

## ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE SISAL NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Ludmila de Medeiros Colonetti (1), Daiane dos Santos da Silva Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1) [ludmilamedeiros@gmail.com](mailto:ludmilamedeiros@gmail.com), (2) [dss@unescc.net](mailto:dss@unescc.net)

### RESUMO

A adição de fibras naturais no concreto apresenta-se como alternativa bastante viável pelo baixo custo e sustentabilidade. Sua ação pode auxiliar a transferência de tensões no concreto, melhorando a capacidade pós fissuração, reduzindo a propagação das fissuras. O presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento do concreto após a adição das fibras de sisal. Foram concretados oitenta corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10x20 cm, seguindo parâmetros da NBR 5738:2003, com objetivo de efetuar a comparação de amostras de um concreto sem adição de fibras e amostras com teor de 0,3 %, 0,6 % e 0,9 % de fibras de sisal em relação ao volume de concreto. Foram executados os ensaios de resistência à compressão axial (NBR 5739:2007), módulo de elasticidade (NBR 8522:2008) e resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222:2011) para cada amostra nos períodos de 28 e 150 dias. O ensaio de Difração de Raios X foi realizado para complementar o estudo, identificando as fases cristalinas formadas pela hidratação do concreto, bem como a microscopia eletrônica que mostrou o efeito e a interação que essa fibra teve à matriz cimentícia durante o processo de cura. Os estudos realizados mostraram redução na resistência e no módulo de elasticidade do concreto, bem como possível alteração nas propriedades da fibra durante o processo de cura, que foram adicionadas sem tratamento prévio às misturas. O concreto reforçado com fibras possui inúmeras vertentes como estudo sustentável e continua a ser explorado com propósito de melhorar seu desempenho.

*Palavras-Chave: Concreto. Fibras. Propriedades mecânicas. Sisal.*

### INTRODUÇÃO

O concreto é o resultado da mistura obtida de aglomerante (cimento), água, agregados graúdos e miúdos (brita e areia, respectivamente), e, em alguns casos, aditivos, que auxiliam no aumento do seu desempenho.

A mistura final que o compõe, após ganhar resistência, possui ótimo desempenho aos esforços de compressão gerados pelas estruturas, porém, em se tratando de esforços de tração, o concreto deixa a desejar. Tendo em vista essa e outras limitações do concreto, Figueiredo (2011) explica:

[...] o concreto simples apresenta um comportamento marcadamente frágil e uma baixa capacidade de deformação antes da ruptura quando submetido à

esforços de tração. Uma vez fissurado, o concreto simples perde completamente a capacidade de resistir aos esforços de tração e, por essa razão, surgiram alternativas tecnológicas, como o concreto armado, onde estas limitações são compensadas pelo reforço de barras de aço. Mais recentemente surgiu uma nova possibilidade de reforço do concreto através do uso de fibras.

O concreto composto por cimento hidráulico, água, agregados e fibras passa a ser *Concreto Reforçado com Fibras* – CRF. Quando adicionadas ao concreto, as fibras podem aumentar sua resistência à tração e ductilidade. De acordo com Figueiredo (2011), elas “podem servir como ponte de transferência das tensões através das fissuras”, ajudando o concreto a ter melhor controle pós fissuração e maior tenacidade.

Existem vários fatores que influenciam o comportamento de um CRF - *Concreto Reforçado com Fibras*. A quantia de fibras colocadas na mistura influencia muito na capacidade de reforço da fissura. Logo, quanto menor a quantia, menor será o reforço pós fissuração do concreto.

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que o tipo de fibra e sua fração volumétrica têm um efeito significativo nas propriedades do concreto reforçado com fibras.

O módulo de elasticidade também passa a ser um fator de suma importância para a composição do concreto com adição de fibras. Figueiredo (2011) afirma que as fibras com módulo de elasticidade menor que a do concreto endurecido, são chamadas de fibras de baixo módulo, e alto módulo quando for maior que a do concreto. Outros fatores como geometria, comprimento, aderência à matriz, fração volumétrica e resistência das fibras terão influência no desempenho do compósito pós fissuração.

Pesquisas realizadas com diversas fibras demonstram mudança no desempenho do concreto. De acordo com Martin et al (2009) o sisal é a principal fibra dura produzida no mundo e a mesma apresenta um dos maiores valores de módulo de elasticidade e de resistência mecânica entre as fibras naturais.

Na presente pesquisa é estudado o comportamento do concreto com adição de diferentes percentuais de fibras e diferentes idades. Amostras de um concreto sem adição de fibras serão comparadas a amostras com teor de 0,3 %, 0,6 % e 0,9 % de fibra de sisal, extraída das folhas da planta *Agave sisalana*, planta originária da América Central cujas fibras são retiradas das folhas para fins comerciais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Para esta análise o valor do  $f_{ck}$  de projeto utilizado foi de 30 MPa. O traço calculado para alcançar o  $f_{ck}$  foi 1:3,4:3,6 com relação água/cimento de 0,60.

Foram dosados quatro tipos de traços. Para cada um, o teor de fibra colocado foi 0,3 %, 0,6 % e 0,9 % do volume total de concreto, com exceção do traço referência, que não conteve adição de fibra. A Tabela 1 indica o quantitativo dos materiais nas misturas.

