



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
CENTRO DE ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CLÁUDIO KÊNNYO DOS REIS SILVA

**AVALIAÇÃO ATRAVÉS DE ENSAIO DE TRAÇÃO DE CONCRETOS  
PRODUZIDOS COM FIBRA DE SISAL E RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU**

MOSSORÓ/RN

2020

CLÁUDIO KÊNNYO DOS REIS SILVA

**AVALIAÇÃO ATRAVÉS DE ENSAIO DE TRAÇÃO DE CONCRETOS  
PRODUZIDOS COM FIBRA DE SISAL E RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Marília Pereira de Oliveira

MOSSORÓ/RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS1LV Silva, Cláudio Kênnyo.  
4a AVALIAÇÃO ATRAVÉS DE ENSAIO DE TRAÇÃO DE  
CONCRETOS PRODUZIDOS COM FIBRA DE SISAL E RESÍDUO  
DE BORRACHA DE PNEU / Cláudio Kênnyo Silva. -  
2020.  
49 f. : il.

Orientadora: Marília Oliveira.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,  
2020.

1. Concreto. 2. Tração. 3. Fibras. 4. Sisal. 5.  
Borracha. I. Oliveira, Marília , orient. II.  
Título.

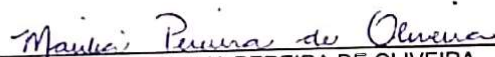
CLÁUDIO KENNYO DOS REIS SILVA

**AVALIAÇÃO ATRAVÉS DE ENSAIO DE TRAÇÃO DE CONCRETOS  
PRODUZIDOS COM FIBRA DE SISAL E RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU**

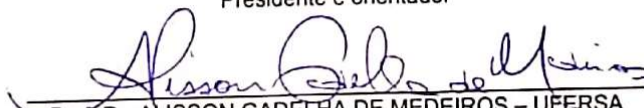
Monografia apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semi-Arido como requisito  
para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Defendida em: 04 de fevereiro de 2020

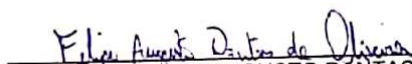
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dra. MARILIA PEREIRA DE OLIVEIRA – UFRSA  
Presidente e orientador



Prof. Dr. ALISSON GADELHA DE MEDEIROS – UFRSA  
Primeiro Membro



Prof. FELIPE AUGUSTO DANTAS DE OLIVEIRA  
Segundo Membro

*Dedico a minha vó, Maria José, uma grande  
mulher de sorriso fácil que se foi ainda nova.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por sempre me guiar e colocar grandes pessoas em meu caminho.

Agradeço a minha mãe, Flaviana, que sempre confiou em mim e nunca criticou nenhuma decisão que tomei e independentemente dos resultados esteve sempre ao meu lado. É meu porto seguro.

Agradeço a minha tia, Fabiana, que junto com minha mãe e minha vó, foi uma das três mulheres que me criaram e me formaram como pessoa.

Agradeço a minha prima, Maria Júlia, que foi responsável por colocar sorrisos no meu rosto após o pior momento da minha vida.

Agradeço ao meu pai, Meiriano, por todo o suporte que me deu desde sempre.

Agradeço a minha namorada, Marina, por ter aberto minha mente para a vida, devo tudo que conquistei a ela. Todo o apoio que ela e a mãe dela, Elizabete, me ofereceram eu jamais esquecerei, e serei eternamente grato a elas. Momentos difíceis aparecem para serem superados e juntos nós iremos superar um a um.

Agradeço aos meus avós, Manú e Zélia, que sempre me incentivaram e com certeza ficaram muito orgulhosos de mim.

Agradeço aos meus tios e tias que contribuíram com incentivos, inclusive financeiro, teria sido impossível sem vocês.

Agradeço a minha orientadora a Profa. Dra. Marília Pereira de Oliveira por ter entendido a minha situação e ter se colocado a disposição para me ajudar.

Agradeço ao coordenador do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido o Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior por todo o apoio que me deu desde a primeira disciplina que ministrou a minha turma.

Agradeço aos meus amigos de Limoeiro do Norte - CE por terem me feito relaxar nos momentos de mais estresse, e aos meus amigos de UFRSA por não terem me deixado relaxar nos momentos mais difíceis, caminhamos juntos e levarei todos para sempre em minha vida.

Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,  
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou  
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou  
o que era antes.

