração por secagem, quando relacionados ao concreto referência;
- O compósito com fibras de poliéster novas possuiu 43% a menos de eficiência em função do compósito com fibras de poliéster usadas;
- A deformação máxima encontrada no concreto referencia, com fibra usada e com o fibra nova, foi de, respectivamente, -403 µm, -322 µm e -331 µm;
- A área superficial das fibras influiu nos resultados, pois quanto maior a rugosidade da fibra, melhor a aderência do sistema e menor a tendência de fissuração, explicando o melhor desempenho das fibras usadas sobre as fibras novas;

6. REFERÊNCIAS

[1] C1581/1581M: *Standard Test Method for Determining Age atCrackingandInducedTensile Stress CharacteristicsofMortarand Concrete underRestrainedShrinkage*. Pennsylvania: ASTM, 2009.

[2] SENISSE, J. A. L. *Influência do consume de água, do teor de adição de microfibras de polipropileno, e do tipo de cimento no fenômeno da retração por secagem em concretos empregados em pisos*. 2010, 161 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre.

[3] 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.

[4] NUNES, N. L., FIGUEIREDO, A. D. *Retração do concreto de cimento Portland*. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2007.

[5] JENSEN, O. M. HANSEN, P. F. *Autogenousdeformationand RH-chance in perspective*. Cementand Concrete Research, v. 31, n. 12, p. 1859-1865, dez. 2001.

[6] CARMONA, T. G, CARMONA FILHO, A. *Fissuração nas estruturas de concreto*. Boletim Técnico ALCONPAT Internacional, 2013.

[7] BISSCHOP, J. SHIOTANI, T. VAN MIER. J. G. M. *Temporal andspatialdevelopmentofdryingshrinkagecracking in cement-basedmaterials*.EngineeringFractureMechanics, v. 70, n. 12, p. 1509-1525, ago. 2003.

[8] ABABNEH. M. *The damage of concrete structures due to coupled moisture transfer and drying shrinkage*. Proceedings of the 2001 ASCE Structures Congress and Exposition. Washington, DC, 2001.

[9] 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.

[10] TANESI, J., FIGUEIREDO, A. D. *Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP)*. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1999.

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

[12] GRISON, E. C., HOINACKI, E. *Identificação de materiais poliméricos: via úmida*. Fundação de Ciência e Tecnologia: Porto Alegre, 1985.

[13] 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.

[14] SARIGAPHUTI, M.; SHAH, S. P.;VINSON, K. *Shrinkagecrackinganddurabilitycharacteristicsofcellulosefiberreinforced concrete*. ACI Materiais Journal, São Paulo, p. 309-318, July-Aug1993

[15] KERN, A. P. *Estudo da viabilidade da incorporação de resíduos de contrafortes de calçados em matriz de gesso para uso como material de construção civil*. 1999. 117 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre.

[16] NARAYANAN, V. K., FAHEY, L. *Macroenvironmental Analysis for Strategic Management*. St. Paul, Minnesota: West Publishing Company. 1986.

[17] HANNANT, D. J. *Fibrecementsandfibre concretes*. WileyIntersciencePublication: John Wiley& Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1978. 219 p.
[18] NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 2. ed., São Paulo: Pini, 1997.
[19] NUNES, N. L., AGOPYAN, V. *A influência do fator de forma da fibra na tenacidade à flexão do concreto reforçado com fibras de aço*. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1998.
[20] TANESI, J., AGOPYAN, V. *Compósitos reforçados com fibras plásticas para construção civil*. II Encontro Tecnologia de Sistemas Plásticos na Construção Civil. EPSP. São Paulo, 1997.
[21] GUIMARÃES, D. *Pisos Industriais em Concreto: determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos*. 2010. 90 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
[22] PICKETT, G. *Effectofaggregateonshrinkageof concrete andhypothesisconcerningshrinkage*. Journalof American Concrete Institute, 52. January 1956, p. 581-590.
[23] LAM, H. *Effectsofinternalcuringmethodsonrestrainedshrinkageandpermeability*. 2005. 134 f. Thesis (Civil and Environmental Engineering). Universityof Toronto.
[24] CHODOUNSKY, M. A.; VIECILI, F. A. *Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e executivos*. São Paulo: Reggenza, 2007.
[25] GRANGER, L. TORRENTI, J. M. ACKER, P. *Thoughtsaboutdryingshrinkage: Scaleeffectsandmodelling*. MaterialsandStructures, Paris, v. 30, n. 2, p. 96-105, mar. 1997.
[26] TROXELL, G. E., RAPHAEL, J. M., DAVIS, R. E. *Long-time creepandshrinkagetestsofplainandreinforced concrete*. American Society for TestingandMaterials, 1958, p. 1101-1120.