



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS VIII - ARARUNA  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE - CCTS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – UEPB**

**ALLAN DE OLIVEIRA ANDRADE**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO  
COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE PET E SISAL**

**ARARUNA/PB  
2018**

**ALLAN DE OLIVEIRA ANDRADE**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO  
COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE PET E SISAL**

Trabalho de Conclusão de Curso da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.  
Área de concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Me. Alan Barbosa  
Cavalcanti.

**ARARUNA/PB  
2018**



É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A553a Andrade, Allan de Oliveira.  
Análise das propriedades mecânicas do concreto produzido com adição de fibras de pet e sisal [manuscrito] / Allan de Oliveira Andrade. - 2018.  
23 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2018.  
"Orientação : Prof. Me. Alan Barbosa Cavalcanti, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."  
1. PET. 2. Sisal. 3. Concreto. I. Título  
21. ed. CDD 624.189

ALLAN DE OLIVEIRA ANDRADE

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO  
COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE PET E SISAL

Trabalho de conclusão de curso da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil.

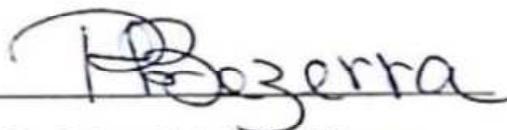
Aprovada em: 05/12/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Alan Barbosa Cavalcanti

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha mãe “Dona Denise”, pela dedicação e cuidado, companheirismo e paciência. DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que com toda sua misericórdia, me conduziu por todos os cominhos até a realização deste grande sonho.

À minha mãe, *Denise Andrade*, pelo apoio que me concedeu dedicação exclusiva aos estudos até a minha realização profissional. A única coisa que posso falar para tentar descrever o que sinto é que eu a amo.

À minha irmã, *Allany Andrade*, por me acompanhar nas lutas diárias em Araruna, dividindo todas as dificuldades e me fortalecendo ao longo da jornada.

Um agradecimento especial para *Valdenia Felix*, pela compreensão, cumplicidade e ajuda nos momentos difíceis. Te amo.

Aos professores da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) Campus VIII, Departamento de Engenharia Civil, pelo incentivo a busca do conhecimento e pela contribuição à minha formação acadêmica, pelas disciplinas e em especial aos projetos de PIBIC, o qual deu apoio para está pesquisa de conclusão de curso.

À *Alan Cavalcanti*, pelo acolhimento, compreensão, paciência e orientação nesse trabalho, sei que teria sido muito mais complicado se não fosse o seu apoio.

Aos professores que compõem a banca examinadora, prof. Dr. *Raimundo Leidimar Bezerra* e prof. Me. *Leonardo Medeiros da Costa* por todo apoio e ensinamento nesses últimos anos, pelo suporte acadêmico, pela leitura prévia do texto e comentários construtivos, agradeço.

Aos colegas de classe, que me proporcionaram momentos agradáveis, de descontração e apoio, em especial a *Paulo Ricardo* e *Mateus Vasconcelos*, que sem dúvidas, fizeram grande diferença na jornada acadêmica.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Protótipo de extração de fios .....	6
<b>Figura 02:</b> Poliéster com 10 cm .....	6
<b>Figura 03:</b> Medição de Poliéster 10 cm .....	6
<b>Figura 04:</b> Corte de fibras de sisal .....	7
<b>Figura 05:</b> Adição do Agave Sisalana no concreto .....	11
<b>Figura 06:</b> Adição de “PET” no concreto. ....	11
<b>Figura 07:</b> Corpos de prova com adição de fibras. ....	12
<b>Figura 08:</b> Ensaio de Compressão Diametral .....	13
<b>Figura 09:</b> Ensaio de Compressão Diametral .....	13

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> – Resultados do ensaio de granulometria do agregado miúdo .....	8
<b>Tabela 02</b> – Ensaio realizado para o agregado graúdo (brita).....	9
<b>Tabela 03</b> – Resistência à compressão axial simples .....	14
<b>Tabela 04</b> – Resistência à tração por compressão diametral .....	14

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 01</b> – Ensaio de granulometria da areia .....	9
<b>Gráfico 02</b> – Diâmetro de peneiras (mm).....	10
<b>Gráfico 03</b> – Resistência à compressão axial.....	14
<b>Gráfico 04</b> – Resistência à tração por compressão diametral.....	15

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS</b> .....	<b>5</b>
<b>5.1</b>	<b>Fibras de Poliéster</b> .....	<b>5</b>
<b>5.2</b>	<b>Fibras Vegetais</b> .....	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS</b> .....	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>16</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>18</b>

# ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE PET E SISAL

Allan de Oliveira Andrade<sup>1</sup>

## RESUMO

Atualmente tem sido desenvolvida tecnologias, que buscam alternativas para combater impactos causados ao meio ambiente pelos rejeitos da construção civil, assim como, melhorar as propriedades dos materiais que são usados em todos os setores da engenharia. Na construção civil, um material muito utilizado é o concreto, aplicado em obras de pequeno e grande porte. Apesar do seu intenso uso nas construções, o concreto apresenta algumas desvantagens, pois é um material frágil, com uma baixa resistência à tração. O trabalho buscou melhorar essas propriedades no concreto utilizando adição de fibras, como o Agave e o PET, que constituem boas alternativas para uso como elemento de reforço de matrizes frágeis, devido ao baixo custo e facilidade na obtenção, além de amenizar os impactos causados ao meio ambiente. O estudo utiliza fibras descontínuas, distribuídas aleatoriamente no concreto, a fim de melhorar as propriedades do compósito, comparando o comportamento da matriz cimentícia acrescida de PET e o compósito de Agave Sisalana. Os resultados obtidos não mostraram melhoras na resistência à tração como também mostram certa ductilidade após a fissuração, conclui-se que apresenta boas utilizações para concretos que estão sujeitos a mudança na temperatura, umidade ou sujeitos a pequenas cargas. Se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia, e em bastante quantidade, elas ajudam a manter pequena a abertura das fissuras.