Marthin Luther King

## RESUMO

É possível obter um ganho de resistência a tração no concreto por meio da adição de fibras ao concreto? A adição de resíduos ao concreto não é muito comum, porém a incorporação de fibras tais como a fibra de sisal e o resíduo de borracha de pneu pode sim contribuir para essa propriedade do concreto. Além disso o uso da fibra natural pode ocasionar a abertura de um novo mercado para essa fibra incluindo uma renda a mais para os produtores. Esta fibra tem sua produção na região semiárida do país que é a região nordestina, região esta que necessita de todo incentivo financeiro possível. Já o resíduo de borracha de pneu tem formato fibroso e se encaixa na parte da engenharia civil a qual está preocupada com a reutilização de matérias, preocupada com a sustentabilidade do planeta, visto que o pneu é um material de difícil descarte e altamente poluidor. Assim o presente trabalho teve como objetivo estudar a incorporação diversas porcentagens de resíduo de borracha de pneu e fibra de sisal na produção de concretos. Foi analisada a resistência à tração por compressão diametral de diferentes traços, com uma porcentagem diferente de adição de fibras em comparação com o traço de referência, sem adição deste material. Os resultados demonstraram que a incorporação destas fibras favorece a um incremento na resistência à tração do concreto.

**Palavras-chave:** Flexibilidade. Resistência.

## **ABSTRACT**

Is it possible to obtain a strength gain in the concrete by adding fibers to the concrete? The addition of residues to concrete is not very common, but the incorporation of residues such as sisal fiber or rubber residue from the tire can contribute to this property of concrete. In addition, the use of natural fiber may lead to the opening of a new market for this fiber, including an additional income for producers. This fiber is produced in the semi-arid region of the country, which is in the Northeast region, a region that requires all possible financial incentives. It is already tire rubber residue in the form of fibrosis and fits in part of civil engineering and is concerned with the reuse of materials, concerned with the sustainability of the planet, since the tire is a material that is difficult to dispose of and highly polluting. Thus, the present work aimed to study the incorporation of different percentages of tire rubber and sisal fiber residues in the production of concrete concretes. Resistance to flexibility by diametrical compression of different strokes was analyzed, with a different percentage of fiber addition compared to the reference streak. The results showed that the incorporation of these fibers favors an increase in resistance to the destruction of concrete.

**Keywords:** Concrete. Sisal fiber. Tire rubber. Tensile strength.

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |                                                                     |    |
|-----------|---|---------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | – | Processo de secagem do sisal .....                                  | 24 |
| Figura 2  | – | Processo de raspagem, uma das etapas da recauchutagem de pneu.....  | 26 |
| Figura 3  | – | Fibra de sisal adicionada na composição do concreto .....           | 29 |
| Figura 4  | – | Fibra de borracha de pneu adicionada na composição do concreto..... | 30 |
| Figura 5  | – | Betoneira usada para mistura do traço de forma mecânica.....        | 32 |
| Figura 6  | – | Cura submersa dos corpos de prova.....                              | 32 |
| Figura 7  | – | Passo a passo do ensaio de <i>Slump Test</i> .....                  | 33 |
| Figura 8  | – | Ensaio de <i>Slump Test</i> .....                                   | 34 |
| Figura 9  | – | Ensaio de tração por compressão diametral.....                      | 35 |
| Figura 10 | – | Corpo de prova pós ensaio.....                                      | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|          |   |                                                                           |    |
|----------|---|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | – | Traço de concreto utilizado.....                                          | 31 |
| Tabela 2 | – | Porcentagem de fibras adicionas a mistura do concreto.....                | 31 |
| Tabela 3 | – | Massa dos materiais da mistura do concreto.....                           | 31 |
| Tabela 4 | – | Massa unitária do concreto em estado fresco.....                          | 37 |
| Tabela 5 | – | <i>Slump Test</i> .....                                                   | 38 |
| Tabela 6 | – | Resistencia a tração por compressão diametral de cada corpo de prova..... | 39 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|        |                                                                                             |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABNT   | Associação brasileira de normas técnicas                                                    |
| CP     | Cimento Portland                                                                            |
| Dr     | Doutor                                                                                      |
| ISO    | International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização). |
| NBR    | Norma brasileira                                                                            |
| UFERSA | Universidade Federal Rural do Semi-Árido                                                    |