Tabela 1 – Quantitativo dos materiais nas amostras de concreto

Material	Traço 1 (kg) Referência	Traço 2 (kg) 0,3 %	Traço 3 (kg) 0,6 %	Traço 4 (kg) 0,9 %
Cimento	23	23	23	23
Areia	78,2	78,2	78,2	78,2
Brita	82,8	82,8	82,8	82,8
Água	13,8	13,8	13,8	13,8
Fibra	-	0,55	1,10	1,66

Fonte: Autora, 2017.

Os materiais utilizados para produzir o concreto (Figura 1) foram fornecidos pelo Laboratório Experimental de Estruturas da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, com exceção da fibra.

Os agregados graúdo e miúdo possuem densidades iguais a 3,04 g/cm<sup>3</sup> e 2,61 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. O cimento usado foi o cimento Portland CP IV-32, com densidade igual a 2,84 g/cm<sup>3</sup>. As fibras possuem densidade de aproximadamente 1,35 g/cm<sup>3</sup> e foram preparadas antes de serem utilizadas na concretagem, sendo secas ao sol pelo período de 24 horas e cortadas em dimensões de 3,5 a 5,0 cm de comprimento para serem misturadas ao concreto, sem passarem por tratamento prévio com hidro-repelentes ou agentes bloqueadores de decomposição das fibras.

Figura 1 – Material utilizado na concretagem



Fonte: Autora, 2017.

## 2.2 MÉTODOS

O primeiro passo antes da concretagem foi a retirada da umidade dos agregados, feita por uma estufa com temperatura constante em torno de 110 °C, por 48 horas, conforme determina a ABNT NBR 9939:2011. Em seguida os materiais foram pesados, com uma balança tipo Toledo com capacidade de 50 kg, e separados para cada traço. Com todos os materiais separados e devidamente preparados, as concretagens foram efetuadas no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE), em uma betoneira com capacidade para 400 litros.

Os corpos de prova utilizados foram cilíndricos com dimensões de 10x20 cm, de acordo com os procedimentos da norma ABNT NBR 5738:2003.

Primeiro foi concretado o traço referência, seguido pelo traço 2, traço 3 e traço 4, estes com adição de fibras de sisal. Após um período de 2 dias, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em cura submersa (Figura 2). Os mesmos foram retirados nos períodos de 28 e 150 dias para a realização dos ensaios mecânicos. Para a análise da microestrutura do concreto, foram realizados os ensaios de microscopia e de Difração de Raios X aos 150 dias.

Figura 2 – Corpos de prova em cura submersa



Fonte: Autora, 2017.

Para obter os resultados de análise nesse estudo, foram efetuados os ensaios de *Slump Test*, resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNESC.

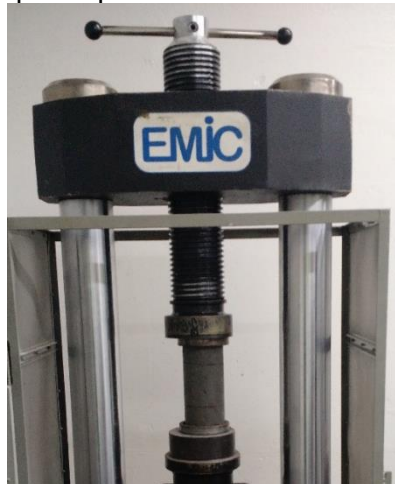
### 2.2.1 SLUMP TEST

As misturas foram submetidas ao teste de abatimento de tronco de cone, para avaliar a trabalhabilidade do concreto em estado fresco. A partir da concretagem do traço referência, foi determinado um abatimento de  $100 \pm 20$  mm. As demais concretagens utilizaram a mesma referência com objetivo de determinar um padrão para todas as amostras. Foi seguida a norma NBR NM 67:1998 para avaliar o *Slump Test*.

### 2.2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de resistência à compressão axial seguiu os requisitos presentes na norma da ABNT, NBR 5739:2007. As faces do corpo de prova e dos pratos foram limpas e secas antes deste ser posicionado no equipamento. A prensa servo-hidráulica utilizada foi da marca EMIC, modelo PC200i, que possui capacidade máxima de 200 toneladas (Figura 3).

Figura 3 – Corpo de prova no ensaio de compressão axial



Fonte: Autora, 2017.

O corpo de prova foi colocado na prensa e ajustado aos suportes metálicos, revestidos com neoprene. Uma carga foi aplicada perpendicularmente ao eixo horizontal do corpo de prova até que o mesmo atingisse sua resistência limite, que simulou a ruptura no concreto.

Para cada traço, foram ensaiados três corpos de prova cilíndricos, com dimensões 10x20 cm e idades de 28 e 150 dias, totalizando 24 corpos de prova.

A resistência é calculada através da Equação 01:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad \text{Equação (01)}$$

Onde:

$f_c$  = resistência à compressão (MPa);

F = força máxima alcançada no ensaio (N);

D = diâmetro do corpo de prova (mm).

### 2.2.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para executar o ensaio de módulo de elasticidade, foram adotados os critérios da norma ABNT NBR 8522:2008. Foram ensaiados três corpos de prova cilíndricos, com dimensões 10x20 cm e idades de 28 e 150 dias, totalizando 24 corpos de prova.