**PALAVRAS**

**CHAVES:**

*PET.*

*Sisal.*

*Concreto.*

---

<sup>1</sup> Aluno de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII.  
Email: allan\_andrade\_eng@hotmail.com

# 1 INTRODUÇÃO

O ser humano sempre buscou utilizar os recursos naturais, transformando-os segundo as suas necessidades. Entretanto, o homem tem explorado esses recursos sem consciência, de forma devastadora e provocando alterações no meio ambiente. A partir disso, têm-se a poluição das águas, do ar e do solo, como também a diminuição das florestas e, conseqüentemente, as alterações climáticas, que têm indicado que o modo como o ser humano explora os recursos naturais precisa ser corrigido. As respostas com que a natureza responde aos impactos ambientais provocados pela ação do homem, em especial mostra que as pessoas devem parar e rever suas atitudes e conscientizar-se que os danos que os mesmos provocam, por enquanto, ainda são reversíveis.

Dentre as atividades que o homem exerce sobre a terra, a construção civil é a que mais polui e a que mais explora recursos naturais. A indústria da construção civil é a indústria mais poluente do planeta, sendo responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta. Atualmente, o consumo de cimento é maior que o de alimentos e o de concreto só perde para o de água. Para cada ser humano, são produzidos 500 quilos de entulho, o que equivale a 3,5 milhões de toneladas por ano (AGOPYAN, 2013 Apud GASQUES, et al. 2014).

Essa alta demanda de recursos naturais vem trazendo a preocupação de preservar o planeta. Para evitar este problema é preciso que a construção civil se aproxime mais da construção sustentável, adotando formas de exploração de matérias-primas mais conscientes e alternativas, utilizando processos construtivos que objetivem a harmonia entre o homem e o meio, sendo eles produzidos com tecnologias limpas, observando os ciclos de vida e dando uma destinação apropriada. Exemplos de tais materiais são as fibras naturais e sintéticas que chegam ao mercado suprimindo essa nova necessidade e demanda.

Uma vasta gama de fibras naturais e sintéticas têm sido desenvolvidas para uso na indústria da construção civil como reforço para concreto, e entre esta gama de possibilidades o sisal se destaca por ser a principal fibra dura produzida no mundo, correspondendo a aproximadamente 70% da produção comercial de todas as fibras desse tipo. No Brasil, o cultivo do sisal se concentra na região nordeste, sendo os estados da Bahia e Paraíba os principais produtores desse produto (MARTIN et, al 2009; SANTOS, 2006).

A escolha da fibra PET como elemento de reforço da matriz concreto fundamenta-se, principalmente, por sua abundância no meio e facilidade na aquisição, sendo ele um material reciclável e de baixo custo. A reciclagem do PET pelas garrafas e embalagens para refrigerantes, possibilita a retirada do meio urbano local, que pode causar grandes problemas à natureza se não possuir um fim adequado. Assim, a utilização destas fibras na construção seria uma excelente solução local para um resíduo urbano local tal como afirma Angela Coró (2002, p.4)

Os benefícios do compósito de concretos reforçados com fibras incluem resistência à fadiga, resistência ao desgaste e durabilidade. Através do uso destes compósitos, seções frágeis podem ser minimizadas e a fissuração pode ser controlada, resultando em uma estrutura mais leve com expectativa de vida mais longa, Wang (2000). As fibras restringem a propagação das fissuras no concreto. Desta forma, tem-se um aumento da resistência à entrada de agentes agressivos, com conseqüente aumento da durabilidade da estrutura (CHANVILLARD, apud FIGUEIREDO, 2000). O estudo desses materiais constitui, também, uma alternativa à substituição da fibra de amianto que, por sua vez, é prejudicial à saúde devido a sua extração e manuseio.

Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo determinar através de experimentos, o desempenho de concreto manufaturado com fibras de sisal e PET, como também as características mecânicas do compósito de matriz cimentícia reforçada com as fibras, adicionando porcentagem da fibra à massa de cimento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem por objetivo geral estudar o comportamento mecânico dos compósitos os quais são adicionados matérias-primas renováveis e recicláveis como a fibra de sisal e a fibra de polietileno tereftalato.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Verificar o desempenho do compósito através da análise de algumas de suas propriedades mecânicas, tais como: resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral;
- Examinar o desempenho do compósito em relação aos principais agentes de degradação na qual o material é submetido em uso;
- Contribuir para o desenvolvimento de materiais construtivos, que causem baixos impactos ao meio ambiente.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os materiais constituídos de matriz cimentícia, como concreto e argamassa, são materiais frágeis com baixa resistência à tração, baixa ductilidade e baixa tenacidade. Uma forma de melhorar este último requisito é a adição de pequenas frações (0,5 a 2% do volume) de fibras durante a mistura (WANG et al., 2000). De acordo com Houget (1992), a incorporação de fibras curtas ou contínuas é largamente utilizada para melhorar as resistências à tração e à flexão de concretos e argamassas, permitindo ainda uma diminuição da fissuração por retração nas primeiras idades.