## SUMÁRIO

|                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                    | <b>15</b> |
| 1.1 OBJETIVOS .....                                                                          | 16        |
| 1.1.1 Objetivo geral .....                                                                   | 16        |
| 1.1.2 Objetivos específicos .....                                                            | 17        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                                                            | <b>18</b> |
| 2.1 CONCRETO: CONCEITOS BÁSICOS .....                                                        | 18        |
| 2.1.1 Agregados.....                                                                         | 19        |
| 2.1.1.1 <i>Areia</i> .....                                                                   | 20        |
| 2.1.1.2 <i>Brita</i> .....                                                                   | 20        |
| 2.1.2 Cimento .....                                                                          | 21        |
| 2.2 Resistência .....                                                                        | 23        |
| 2.2.1 Resistência à tração.....                                                              | 24        |
| 2.3 FIBRAS: CONCEITOS BÁSICOS .....                                                          | 25        |
| 2.3.1 Fibra de Sisal .....                                                                   | 26        |
| 2.3.2 Fibra de borracha de pneu .....                                                        | 28        |
| 2.4 O uso de fibras de sisal e de resíduo de borracha de pneu em materiais cimentícios ..... | 29        |
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>                                                                   | <b>32</b> |
| 3.1 Materiais .....                                                                          | 32        |
| 3.1.1 Cimento Portland .....                                                                 | 32        |
| 3.1.2 Água .....                                                                             | 32        |
| 3.1.3 Agregados.....                                                                         | 32        |
| 3.1.3.1 <i>Areia</i> .....                                                                   | 32        |
| 3.1.3.2 <i>Brita</i> .....                                                                   | 33        |
| 3.1.4 Fibras.....                                                                            | 33        |
| 3.1.4.1 <i>Fibra de Sisal</i> .....                                                          | 33        |
| 3.1.4.2 <i>Fibra de borracha de pneu</i> .....                                               | 34        |
| 3.2 DOSAGEM .....                                                                            | 35        |
| 3.3 ENSAIOS REALIZADOS NO CONCRETO .....                                                     | 38        |
| 3.3.1 Massa unitária do concreto fresco .....                                                | 38        |
| 3.3.2 <i>Slump Test</i> .....                                                                | 38        |
| 3.3.3 Ensaio de tração por compressão diametral .....                                        | 40        |

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>     | <b>42</b> |
| 4.1 Massa unitária .....                  | 42        |
| 4.2 <i>Slump Test</i> .....               | 43        |
| 4.3 Tração por Compressão diametral ..... | 44        |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>                  | <b>49</b> |
| 5.1 Sugestões para trabalhos futuros..... | 49        |

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao baixo custo e a sua praticidade o concreto é considerado por muitos o material mais utilizado na construção civil em todo o mundo. A cerca disso Mehta & Monteiro (2014) afirma que o concreto é o material da construção civil mais utilizados no mundo, comumente composto da mistura de cimento, areia, brita e água. O concreto armado é uma derivação do concreto simples e de acordo com Pfeil & Pfeil (2009, p.92), “o concreto armado é constituído por dois materiais – concreto e barras de aço – de naturezas muito diferentes, porém com algumas propriedades complementares”.

Para analisar as propriedades do concreto, é necessária a realização de ensaios. Os ensaios mais frequentes para aquisição das propriedades do concreto são os de compressão e tração. Pinheiro (2007) menciona que a análise da resistência à tração no concreto pode ser feita através de três tipos de ensaios diferentes, podendo ser de tração axial, ensaio de tração por compressão diametral ou através do ensaio de flexão em vigas. O ensaio de tração por compressão diametral foi criado em 1943 pelo Professor Lobo Carneiro e é uma determinação indireta da resistência à tração no concreto. De acordo com Falcão e Soares (2002), quando se aplicam duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um cilindro, essas forças geram, ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro.

A resistência a tração do concreto é pequena em comparação com a sua resistência a compressão, porém estudos vêm sendo feitos para adicionar reforço na resistência a tração desse material. De acordo com Silva (2009), as fibras naturais são utilizadas como reforço de materiais há milhares de anos, mas somente durante a segunda guerra mundial foi dada a devida atenção às fibras vegetais especificamente. Devido a diminuição da reserva de fibras de asbesto, a fibra celulósica começou a ser empregada em substituição parcial ou total, atuando como reforço em materiais cimentícios, e, posteriormente teve sua utilização mais difundida, quando descoberto os malefícios causados pela fibra de asbesto à saúde.

Atualmente a utilização de fibras vegetais ou naturais como reforço para materiais poliméricos vem crescendo significativamente pelo fato de possuírem baixo custo, em relação às fibras sintéticas e ainda serem provenientes de fontes renováveis. Isso implica na obtenção de um produto final com menor custo, que cause menos impactos ao meio ambiente e ainda que possa competir com matérias tradicionais (SÁ FILHO, 2013). Existe uma grande variedade de

plantas nas quais é possível se obter benefícios através de suas fibras, logo se pode exemplificar as fibras de coco babaçu, juta, rami, sisal, caruá e cana-de-açúcar.