Este ensaio tem como finalidade determinar a deformação do concreto em estado endurecido levando em conta uma determinada carga aplicada. O ensaio foi realizado em uma prensa da marca EMIC, modelo PC200CS, com capacidade máxima de 200 toneladas, sendo conectada à prensa um extensômetro eletrônico colocado em volta do corpo de prova, como mostra a Figura 4. A prensa foi ligada a um computador com software TESC - Test Script.

Figura 4 – Corpo de prova na prensa



Fonte: Autora, 2017.

O primeiro passo foi dispor o corpo de prova antes de ser colocado na prensa. Para isso, fez-se duas marcações de referência nos corpos de prova a fim de posicionar corretamente o extensômetro, posteriormente fixado com uma fita elástica.

Com o corpo de prova centralizado na prensa, uma tensão de em média 30 % da resistência à compressão do concreto, obtida no ensaio de compressão axial anteriormente, foi aplicada. A carga foi mantida por 60 segundos e logo após reduziu até chegar na tensão de 0,5 MPa, onde foi mantida novamente por um período de 60 segundos. Esse ciclo foi repetido três vezes até finalizar o ensaio.

Conforme especifica a norma ABNT NBR 8522:2008, o cálculo do módulo de elasticidade foi efetuado com a Equação 02:

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3} \quad \text{Equação (02)}$$

Onde:

$E_{ci}$  = módulo de elasticidade inicial (GPa);

$\sigma_b$  = tensão maior (MPa) ( $\sigma_b = 0,3fc$ );

$\sigma_a$  = tensão básica (0,5 MPa);

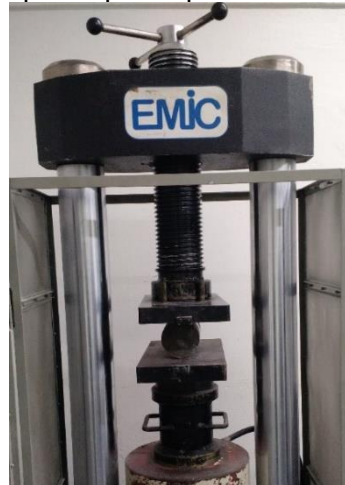
$\varepsilon_b$  = deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob a tensão maior;

$\varepsilon_a$  = deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob a tensão básica;

#### 2.2.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado no mesmo equipamento utilizado para o ensaio de resistência à compressão axial, a prensa servo-hidráulica da marca EMIC, modelo PC200i, dessa vez com um par de placas metálicas retangulares ligadas à prensa, ilustrada na Figura 5.

Figura 5 – Corpo de prova posicionado para o ensaio



Fonte: Autora, 2017.

Conforme prescreve a norma ABNT NBR 7222:2011, duas taliscas de madeira foram posicionadas em volta do corpo de prova para ligar e deixar em simetria as duas placas metálicas do equipamento. De início, uma força de compressão foi aplicada às placas para o ajuste do corpo de prova. Em seguida o corpo de prova foi submetido a uma carga até ocorrer sua ruptura, finalizando o ensaio.

Seguindo o padrão do ensaio de resistência à compressão axial, foram ensaiados três corpos de prova cilíndricos, para cada traço, com dimensões 10x20 cm e idades de 28 e 150 dias, totalizando 24 corpos de prova.

De acordo com a norma ABNT NBR 7222:2011, o valor da resistência à tração por compressão diametral foi obtido com a Equação 03:

$$f_{t,D} = \frac{2F}{\pi dL} \quad \text{Equação (03)}$$

Sendo:

$f_{t,D}$  = resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F = força máxima alcançada no ensaio (kN);

d = diâmetro do corpo de prova (mm);

L = largura do corpo de prova (mm).

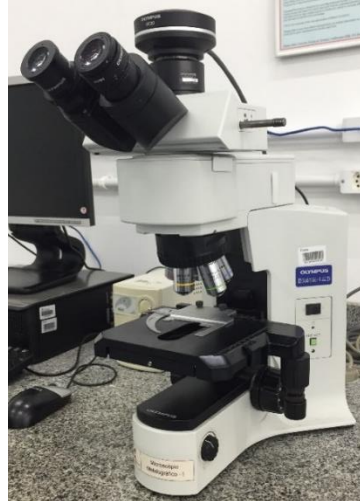
### 2.2.5 MICROSCOPIA

O ensaio de microscopia foi realizado em um microscópio metalográfico Olympus BXIS (Figura 6), no Laboratório de Ensaio Mecânicos e Metalografia/Microscopia do



Instituto de Engenharia e Tecnologia do Iparque (i.dt), que tem como objetivo permitir a observação de superfícies planas. Pequenas amostras dos corpos de prova de cada amostra foram separadas e devidamente polidas para melhor visualização no microscópio. As imagens foram ampliadas em uma proporção de 500  $\mu\text{m}$ .

Figura 6 – Microscópio metalográfico Olympus BXIS



Fonte: Autora, 2017.