O concreto é conhecido por obter uma alta resistência à compressão ao longo de sua cura, porém sua resistência à tração é bem reduzida, cerca de apenas 10% da resistência à compressão. Esse problema pode ser amenizado, ou até mesmo resolvido com adições de fibras naturais e sintéticas.

Segundo Izquierdo (2011) as fibras só apresentam importância significativa quando dispostas com tamanhos a partir de 2,02 cm. Andrade e Bezerra (2015) apresentaram resultados negativos com a utilização de fibras com tamanho maiores que 20 cm, devido à dificuldade na aderência fibra/matriz.

De acordo com Specht (2000), quanto maior for o comprimento das fibras, menor será a possibilidade de elas serem arrancadas. Para uma dada tensão de cisalhamento superficial aplicada a fibra, esta será melhor utilizada se o seu comprimento for suficientemente capaz de permitir que a tensão cisalhante desenvolva uma tensão de tração igual a resistência à tração.

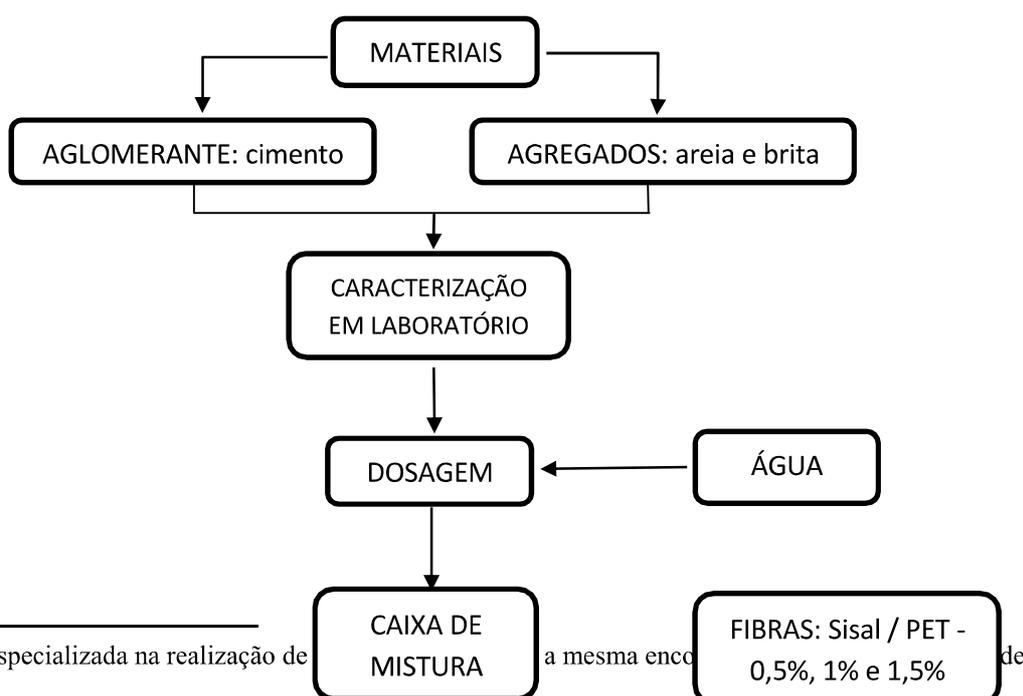
## 4 METODOLOGIA

Inicialmente foi elaborada uma revisão bibliográfica relativa aos temas envolvidos na pesquisa. E em seguida, foram realizados ensaios mecânicos utilizando-se do laboratório da Tecomat<sup>2</sup> para confecção dos corpos de prova e realização da ruptura dos blocos de concreto com e sem adição de fibras. Os ensaios foram realizados em triplicata, com a construção de quatorze conjuntos de corpos de prova, sendo dois conjuntos sem reforço, seis conjuntos com reforço de sisal na proporção de 0,5%, 1% e 1,5% e por fim mais 6 conjuntos reforçados com fibra de PET na mesma proporção utilizada no sisal.

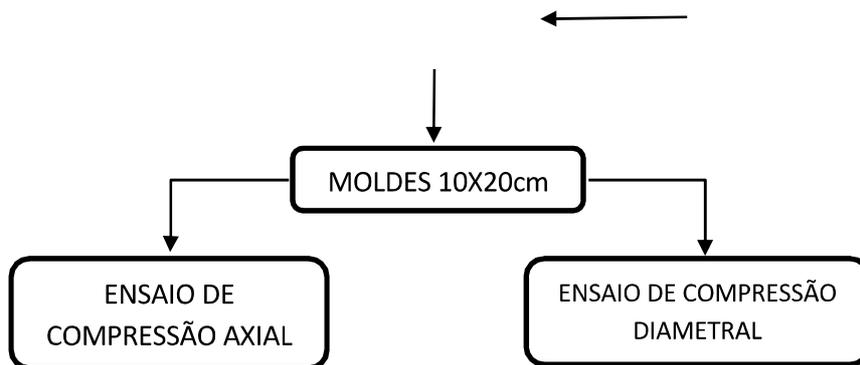
O concreto utilizado na pesquisa teve sua composição estudada previamente pela Tecomat para conseguir 25 MPa aos 28 dias. As aplicações de fibras foram feitas com base no peso seco do aglomerante utilizado no traço de 1:2,3:3,9 com relação água cimento de 0,46.