De acordo com Joseph, Medeiros e Carvalho (1999), entre as fibras naturais utilizadas como reforço em compósitos, destaca-se o sisal. Suas propriedades tornaram esse material interessante para tal fim, principalmente pela sua elevada resistência ao impacto e moderada resistência à tração e flexão.

Além das fibras naturais podem ser introduzidas ao concreto as fibras de origem sintéticas. Pois a construção civil necessita de matérias primas sustentáveis, hoje alguns materiais reciclados são incorporados à massa ou até mesmo substituindo o agregado, assim como a borracha de pneus inservíveis, vem sendo testada para substituir um agregado natural, em fabricação de pavers, argamassa de acabamento, reforço de solo (PEDRO, 2011).

Garrick (2005) afirma que a incorporação das fibras de borracha ao concreto vem sendo estudada cada vez mais com o desejo de aumentar a resistência à tração dele, pelo fato de os resíduos de pneu terem como propriedade principal a alta tenacidade. Além da preocupação em manter suas propriedades mecânicas, existe também a necessidade de que os concretos se tornem mais resistentes às agressões do ambiente, denominado como concreto de alto desempenho.

Com base no exposto o trabalho busca estudar a influência da incorporação de fibras naturais e sintéticas na resistência a tração do concreto. Será analisado a influência das fibras incorporadas como reforço na produção de concreto.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a utilização de fibras incorporadas ao concreto como meio de melhorar as características de resistência à tração.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Produzir concreto com as proporções de: 0%, 0,25%, 0,50% e 0,75% de fibras de sisal e de resíduo de borracha de pneu em relação a massa de cimento;
- Analisar a influência da adição de fibras na consistência do concreto;
- Avaliar a interferência na massa unitária causada pelo incremento de fibras ao concreto;
- Realizar ensaios de tração por compressão diametral nos concretos produzidos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONCRETO: CONCEITOS BÁSICOS

O concreto é um material compósito preparado através da combinação de aglomerante, agregados e água (YAZIGI, 2008). O aglomerante mais comum a ser usado é o Cimento Portland, e os agregados que são utilizados são de granulometrias distintas. As areias, que são os agregados miúdos e as rochas britadas (brita) que são os agregados graúdos.

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), o concreto pode ser dividido em três categorias tendo em vista sua resistência à compressão simples, são elas: baixa resistência (resistência menor que 20MPa), resistência moderada (resistência entre 20 e 40MPa) e alta resistência (resistência superior à 40MPa).

Os concretos de alta resistência são obtidos através do incremento de aditivos ou adições que contribuem de forma ativa ou ainda com manipulação relação água/cimento. No entanto, para Recena (2015), um concreto com ganho de resistência atingido a partir do manejo da relação água/cimento ainda sim é considerado um concreto convencional.

O controle técnico dos materiais e da dosagem, bem como a precisa execução da estrutura e o acompanhamento da cura do concreto são os principais aspectos de influência para a resistências e durabilidade do concreto (YAZIGI, 2008).

O concreto possui dois estados, o fresco e o endurecido e a partir das características desejadas em cada estado é que são montadas as dosagens. Ou seja, não existe uma dosagem ideal do concreto, o que há é a dosagem que melhor se adequa as propriedades desejadas, seja no estado fresco ou no estado endurecido (RECENA, 2015).

Com relação a dosagem Yazigi (2008) afirma que toda manipulação na dosagem não pode perder de vista a resistência final desejada após os 28 dias de cura do concreto, visando, sempre, a qualidade e a vida útil da construção na qual esse material será empregado.

No que se refere aos estados do concreto, Sobral (2000) afirma que, o estado fresco constitui-se de uma pasta de aglomerante que envolve os agregados. Já o estado endurecido é considerado por Oliveira (2000) como sendo a partir do início da pega. Para Mehta e Monteiro (2014) a pega é a solidificação plástica do concreto, ou seja, a partir dela não é mais possível moldar a massa de concreto. A partir deste ponto é que se inicia o estado endurecido.

Cada um dos estados tem propriedades que podem ser analisadas. No estado fresco características como trabalhabilidade, exsudação e tempo de início e fim de pega podem ser analisadas. Já no estado endurecido os principais fatores analisados estão relacionados com a resistência do concreto a compressão ou a tração. Esses fatores podem, e vão influenciar diretamente na vida útil e no desempenho da estrutura do concreto.

A NBR 12655/2015 regula o preparo, controle e recebimento do concreto e ela se aplica a concreto de cimento Portland para estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações e estruturas de engenharia, podendo ser misturado na obra, pré-misturado ou produzido em usina de pré-moldados.