## 2.2.6 DIFRAÇÃO DE RAIOS – X

O ensaio de Difração de Raios X, sigla DRX, foi efetuado no laboratório CECAM, no Iparque, aos 150 dias para cada um dos traços. Para isso, fragmentos dos corpos de prova de cada amostra foram moídos com ajuda de um pistilo, objeto responsável por pulverizar substâncias sólidas, e um almofariz, utensílio que serve para moer pequenas quantidades de produtos, ambos feitos de cerâmica. Depois os fragmentos foram passados na peneira com abertura de 75  $\mu\text{m}$  e separados em quantias de 10,0 g, aproximadamente. Esse demonstrou um relatório discriminando as fases cristalinas das amostras de concreto, executado com a ajuda de um aparelho modelo LabX XRD-6100, da marca Shimadzu.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 *SLUMP TEST*

O teste de abatimento de tronco de cone, *Slump Test*, foi efetuado para avaliar a consistência do concreto e seu controle de uniformidade. Durante cada concretagem foram tiradas as medidas do abatimento resultante em cada traço, como exemplifica Figura 7.

Figura 7 – Slump Test



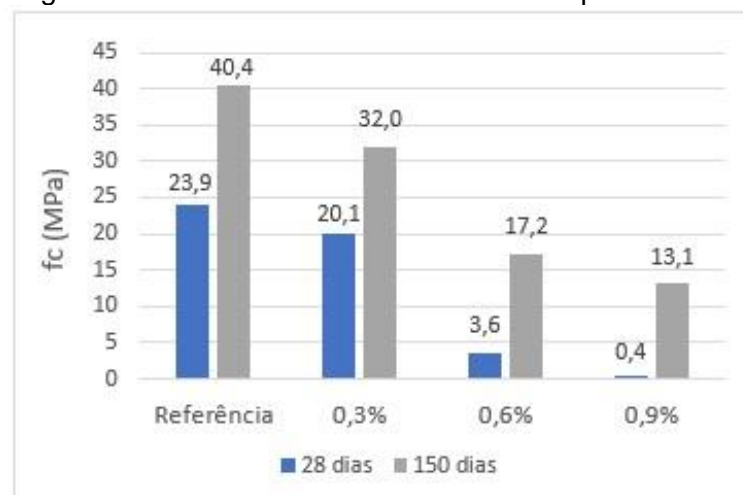
Fonte: Autora, 2017

O resultado do abatimento de tronco de cone para o traço referência foi de 8,0 cm, para o traço 2 foi 9,0 cm, para o traço 3 foi 8,5 cm e para o traço 4 foi 5,0 cm. A diferença acentuada no abatimento do traço 4 comparada aos demais pode ter ocorrido devido ao fato de o mesmo possuir grande quantidade de fibra, tornando a mistura menos fluida, diminuindo a trabalhabilidade do concreto e seu abatimento. Segundo Mehta e Monteiro (2008), em relação a trabalhabilidade do concreto, quanto mais úmida a mistura, maior o abatimento.

### 3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Com a análise dos resultados, constatou-se que houve uma redução na resistência à compressão axial dos corpos de prova com adição de fibra comparados ao traço referência, como ilustra a Figura 8.

Figura 8 – Resultados de resistência à compressão axial



Fonte: Autora, 2017.

Quanto maior o teor de fibra no concreto, maior foi a redução da resistência. O traço com 0,3 % de fibra, teve uma redução de 15,9 % em relação ao traço referência aos 28 dias e 20,8 % aos 150 dias. O traço com 0,6 % de fibra obteve uma redução de 84,9 % aos 28 dias e 57,4 % aos 150 dias, em relação ao traço referência, como mostra a Figura 8. O traço com 0,9 % de fibra obteve uma redução de 67,6 % em relação ao traço referência aos 150 dias.

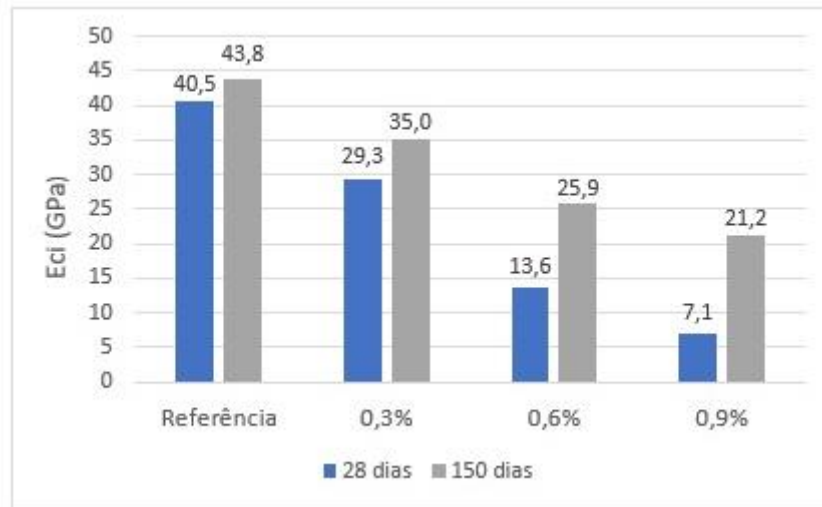
É importante salientar o motivo pelo qual a adição de fibras ocasionou redução na resistência do concreto. Izquierdo (2011), em seu estudo, ressalta que a presença de fibras de sisal no concreto possivelmente provoca falhas no material, menor compactação e maior índice de vazios, que podem ser provenientes da retenção significativa de água ocasionadas por sua falta de tratamento antes de serem adicionadas ao concreto.