Os moldes foram untados com óleo para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova. Estes moldes foram preenchidos segundo as normas NBR 5738 e NBR 5739 e após 24 horas do preenchimento os corpos de prova foram desformados. As faces superiores dos corpos de provas receberam uma camada de argamassa de cimento com objetivo de nivelar os cilindros para a realização dos testes de compressão simples, de acordo com a norma NBR 5739. O Fluxograma 1 descreve a sequência das etapas do presente trabalho.

Fluxograma 01: Sequência das etapas



<sup>2</sup> Empresa especializada na realização de testes de concreto em Recife/Pe.



## 5 MATERIAIS

### 5.1 Fibra de Poliéster

A aparência das fibras de poliéster é similar às fibras de polipropileno, mas são mais densas, mais rígidas e mais resistentes. Elas podem ser utilizadas para as mesmas aplicações que as de polipropileno, mas onde a melhora na “performance” justifique o seu maior custo (TAYLOR apud SPETCH, 2000, p. 29). Um dos poliésteres mais conhecidos é o polietileno tereftalato (PET), atualmente utilizado como material de confecção das garrafas plásticas tipo “PET” (SPETCH, 2000, p.10).

Além disso, a fibra de poliéster é bastante comum na indústria de tecidos e malhas, fabricação de capacetes e tapetes, forros e enchimentos, etc. Na construção civil, sua utilização é conhecida na forma de TNT, que é utilizado como fibra solar, manta asfáltica e material para contenção de encostas (ABEPET apud CORÓ, 2002, p.20).

No âmbito de utilizar a fibra de polietileno tereftalato proveniente de material reciclável de garrafa PET, foi construído um protótipo onde era acomodado a garrafa inteira para extrair fios com espessura determinada pela altura da lâmina instalada a 4 mm da base do protótipo. O comprimento final do fio utilizado foi de 100 mm (o mesmo tamanho utilizado na fibra de sisal), para poder conseguirmos uma comparação entre as fibras. A Figura 01 apresenta o protótipo construído, no qual foram retirados os fios de PET da garrafa, e as Figuras 02 e 03 trazem a amostra do tamanho final de 100 mm.

Figura 01: Protótipo de extração de fios



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Figura 02: Poliéster com 100 mm



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Figura 03: Medição de Poliéster 4 mm



Fonte: Acervo próprio, 2018.

## 5.2 Fibras Vegetais

Na idade antiga, pode-se verificar que os egípcios usavam a palha para reforçar tijolos de barro, evidenciando o uso de fibras naturais como reforço de compostos há milênio. Pode-se citar também o emprego de fibra vegetal como reforço de gesso que vem desde o Renascimento, ou a utilização de mantas de raízes para reforço de maciço de terra (SPECTH, 2000, p.30).

O uso dessas fibras em países em desenvolvimento visa, geralmente, ao emprego da mão-de-obra barata para confecção de placas, painéis e paredes (HANNANT, 1994). O maior problema relacionado ao reforço de composto é a degradação deste tipo de material pela ação de fungos e microrganismos.

No estudo foi feita a utilização do sisal para representar as fibras vegetais, obtidas a partir de vassouras conhecidas popularmente como “Agave”. O Agave Sisalana foi cortado e separado em montantes com peso seco referente ao 0,5%, 1% e 1,5% da massa do aglomerante, como mostrado na Figura 04.

Figura 04: Corte de fibras de sisal



Fonte: Acervo próprio, 2018.

## 6 RESULTADOS OBTIDOS

Na tentativa de estudar os materiais alternativos na composição do concreto, se teve a preocupação de caracterizar e classificar os agregados de acordo com a sua granulometria, e traçar a curva granulométrica com base no que determina a NBR7217 et al., 1987, pois sabe-se que estes influenciam as propriedades do concreto, principalmente na resistência dos mesmos. Assim, foram selecionadas duas amostras de areia e brita nas quais se realizaram ensaios e por meio do peneiramento foi determinado a porcentagem retida e passante, bem como os diâmetros máximos característicos, módulo de finura do agregado miúdo e ainda as curvas granulométricas.

A Tabela 01 expressa os resultados do ensaio de granulometria do agregado miúdo, em que temos a série de peneiras normal utilizada e a porcentagem do material que passou por estas.

Tabela 01- Resultados do ensaio de granulometria do agregado miúdo (areia)

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>		<b>% Amostra Total</b>		<b>% Retida Acumulada</b>	<b>% passante</b>
<b>4,8</b>	0,52	0,3	0,10	0,06	0,08	99,92
<b>2,4</b>	22,3	20,2	4,46	4,04	4,34	95,66
<b>1,2</b>	103,05	105,86	20,62	21,20	25,24	74,76
<b>0,6</b>	137,2	133,57	27,45	26,74	52,34	47,66
<b>0,3</b>	163,3	165,8	32,68	33,20	85,28	14,72
<b>0,15</b>	46,89	43,5	9,38	8,71	94,33	5,67
<b>Fundo</b>	26,5	30,2	5,30	6,05	100,00	0,00
<b>Total</b>	499,76	499,43	100,00	100,00		