### 2.1.1 Agregados

De acordo com a NBR 12655/2015, o agregado é um material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o preparo de argamassa e concreto. Para Mehta e Monteiro (2014), os agregados não tem influência direta nas reações químicas com a água, e por isso são chamados de material de enchimento inerte do concreto.

A NBR 7211/2009 indica que os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Os agregados podem ser classificados quanto a sua granulometria e para Mehta e Monteiro (2014) o agregado graúdo é aquele que possui partículas maiores de 4,75 mm presa na peneira 4 normatizada pela NBR NM ISO-2395 (ABNT, 1997). E as partículas passante nessa mesma peneira são as partículas que constituem os agregados miúdos.

Apesar de quimicamente inertes os agregados definem algumas características do concreto em estado endurecido, essas características irão depender das propriedades de cada agregado. Para Farias e Palmeira (2007), essas propriedades são: massa específica aparente, porosidade, composição granulométrica, forma e textura.

Os agregados podem, ainda, serem divididos quanto ao seu peso específico em agregados leves, médios ou pesados. Albuquerque (2000) indica que os agregados leves se incluem grupo das vermiculitas, argilas expandidas e a escória granulada. Os agregados considerados médios compreendem o calcário, o arenito, o cascalho, o granito, a areia, o basalto e a escória. E para finalizar os agregados pesados são compostos pela barita, a hematita e a magnetita.

Fechando as classificações dos agregados Mehta e Monteiro (2014) distinguem os agregados em artificiais e naturais, sendo que este representa 90% dos agregados utilizados na fabricação do concreto. Os agregados artificiais mais comuns são as argilas e folhelhos expandidos que são materiais que não são tirados diretamente de jazidas naturais, necessitando de algum tipo de processo para a sua produção.

#### 2.1.1.1 *Areia*

Os agregados miúdos, de acordo com Yazigi (2008), são compostos pelas areias naturais quartzosas obtidos em jazidas e pelos areais artificiais obtidos pela fragmentação de rochas. Esses agregados têm um diâmetro máximo de 4,80 mm.

Conforme Albuquerque (2000), a areia é um sedimento geológico clástico inconsolidado, proveniente de grãos de quartzo extraídos de rios, de cava, de britagem, de escória e de praias e dunas. Apesar de praias e dunas serem fontes abundantes de areia o autor salienta que devido ao cloreto de sódio elas não são empregadas na construção civil.

A ABNT NBR 6502/1995, define a areia como um solo não coesivo e não plástico constituído por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm. Ainda de acordo com a mesma NBR, as areias são classificadas em areia fina, com diâmetros entre 0,06 mm e 0,2 mm, areias médias, com diâmetros entre 0,2 mm e 0,6 mm, e areias grossas, com diâmetros entre 0,6 mm e 2,0 mm.

#### 2.1.1.2 *Brita*

As rochas britadas (brita) são agregados graúdos largamente utilizados na confecção de concreto e de acordo com a ABNT NBR 7211/2009 são definidas como agregado cujos grãos

passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248/2003, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Conforme o Relatório 30 do Ministério de Minas e Energia (2009), brita é um termo utilizado para denominar fragmentos de rochas duras, originários de processos de beneficiamento (britagem e peneiramento) de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos (granito, gnaiss, basalto, calcário) com auxílio de explosivos.

O mesmo relatório indica a graduação das britas de acordo com a granulometria, sendo: Brita 0 ou Pedrisco (granulometria variando de 9,5 mm a 19 mm), brita 1 (granulometria variando de 9,5 mm a 19 mm), brita 2 (granulometria variando de 19 mm a 25 mm), brita 3 (granulometria variando de 25 mm a 50 mm), brita 4 (granulometria variando de 50 mm a 76 mm) e brita 5 (granulometria variando de 76 mm a 100 mm).

### 2.1.2 Cimento

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos (NBR 11578/1991)

Cimento hidráulico e não hidráulico é uma das possíveis classificações do cimento. De acordo com Nããs (1990), os cimentos hidráulicos são aqueles que em contato com a água provocam uma reação química que libera calor e forma uma pasta capaz de endurecer por secagem natural. Este processo é chamado de hidratação do cimento. Já o cimento não hidráulico é resultado da calcinação da gipsita ou carbonatos de cálcio e o material resultando desse processo não possui boa resistência a água, esse tipo de cimento é também conhecido como aglomerante aéreos.

O cimento Portland é formado por determinados números de compostos, (C3S, C2S, C3A e C4AF) e as origens do processo de endurecimento são as reações que ocorrem com este composto. O cimento Portland possui compostos anidros que se tornam hidratados ao entrar em contato com a água. A hidratação consiste na transformação destes compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis, segundo Petrucci (1998).