Foi realizada a Análise Estatística de Variância (ANOVA) para os resultados de resistência à compressão axial, onde foi analisada a diferença entre as dosagens de cada idade, sendo que os resultados tiveram 95 % de significância ( $pvalue \leq 0,05$ ).

### **3.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE**

Os resultados do módulo de elasticidade mostram uma redução no valor à medida que a quantia de fibra aumenta em cada amostra, conforme Figura 9. Visto que o módulo de elasticidade está diretamente ligado a resistência à compressão axial do concreto, presumiu-se que o mesmo também decairia a medida que a quantia de fibra fosse acrescida. O traço com 0,3 % de fibra, teve uma redução de 27,7 % em relação ao traço referência aos 28 dias e 20,1 % aos 150 dias. O traço com 0,6 % de fibra obteve uma redução de 66,4 % aos 28 dias e 40,9 % aos 150 dias, em relação ao traço referência, como mostra a Figura 9. O traço com 0,9 % de fibra obteve uma redução 82,5 % aos 28 dias e 51,6 % aos 150 dias em relação ao traço referência.

Figura 9 – Resultados do módulo de elasticidade



Fonte: Autora, 2017.

Em materiais homogêneos, existe uma relação direta entre densidade e módulo de elasticidade (Mehta; Monteiro, 2008). Os mesmos afirmam ainda que a densidade é inversamente proporcional à porosidade, este possivelmente sendo motivo pelo qual notou-se redução no módulo de elasticidade.

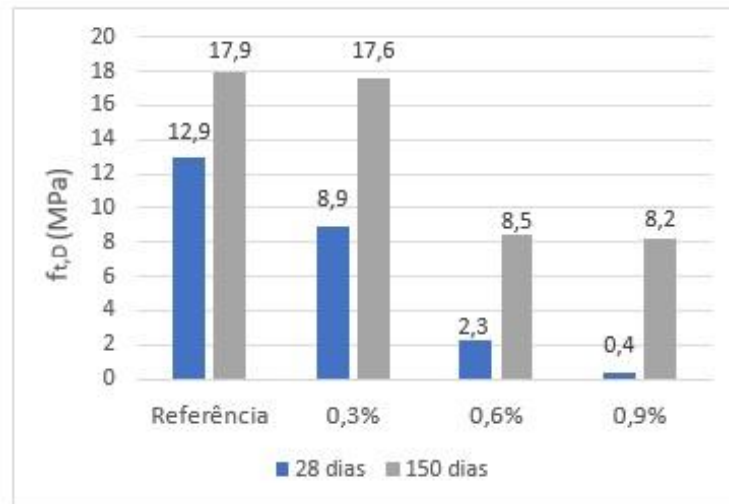
Após realizada a Análise Estatística de Variância (ANOVA) para todas as amostras, verificou-se que os resultados entre as amostras possuem 95 % de confiança ( $p\text{-value} \leq 0,05$ ), exceto a correlação entre os valores do traço com 0,6 % e 0,9 % de fibra para as idades de 28 e 150 dias.

### 3.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A seguir, indicados na Figura 10, os resultados mostram diferença não significativa entre a resistência à tração por compressão diametral do concreto com adição de 0,3 % do volume de fibra em relação ao traço referência na idade de 150 dias. O mesmo ocorre se comparado o traço 0,6 % de fibra ao traço com 0,9 % do volume de fibra no concreto. O traço com 0,3 % de fibra, teve uma redução de 31,0 % em relação ao traço referência aos 28 dias e 1,68 % aos 150 dias. O traço com 0,6 % de fibra obteve uma redução de 82,2 % aos 28 dias e 52,5 % aos 150 dias, em relação ao traço referência. O traço com 0,9 % de fibra obteve uma redução de 54,2 % em relação ao traço referência aos 150 dias. Ehrenbring e Tutikian (2016) afirmam ainda que as fibras naturais 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'. Para o concreto deixar de

ter seu caráter frágil, as fibras precisam ser adicionadas num teor apropriado, como diz Figueiredo (2011), sendo que o excesso de fibras não tratadas pode ter sido um fator responsável pela redução da resistência do concreto.

Figura 10 – Resultados da resistência à tração por compressão diametral



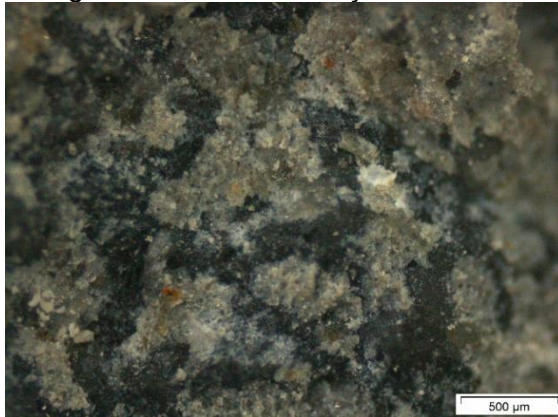
Fonte: Autora, 2017.