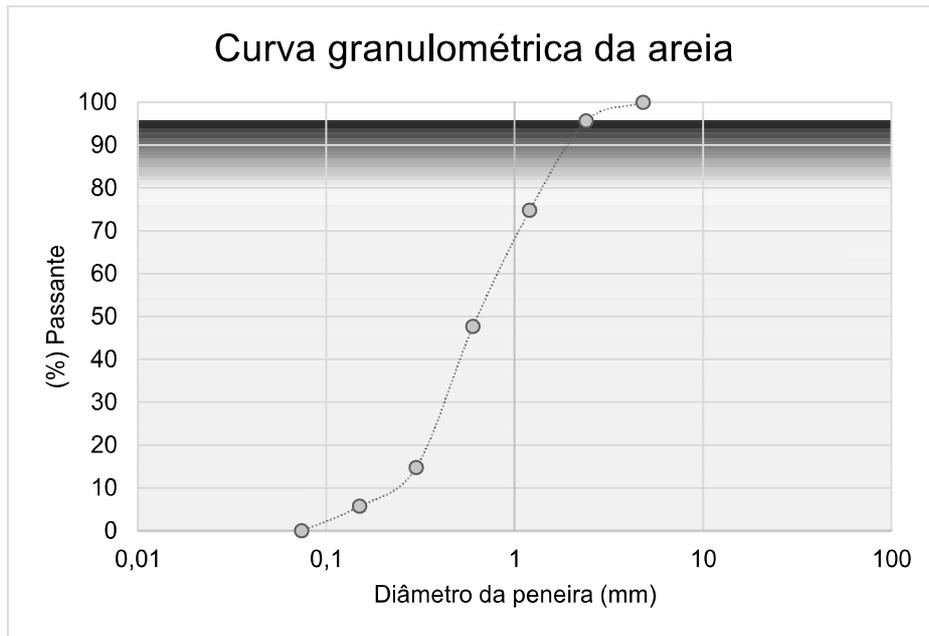
A partir disso foi analisado o diâmetro máximo característico da areia que corresponde à abertura nominal em milímetros, da malha da peneira da série normal, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Sabendo disso, a Tabela 01 nos mostra que a areia apresenta 2,4 mm com o seu diâmetro máximo característico.

Para mensurar o módulo de finura da areia em estudo, foi utilizado a expressão abaixo:

$$MF = \frac{\sum \%RETIDAS ACUMULADAS}{100}$$

O módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. No caso da areia em estudo, o módulo de finura foi de 2,62, caracterizando uma areia média.

Gráfico 01 – Curva granulométrica da areia



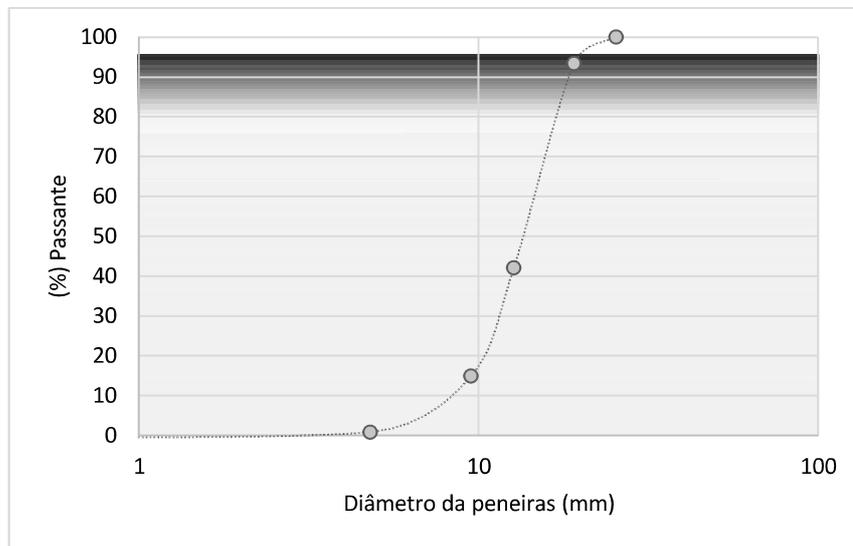
O mesmo ensaio foi realizado para o agregado graúdo (brita) em que através da série de peneiras fora feito o peneiramento conforme expresso na Tabela 02 que segue abaixo:

Tabela 02 – Ensaio realizado para o agregado graúdo (brita).

Peneira (mm)	Massa (g)	% Amostra Total	% Retida Acumulada	% passante
19,1	329,54	6,66	6,66	93,34
12,7	2537,41	51,27	57,92	42,08
9,5	1342,96	27,13	85,06	14,94
4,8	696,23	14,07	99,12	0,88
Fundo	43,39	0,88	100,00	0,00

Através da tabela acima foi possível traçar o gráfico de granulometria do agregado graúdo (Gráfico 02) e obter o diâmetro máximo característico que para o caso da brita em estudo foi de 19 mm.

Gráfico 02 – Curva granulométrica da brita



Após os ensaios e análises dos agregados envolvidos no estudo, iniciou-se a moldagem dos 42 corpos de prova de concreto sendo que destes, 18 são reforçados com fibra sisal, 18 com fibra de polietileno tereftalato e 6 sem adição de fibras. Para se cumprir a proposta de avaliação da pesquisa foi alterado nos traços apenas a quantidade de massa das fibras. Outro fato importante que garante aos corpos de prova resistência é a realização da cura com o objetivo de manter a água da mistura e evitar o aparecimento de fissuras e trincas no concreto, por esse fato a cura imersa foi realizada durante os 28 dias.