Conforme Hachmi e Campbell (1989), o cimento Portland é formado por uma mistura heterogênea de materiais inorgânicos que mudam a depender do tipo. São eles: Silicato Tricálcico (Alita), Silicato Bicálcico (Belita), Aluminato Tricálcico (Aluminato), Ferro Aluminato Tetracálcico (Ferrita) e a Cal livre.

Entendendo que o cimento Portland é uma mistura heterogênea, intui-se conforme Mehta e Monteiro (2014), que o processo de hidratação do cimento não se dá de maneira uniforme pois os silicatos se hidratam de maneira mais lenta ao contrário dos aluminatos. As reações de hidratação envolvendo aluminatos são as que determinam, de maneira mais ampla, as características de enrijecimento e pega de uma pasta de cimento Portland.

Além da composição do cimento, a finura do material tem influência direta na reação com a água. Ainda de acordo com Mehta e Monteiro (2014), normalmente quanto mais fino o material, mais rápido ocorre a reação.

A fabricação do cimento é oriunda de um processo que envolve altas temperaturas para a produção de um material desidratado quimicamente e, assim, este procedimento resulta em um material instável e de alta capacidade energética. Essa capacidade energética é percebida quando do processo de hidratação do cimento, pois quando a hidratação tem início o cimento passa a se tornar um material com estados mais estáveis e de baixa energia, justamente por conta da liberação dessa energia em forma de calor, portanto, uma reação exotérmica. A essa energia liberada dar-se o nome de calor de hidratação e caso ocorra em grande quantidade pode até ser prejudicial para a estrutura de concreto, de acordo com Mehta e Monteiro (2014).

Yazigi (2008) cita que as propriedades do cimento Portland são consideradas sob três aspectos distintos. A primeira é a propriedade do material em seu estado natural, o pó. A segunda é a propriedade da mistura de cimento e água em suas proporções adequadas a cada uso. E a terceira é a propriedade da mistura da pasta com o agregado. O autor classifica os cimentos Portland como sendo: Cimento Portland Comum: é o cimento obtido através da moagem do Clínquer Portland, ao qual é adicionado sulfato de cálcio. O Cimento Portland Comum (CPC) permite a adição de misturas de materiais pozzolânicos, escórias granulares de alto-forno e materiais carbonáticos, gerando assim as subdivisões conhecidas como Cimento Portland Comum Simples (CPS), Cimento Portland Comum com Escória (CPE) e Cimento Portland Comum com Pozolana (CPZ).

Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI): da mesma forma, é obtido através da moagem do Clínquer Portland, porém, durante a sua moagem, não é permitida a adição de nenhuma substância a não ser algum componente de sulfato de cálcio.

Cimento Portland de Alto-Forno (AF): é obtido através de uma mistura homogênea de Clínquer Portland, juntamente com a escória granulada básica de alto-forno. Permite a adição de sulfatos e de derivados de carbonato de cálcio.

Cimento Portland Pozolânico (POZ): da mesma forma, é obtido através da mistura de Clínquer Portland e substâncias pozolânicas, e permite a adição de sulfato de cálcio na mistura.

Cimento Portland Branco (CPB): é obtido com a moagem de Clínquer Portland com características de baixo ou a ausência de teores de óxido de ferro. Permite, ainda, a adição de sulfato de cálcio.

Cimento Portland Pozolânico (POZ): de acordo com a NBR 5736 (ABNT, 1991), possui composição fixada em norma, contudo aceita uma determinada variação de seus compostos que vai de 15% a 50%.

Materiais pozolânicos são materiais siliciosos ou silicoaluminosos que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que formam compostos com propriedades cimentícias quando reagem com o hidróxido de cálcio, reação esta que advém da presença de água. São divididos em pozolanas naturais e artificiais. As pozolanas naturais advêm de atividades vulcânicas, ao passo que as pozolanas artificiais são subdivididas em argilas calcinadas, provenientes da calcinação de determinadas argilas, cinzas volantes, provenientes da combustão do carvão, e outros materiais, em que se enquadram as microsílicas, escórias siderúrgicas ácidas e rejeitos silicoaluminosos de craqueamento do petróleo (ABNT, 1991).

O uso das pozolanas nos concretos de cimento Portland melhora características como, por exemplo, a trabalhabilidade, diminui o calor de hidratação, aumento da impermeabilidade e, de uma maneira geral, reduz custos (OLIVEIRA, 2000).