Conforme Análise Estatística de Variância (ANOVA), todos os resultados para a idade de 28 dias foram significativos, tendo  $p\text{value} \leq 0,05$ , mostrando 95 % de confiança. Porém, verificou-se que a relação entre os resultados da amostra referência com 0,3 % de fibra e a relação entre os resultados da amostra com 0,6 % e 0,9 % de fibra não apresentaram diferença significativa na idade de 150 dias.

### 3.5 MICROSCOPIA

Através do ensaio de microscopia realizado pelo Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV foi possível visualizar características externas das fibras, após passado o processo de cura do concreto e a interação que as fibras tiveram com a matriz cimentícia, mostrando alguns vazios encontrados em torno da fibra, potencialmente causados pela retenção de água, como mostram as Figuras 11, 12, 13 e 14.

Figura 11 – MEV do traço Referência



Fonte: i.dt, 2017.

Figura 12 – MEV do traço 0,3 % de fibra



Fonte: i.dt, 2017.

Figura 13 – MEV do traço 0,6 % de fibra



Fonte: i.dt, 2017.

Figura 14 – MEV do traço 0,9 % de fibra



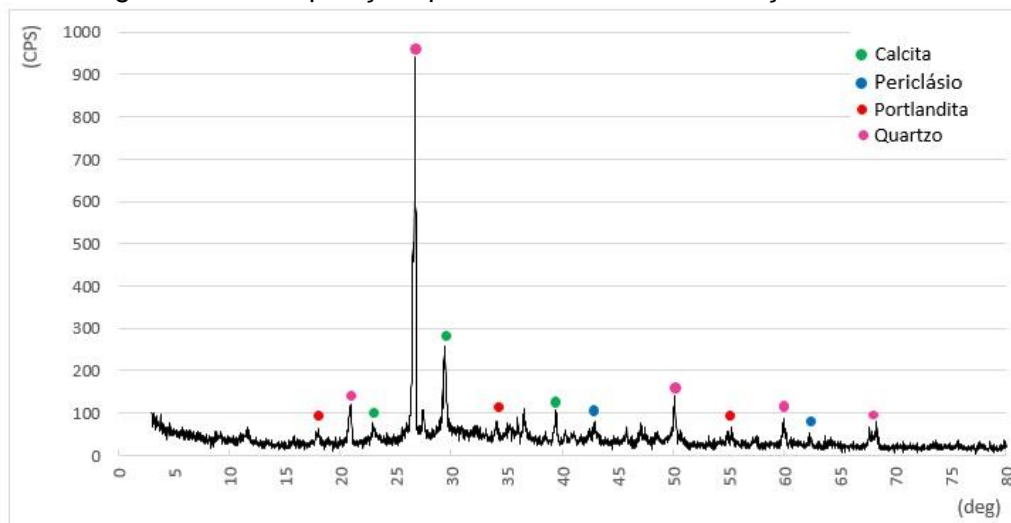
Fonte: i.dt, 2017.

As imagens apontam indícios de vazios ao redor das fibras, indicando porosidade, que influencia na resistência do concreto. Os poros visualizados na microscopia demonstraram que as fibras não tiveram interação adequada com a matriz cimentícia. Conforme Mehta e Monteiro (2008), se as fibras tiverem pouca aderência com a matriz, podem escorregar sob carregamentos baixos e não contribuem muito para diminuir a fissuração do concreto. A proteção das fibras é capaz de auxiliar nesse quesito. Segundo Agopyan (1991) em sua pesquisa, pode-se efetuar a proteção das fibras com polímeros hidro-repelentes, resinas, óleos e asfaltos ou ainda agentes bloqueadores de reação de decomposição das fibras, como silicatos e sulfatos de sódio ou magnésio.

### 3.6 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A pasta de cimento hidratada evolui como resultado de reações químicas entre os compostos do cimento e a água, explicam Mehta e Monteiro (2008). Compostos formados pelas reações do concreto são apresentados através do ensaio de Difração de Raios-X. A Figura 15 mostra os elementos resultantes do ensaio de Difração de Raios-X na composição do traço referência, aos 150 dias.

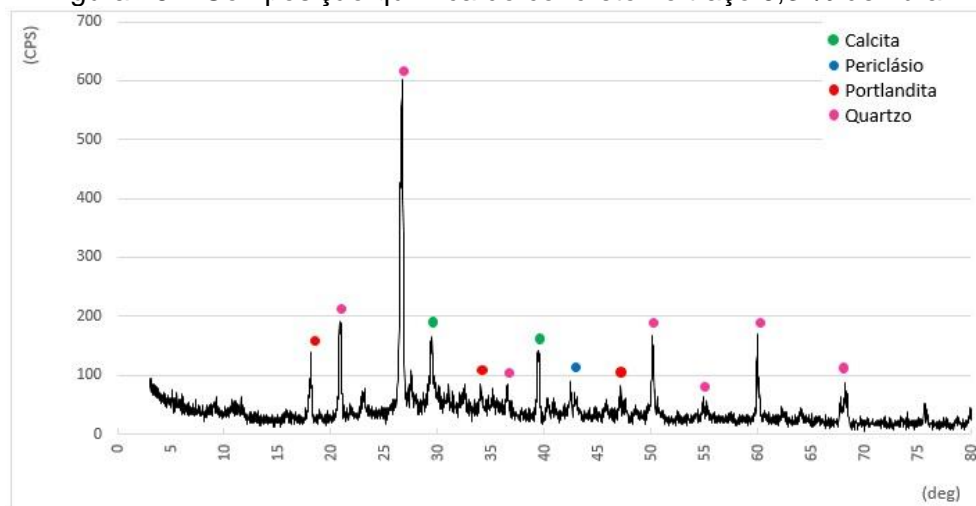
Figura 15 – Composição química do concreto no traço referência.