Os corpos de prova reforçados com a fibra, devem ter seus limites de comprimento e percentuais em volume analisados. De acordo com COUTTS (1988), a relação mínima entre comprimento/diâmetro adequada para se obter alguma resposta significativa a tração é em torno de 100. “Segundo SAVASTANO (2000) e TOLEDO FILHO (1990), as fibras de sisal apresentam diâmetro de aproximadamente 0,202 mm” (apud IZQUIERDO, 2011. p.37).

Utilizando-se os estudos de ANDRADE e BEZERRA (2015), foi aplicado um valor de 200 mm, percebeu-se que não tinha trabalhabilidade no concreto, pois as fibras ficaram presas nas hélices da betoneira, dificultando a produção em larga escala. Observando essa alta captura do sisal pelas hélices no estudo anterior, e com base nas referências bibliográficas aqui expostas, no presente estudo optou-se por trabalhar com o tamanho da fibra de 100 mm, que seria, metade do tamanho já trabalhado anteriormente.

Um fato interessante observado foi que, ao adicionar as fibras na mesma porcentagem, os resultados encontrados apareceram de modo distinto. Com a adição do sisal, ocorreu uma maior redução do slump, quando comparado com a adição de Polietileno de Tereftalato. E esse fenômeno ocorreu, possivelmente, por o sisal ser poroso e por consequência absorver parte da água adicionada ao concreto.

Com a exsudação é possível encontrar problemas de homogeneidade, limitando a aplicação apenas para peças com pouca densidade de armadura.

O slump médio das peças de concreto reforçados com o sisal foi de 60 mm, e com a fibra de PET foi de 90 mm, enquanto que os corpos de provas sem adição de fibras o slump médio foi de 100 mm. A Figura 05 mostra a forma como foi feita a adição do agave sisalana no concreto, e a Figura 06 mostra a adição de PET.

Figura 05: Adição do Agave Sisalana ao concreto



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Figura 06: Adição de “PET” ao concreto.



Fonte: Próprio acervo, 2018.

Após adicionada as fibras ao concreto, foram moldados os corpos de prova (Figura 07).

Figura 07: Corpos de prova com adição de fibras



Fonte: Próprio acervo, 2018.

Embora o concreto não seja dimensionado para resistir a tração, ter conhecimento dessa propriedade nos possibilita estimar a carga onde se inicia a fissuração. O controle da matriz cimentícia com a ausência de fissuras é essencial para a conservação e vida útil da estrutura de concreto, pois além de evitar infiltrações de água no concreto simples evita-se também a corrosão da armação no concreto armado. A ocorrência de fissuração se dá pelo surgimento de tensões diagonais originadas por tensões de cisalhamento, todavia o caso mais frequente de fissuração é devido à retração contida e a gradientes de temperatura. Uma avaliação da resistência à tração do concreto pode ajudar a entender o comportamento do concreto armado, mesmo que, em muitos casos, o projeto não leve em conta de forma explícita a resistência à tração (NEVILLE, 1997, p.586).

O Ensaio de resistência à tração por compressão diametral, de acordo com a NBR 7222, utiliza corpos de prova cilíndricos 10 cm x 20 cm. Nesse experimento, uma amostra cilíndrica de concreto, do tipo usado no ensaio de compressão, é colocada com o eixo na horizontal entre os pratos da prensa, onde é aplicada uma carga crescente e constante até a ruptura por tração indireta, como expõe a Figura 08. A Figura 09 mostra o ensaio de compressão axial simples, que foi executado de acordo com a NBR 5739. Nesse experimento

a amostra cilíndrica de concreto é colocada com o eixo vertical entre os pratos da prensa, onde é aplicada uma carga crescente e constante até sua ruptura.

Figura 08: Ensaio de Compressão Diametral



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Figura 09: Ensaio de Compressão Axial



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Para avaliar as propriedades mecânicas dos corpos de prova de concreto reforçados com fibras, foi necessário realizar os ensaios de rompimento para conseguir quantificar a influência que essas adições provocam no compósito. Sabendo disso, utilizou-se uma prensa hidráulica devidamente calibrada pelo órgão fiscalizador, a fim de conseguir levar os corpos de prova em estudo ao colapso. Os valores de resistência à compressão axial simples e compressão diametral foram coletados e apresentados na Tabela 03 e na Tabela 04.

Tabela 03 – Resistência a compressão axial simples

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL (fck 20 MPa)										
(FIBRAS) (%)	MOLDAG. DATA	S/FIBRAS			FIBRA SISAL			FIBRA PET		
		DATA	CARGA	F1	DATA	CARGA	F1	DATA	CARGA	F1
		Rupt.	kgf.	Mpa	Rupt.	kgf.	MPa	Rupt.	kgf.	Mpa
0,00%	15/5/18	12/6/18	1889,33	24,07	-			-		
0,50%		-			12/6/18	19433,33	24,77	12/6/18	18646,67	23,77
1,00%		-				17686,67	22,53		16173,33	20,57
1,50%		-				15526,67	19,80		19156,67	24,40

Tabela 04 – Resistência a tração por compressão diametral

RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (fck 20 MPa)										
(FIBRAS) (%)	MOLDAG. DATA	S/FIBRAS			FIBRA SISAL			FIBRA PET		
		DATA	CARGA	F1	DATA	CARGA	F1	DATA	CARGA	F1
		Rupt.	kgf.	Mpa	Rupt.	kgf.	MPa	Rupt.	kgf.	Mpa
0,00%	15/5/18	12/6/18	7150	2,27	-			-		
0,50%		-			12/6/18	7363,33	<b>2,30</b>	12/6/18	6530,00	<b>2,07</b>
1,00%		-				7396,67	<b>2,30</b>		7046,67	<b>2,23</b>
1,50%		-				7013,33	<b>2,17</b>		6173,33	<b>1,90</b>

De acordo com os resultados obtidos e mostrados, nas Tabelas (3) e (4) é possível confeccionar gráficos comparativos que demonstram a mudança da resistência em função da variação dos teores de fibras adicionados em cada amostra.