## 2.2 RESISTÊNCIA

A escolha de um material para ser utilizado como um elemento construtivo depende das características de resistência desse material a aplicação de determinados tipos de força. Cada

tipo de força aplicada resulta numa deformação diferente que é a variação do comprimento em um determinado eixo. As tensões dentro de um mesmo corpo podem ficar mais distintas entre si, e isto ocorre devido à forma como a tensão atua no material. Esta distinção é classificada em tensão de compressão, de tração, de flexão, de cisalhamento e de torção. Esta relação entre tensão e deformação, geralmente, é expressa em termos de resistência, módulo de elasticidade, ductilidade e dureza, segundo Mehta e Monteiro (2014).

A resistência do concreto é obtida por meio da solidificação do cimento, e para isso é condição indispensável a hidratação. O concreto varia sua resistência durante a sua vida útil isso porque a hidratação do cimento ocorre de maneira lenta de acordo com, Mehta e Monteiro (2014).

O tipo de cimento utilizado no concreto não influencia tão significativamente a resistência do concreto. Contudo, este último influenciará diretamente na velocidade do crescimento da resistência. Na resistência do concreto entram em cena vários fatores, estes podem ter sua influência tanto na mistura, ou seja, em sua fase não endurecida, como na cura, ou seja, em sua fase endurecida, ao passo que cresce a sua resistência, conforme os autores Botelho e Marchetti (2004).

Nos sólidos como o concreto há uma relação inversa entre a porosidade e a resistência. Embora a relação água-cimento seja indispensável para determinação da porosidade do concreto, há também fatores como o adensamento e as condições de cura. A resistência à compressão é amplamente usada como um indicador para as demais resistências, ou seja, ao longo do tempo foram elaboradas relações empíricas úteis que relacionavam a resistência do concreto à compressão com a resistência do concreto a outras tensões como a de cisalhamento, flexão e tração. (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

### 2.2.1 Resistência à tração

A maioria das peças feitas de concreto é fabricado com o propósito de que o concreto resista as tensões de compressão e não as tensões de tração (Mehta e Monteiro, 2014). Comumente, é utilizada a adoção de que a resistência a tração do concreto é equivalente a 10% de sua resistência a compressão.

Em conformidade com Neville (1997), a correlação entre compressão e tração não pode ser livremente feita. Pois, não há uma proporcionalidade direta entre essas duas resistências, ambas dependem do nível de resistência do concreto. Desta maneira, se a resistência à compressão aumenta é esperado que a resistência à tração também aumente, mas dentro de uma relação decrescente

Em algumas estruturas como por exemplo: pavimentos de rodovias, lajes e vigas os esforços predominantes são os de tração na flexão. A determinação da resistência à tração do concreto pode ser encontrada por três diferentes ensaios, o ensaio de tração axial, o ensaio de tração na flexão e o ensaio de tração por compressão diametral (ARAÚJO, 2001).

## 2.3 FIBRAS: CONCEITOS BÁSICOS

Mano e Mendes (2004) definem as fibras como um termo geral que remete a um corpo flexível, cilíndrico e de pequenas seções, transversal com elevada razão entre o comprimento e o diâmetro, razão superior a cem.

Mehta e Monteiro (2014) consideram que o concreto elaborado a partir do cimento hidráulico, agregados, água e fibras discretas e descontínuas é denominado Concreto Reforçado com Fibras – CRF (*fiber-reinforced concrete* – FRC). Com a incorporação das fibras, percebeu-se que a rápida propagação das microfissuras, provenientes dos esforços de tração do concreto, era reduzida e, consequentemente, favorecia um aumento da resistência à tração do material. Apesar do mercado de concreto reforçado com fibras, comparado à produção total de concreto, ainda ser pequeno, houve um crescimento anual na América do Norte de 20% (vinte por cento).

Conforme Daldegan (2016), as fibras podem ser classificadas conforme sua aplicação ou material constituinte. As fibras podem ser aplicadas considerando dois tipos de utilização, a primeira delas é com intuito de melhorar as características do concreto e reduzir os efeitos negativos da retração. O segundo tipo de utilização são as fibras estruturais, que tem como objetivo substituir as armaduras convencionais de aço e resistir aos esforços de tração em elementos estruturais de concreto.

As fibras são fabricadas em diversos materiais, diâmetros e comprimentos. Podem ser usadas praticamente em qualquer tipo de concreto, inclusive combinadas, para atender simultaneamente a finalidades diferentes. Assim, podemos precisar de um reforço no concreto

para altas temperaturas e um aumento do módulo de deformação ao mesmo tempo. Hoje no mercado encontramos diversos tipos de fibras: polipropileno, aço, vidro, nylon, poliéster, carbono, sintética, celulose, amianto, sisal e fibras vegetais (Santos, 2010).