Fonte: CECAM, 2017.

O ensaio de Difração de Raios-X foi feito para cada amostra no período de 150 dias. Como previsto, esse mostrou a presença de Portlandita  $[Ca(OH)_2]$ , Quartzo ( $SiO_2$ ) e Calcita ( $CaCO_3$ ), itens formados pós reações de hidratação do concreto. A Figura 16 ilustra o resultado da composição do traço com 0,3 % de fibra.

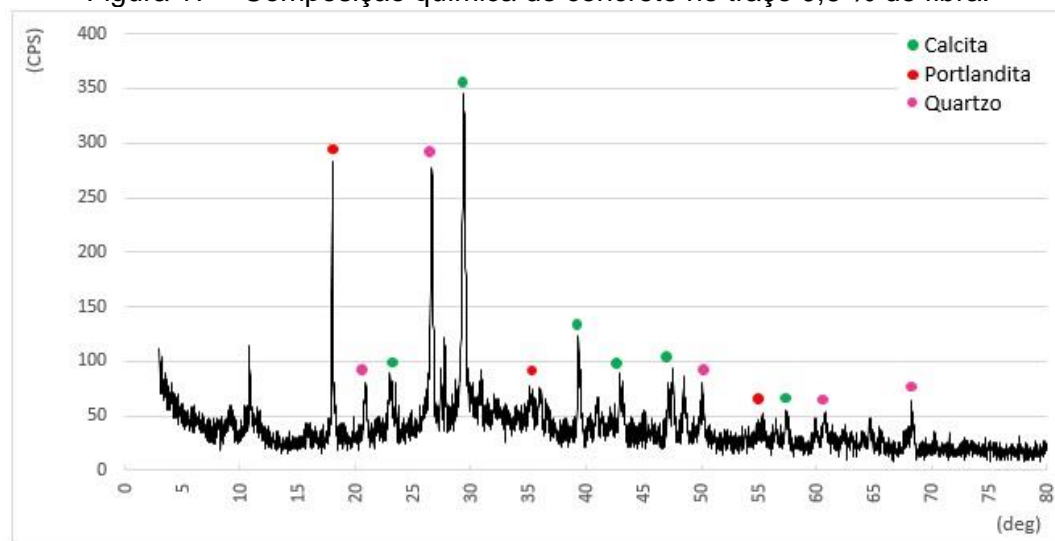
Figura 16 – Composição química do concreto no traço 0,3 % de fibra.



Fonte: CECAM, 2017.

O *óxido de magnésio* MgO é um dos componentes secundários do clínquer Portland. A forma de cristalização do MgO que sobra sem reagir no clínquer, por sua vez, é chamada de Periclásio. Mehta e Monteiro (2008) citam que o MgO cristalino, quando presente em quantidade expressiva no cimento, hidrata podendo causar expansão e fissuração do concreto. A seguir, a Figura 17 mostra a composição do traço com 0,6 % de fibra, único que não apresentou periclásio entre os picos expressivos dos elementos do concreto.

Figura 17 – Composição química do concreto no traço 0,6 % de fibra.

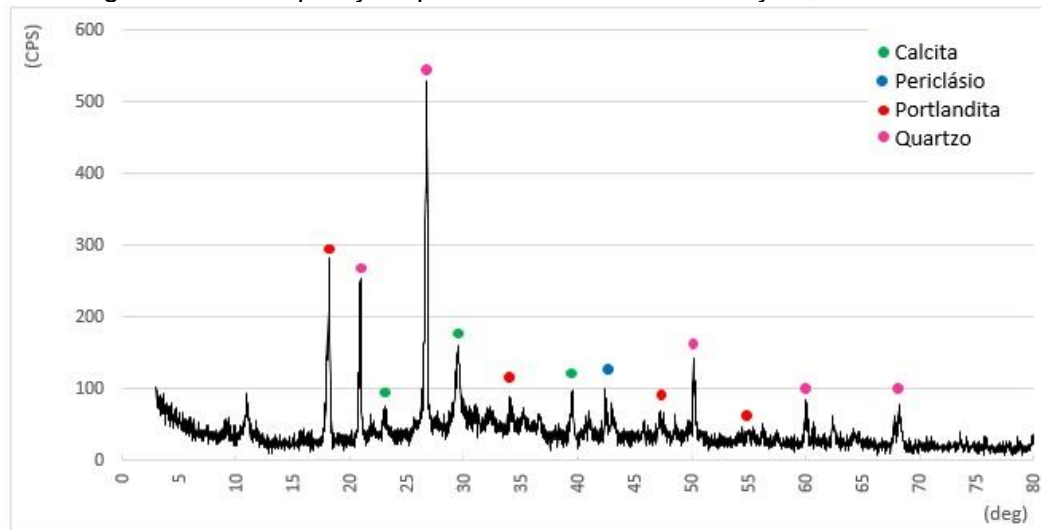


Fonte: CECAM, 2017.