Gráfico 03 – Resistência à compressão axial

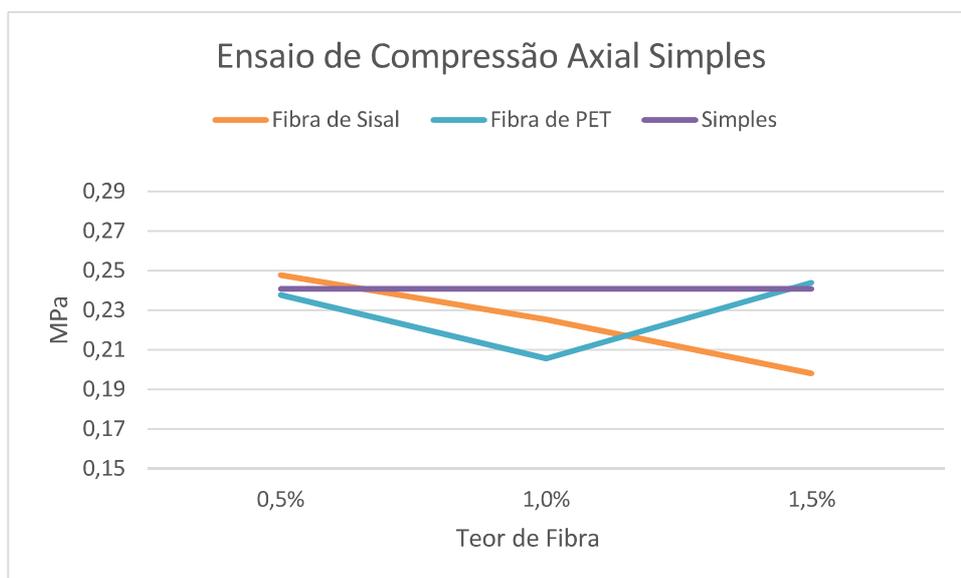
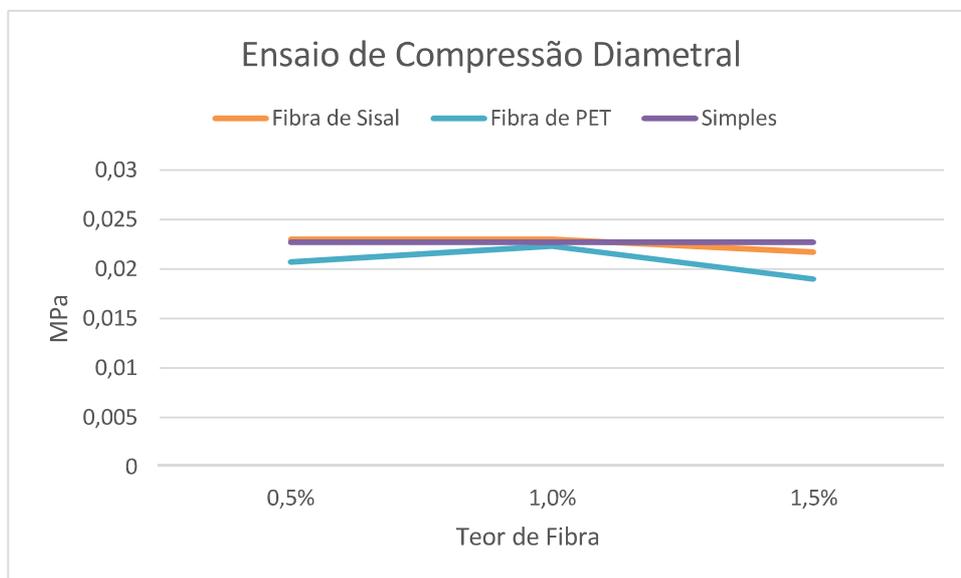


Gráfico 04 – Resistência à tração por compressão diametral



O Gráfico 03 compara a resistência à compressão simples e resistência à tração entre os compósitos de agave sisalana, polietileno de tereftalato e as amostras sem adição de fibra.

Os frutos do Gráfico 03, nos mostram um declínio progressivo na resistência à compressão axial com o aumento do teor de fibras de sisal nos corpos de prova estudados. O mesmo não acontece com as amostras e adicionadas de polietileno de tereftalato, que por sua vez, apresentaram um leve aumento na resistência a compressão com o aumento do teor da fibra de PET. Provavelmente a presença do sisal no concreto ocasionou um aumento nos índices de vazios e menor compactação pelas dificuldades de homogeneização ao adicionar grandes quantidades dessa fibra.

A resistência à compressão da fibra de PET teve comportamento distinto, visto que não ocorreu o mesmo problema do sisal. O polietileno de tereftalato devido a facilidade de integração na matriz cimentícia, permitiu uma homogeneização da mistura, e com isso, a amostra não teve perda de resistência com o aumento do teor de fibras. O Gráfico 03, mostra o fenômeno ocorrido, onde as amostras com o teor de 0,5% de fibra, a resistência à compressão são praticamente as mesmas, mas com o aumento do teor das fibras para 1,5% vemos a resistência se manter praticamente constante das amostras com polietileno, enquanto que os corpos de prova com adição de sisal caem.

Já o Gráfico 04 nos mostra o comportamento da resistência à tração por compressão diametral. Nele observa-se que o agave sisalana apresenta melhor resposta do que polietileno de tereftalato. Contudo, a resistência à tração não se mostrou satisfatória, visto que foram próximos aos alcançados pelas amostras sem adição de fibras. Desse modo, percebe-se que a resistência à tração atingida não se provou relevante.

Apesar de esperar-se um avanço da resistência à tração com as sucessivas adições de fibras, isso não aconteceu, e o maior resultado obtido apareceu com a menor porcentagem de fibra, que no caso foi de 0,5%.

## **7 CONCLUSÃO**

Sobre as propriedades do sisal, foi possível observar uma baixa densidade e uma elevada capacidade de absorção d'água. Esse último atributo não foi constatado na fibra de PET, o que permitiu uma alta trabalhabilidade por não haver exsudação. É importante lembrar que uma desvantagem desses tipos de materiais é a falta de padronização no mercado.

No ensaio de compressão axial, as amostras com fibra de sisal, tiveram uma redução gradativas da sua resistência à compressão com o aumento do teor da fibra. Isso provavelmente ocorreu pelo fato dos blocos com a sisalana, apresentarem maiores índices de vazios gerando alguns locais de tensão crítica.

Ainda que as conclusões da utilização das fibras em uma matriz cimentícia, dentro dos parâmetros estabelecidos e estudados, não tenha tido aumento significativo nas resistências mecânicas do composto, sua utilização vem a ser favorável quando aplicada em concretos, onde os mesmos não precisem ser solicitados por alta resistência, a exemplo de calçadas, blocos, meio-fio, entre outras coisas.

Sobre o modo de ruptura as amostras sem fibra tiveram uma ruptura brusca e frágil, enquanto as amostras com sisal ou PET tiveram uma ruptura mais dúctil. Importante ressaltar que o funcionamento das fibras, devido ao seu baixo módulo de deformação, ocorre fundamentalmente após fissuração da matriz.

A conclusão do comprimento das fibras, fora de que houve um melhor desempenho dos aditivos em 10 cm, com relação ao estudo anterior à sua utilização com 20 cm e 30 cm. Isso por observar uma melhor aderência ao material, e uma menor segregação

quando misturado na betoneira. Já que no estudo anterior ocorreu o fato das hélices tirarem muito sisal da mistura ficando mais concreto puro na amostra.

Em relação ao teor de fibras utilizadas nas amostras, obtiveram-se os melhores resultados das resistências mecânicas com a utilização o teor de 0,50% de Agave Sisalana, pois conseguimos evitar perda significativa da resistência a compressão, obtendo um leve aumento em sua resistência a tração se compararmos com os demais teores. Na comparação do teor de 0,5% com a amostra simples, também obtivemos um leve aumento em ambas as resistências.

Para estudos futuros, é preciso criar antes uma norma adequada que defina dosagem, modo de classificação, etc., para a correta incorporação de adições no concreto fresco, a fim de padronizar os estudos nessa área.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. O.; BEZERRA, R. L. **Propriedades físico-mecânicas do concreto produzido com adição de fibras naturais e sintéticas**. In: XXII Encontro de iniciação científica da UEPB. Anais Enic-UEPB. Campina Grande, 2015. p. 112.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos**: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_, NBR 5738: **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_, NBR 7217: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**, Rio de Janeiro, 1987.

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

CORÓ, A. G. **Investigação das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibra PET**. Monografia apresentada ao programa de graduação em engenharia civil, do departamento tecnológico da UNIJUI. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2002.

COUTTS, R. S. P. Wood fibre reinforced cement composites. In Swamy, R. N. (ed.), **Concrete Technology and Design, vol 5, Natural fibre reinforced cement and concrete**. Glasgow: Blackie, 1988.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: EPUSP, 2000. 69 p. (Série Boletim Técnico BT/PCC/260)

GASQUES, et al. **Impactos ambientais dos materiais da construção civil: breve revisão teórica**. Maringá, v. 23, p. 13-24, 2014.

HANNANT, L. Fibre-reinforced cements and concretes. In: J. M. ILLSTON. **Construction Materials**; their nature and behavior. 2ed. London: J. M. Illston/E & FN Spon, 1994. P. 359-403.

HOUGET, V. **Etude des caractéristiques mécaniques et physico-chimiques de composites ciments-fibres organiques**. 1992. 237f.. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais)-Devant L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, França.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado). UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, São Carlos, 2011.

MARTIN et, al. **Caracterização química e estrutural de fibras de sisal da variedade Agave sisalana**. Polímeros, São Carlos. v. 19, n. 1, 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 2ª ed.,1997.

SANTOS, D'A. J. **Produção e consumo**. In: ANDRADE, W. (ORG.). O sisal no Brasil. Salvador: Sindifibras; Brasília, D. F.: APEX, 2006.

SPECHT, L. P. **Comportamento de Misturas Solo-Cimento fibra Submetidas a Carregamentos Estáticos e Dinâmicos Visando a Pavimentação**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre.

WANG, Y.; WU, H.C.; LI, V. C. Concrete Reinforcement with Recycled Fibers. **Journal of Materials in Civil Engineering**. p. 314-319. 2000.