A Portlandita é originada pela expansão do cimento Portland enquanto ocorre sua hidratação, devido ao excesso de cal livre. Mehta e Monteiro (2008) apontam que os cristais de *hidróxido de cálcio* (também chamados portlandita) constituem 20 a 25 % do volume de sólidos na pasta de cimento hidratada. O Quartzo faz parte do clínquer, matéria prima dos cimentos Portland. Já a Calcita é usada na produção do cimento. Conforme norma NBR 5736:1991, cimentos Portland CP IV possuem de 15 % a 50 % de material pozolânico em sua composição. A Figura 18 mostra a composição do concreto no traço 0,9 % de fibra aos 150 dias.



Figura 18 – Composição química do concreto no traço 0,9 % de fibra.



Fonte: CECAM, 2017.

Apesar dos elementos encontrados serem comuns aos do concreto convencional, convém citar que as fibras não tratadas foram agredidas e possivelmente perderam uma fração de suas propriedades, reduzindo também as do concreto. As fibras vegetais, segundo Izquierdo (2011), sofrem o efeito da deposição em seus vazios internos de produtos de hidratação, que se cristalizam e conferem efeito análogo ao da petrificação. Anjos (2002), afirma ainda que o Cimento Portland CP II-E já contém em sua constituição de 6 a 34% de escória de alto forno moída, proporcionando assim uma matriz com menor teor de hidróxido de cálcio, característica essa que proporciona diminuição do ataque alcalino à lignina das fibras, polímero orgânico cuja função é aumentar a rigidez da parede celular vegetal.

#### 4. CONCLUSÕES

Referente ao estudo, podemos concluir:

- As fibras absorveram uma quantidade expressiva de água durante o processo de cura do concreto.
- A baixa compactação e aumento da porosidade causado pelas fibras levou a redução da trabalhabilidade do material, ocasionando redução na resistência à compressão axial do concreto.
- O módulo de elasticidade sofreu redução com a adição de fibras, pois este está diretamente ligado a resistência à compressão axial do concreto.

- Os valores da resistência à tração por compressão diametral apresentaram uma redução significativa nos traços 0,6 % e 0,9 % de fibra comparados ao traço referência e 0,3 % de fibra, aos 150 dias, sendo causada pelo efeito que o excesso de fibras não tratadas tiveram no concreto.
- A análise das imagens do ensaio de microscopia mostrou que possivelmente, a presença das fibras de sisal no concreto ocasionou falhas nas amostras, diminuindo sua compacidade e aumentando o índice de vazios.
- Fazendo a análise da composição química nas amostras pelo teste de Difração de Raios-X aos 150 dias, foram observados elementos comuns no concreto, entretanto, ocorreu possível ataque alcalino à lignina das fibras durante as fases de hidratação do concreto, visto que a mesma não foi tratada.

## 5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros ficam as seguintes opções:

- Tratar a fibra antes de adicioná-la ao concreto, com propósito de melhorar sua integração na matriz cimentícia;
- Utilizar Cimento Portland CP II-E;
- Estudar a durabilidade da fibra de sisal na matriz cimentícia;
- Estudar o efeito de outras fibras naturais nas propriedades do concreto.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**: NBR NM 67: 1998. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222: Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 5736: Cimento Portland pozolânico: especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522: Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 9939: Agregado graúdo: Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2011.

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais.** São Paulo, 1991. 204 p. Tese (Livre-Docência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANJOS, M. A. S. dos. **Compósito a Base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte I: determinação do teor de reforço ótimo.** Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v. 7. p. 339 – 345, 2002.

EHRENBRING, Z. H.; TUTIKIAN, B. F. **Concretos reforçados com fibras naturais e fibras recicladas.** Universidade Do Vale Do Rio Dos Sinos (UNISINOS). 2016. Disponível em: <[http://www.firs.institutoventuri.org.br/images/T066\\_CONCRETOS\\_REFORÇADOS\\_COM\\_FIBRAS\\_NATURAIS\\_E\\_FIBRAS\\_RECICLADAS.pdf](http://www.firs.institutoventuri.org.br/images/T066_CONCRETOS_REFORÇADOS_COM_FIBRAS_NATURAIS_E_FIBRAS_RECICLADAS.pdf)>. Acesso em: 17 de abril de 2017.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras.** Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 248p. São Paulo, 2011.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2011.

MARTIN, Adriana R.; MARTINS, Maria A.; MATTOSO, Luiz H. C. and SILVA, Odilon R. R. F.. **Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*.** Polímeros [online]. 2009, vol.19, n.1, pp.40-46.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 2008.

MONTEIRO, S. N.; SATYANARAYANA, K. G.; LOPES, F. P. D. (2010a). **High strength natural fibers for improved polymer matrix composites.** Materials Science Forum, 638-642, 961-966.

VIEIRA. A. J. T.; MOURA. C. R.; HERPICH. M. R.; CAMPOS. N.; CAMPOS. G. L. **Aplicação da fibra de bambu aos sistemas industrializados para desenvolvimento de placas de concreto.** Veredas [online]. 2016, vol.9, n.1.