De acordo com Figueiredo (2005), O concreto convencional tem comportamento frágil e baixa capacidade de deformação à tração antes da ruptura e as fibras são adicionadas para diminuir essas limitações. Fibras são elementos descontínuos, com comprimento bem maior que as dimensões da seção transversal. Podem ser de: aço, vidro, polipropileno, carbono, náilon, sisal, madeira, etc.

As fibras naturais são aquelas tiradas da natureza, tendo origem vegetal, animal ou mineral. As fibras de sisal e rami são exemplos de fibras naturais extraídas da natureza direto para a fabricação (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

A fibra sintética é criada com produtos químicos como matéria-prima, sem participação de nenhum tipo de fibra natural. O polipropileno e a fibra de borracha de pneu são exemplos (MOTTA; AGOPYAN, 2007).

Para Rosenberg (2019), as fibras artificiais são produzidas pelo homem, tendo como matéria prima, polímeros naturais, como celulose, por exemplo. Elas são compostas por fibras naturais, mas precisam ser manipuladas para se tornarem fibras.

### 2.3.1 Fibra de Sisal

De acordo com Martin *et al* (2009) o sisal é a principal fibra dura produzida no mundo e ela apresenta um dos maiores valores de módulo de elasticidade e de resistência mecânica entre as fibras naturais. A Figura 1 mostra o processo de secagem do material.

Figura 1 – Processo de secagem do sisal.



Fonte: Reprodução da internet.

As fibras de sisal são obtidas da planta de espécie nativa da América Central *Agave Sisalana Perrine*, que geralmente é cultivada em climas tropicais e subtropicais, devido ao sisal requerer clima quente e grande luminosidade. As plantas de sisal estocam água na estação chuvosa e consomem na estação seca, sendo, portanto, facilmente adaptadas as regiões semiáridas. Sua produção se concentra na região nordeste do país, na Bahia e Paraíba (GONÇALVES, 2007).

A sua versatilidade, por se adaptarem a diferentes processos de conformação, torna este material estrategicamente importante no desenvolvimento de novos compósitos. Entre outras vantagens, pode-se apontar ainda a facilidade de modificação superficial, sua abundância no Brasil e a facilidade de cultivo (AMICO, 2004).

Há grandes vantagens no uso de fibras vegetais, tais como a baixa massa específica; maciez e abrasividade reduzida, recicláveis, não tóxicas e biodegradáveis, possui também um baixo custo e baixo consumo de energia na produção, baixa condutividade térmica, bom isolamento térmico e acústico, sendo assim estudadas as características mecânicas (SATYANARAYANA, et al, 2007).

Ante o exposto, o compósito de concreto com adição de sisal está cada vez mais sendo estudado na intenção de ganho de resistência a tração do concreto devido a sua fácil obtenção e ótima trabalhabilidade.

### 2.3.2 Fibra de borracha de pneu

De acordo com IBGE (2014), o Brasil possui cerca de 202,7 milhões de habitantes e 86,7 milhões de veículos registrados (DENATRAN, 2014). Assim, o Brasil possui uma média de 2,3 habitantes/veículos. Segundo projeções realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), estima-se que a frota de veículos individuais e comerciais leves irá atingir cerca de 130 milhões de unidades até 2050, isto é aproximadamente 1 veículo a cada 1,7 habitantes.

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP, no ano de 2016 foram produzidos 67.870,35 novos pneus no Brasil, e em torno de 35 milhões foram descartados. No primeiro quadrimestre de 2017, foi registrada uma alta no índice de produção, em torno de 1,8%, impulsionada principalmente por pneus agrícolas (33,6%) e caminhonetes (12,2%).

O principal componente do pneu é a borracha, representando 41% do peso total, podendo ser classificada em borracha natural e borracha sintética. A natural é obtida através da seiva da planta *hevea brasiliensis*, mais conhecida como seringueira. Já a sintética é derivada do petróleo ou do gás natural. No Brasil mais de 50% da borracha consumida é destinada a fabricação de pneus (BNDES, 1998).

Todo pneu em algum momento se transformará em um resíduo potencialmente danoso à saúde pública e ao meio ambiente. Uma solução para sua destinação final deverá ser adotada a fim de lidar com os riscos apresentados por este produto ao fim de sua vida útil (BERTOLLO, et. al., 2010).

Segundo Resende a coleta de pneu no Brasil é algo novo. Em um processo de manufatura o pneu é classificado como sendo: novo, recauchutado ou reutilizado. A recauchutagem é um processo mais simples, pois somente recoloca a parte da borracha gasta na banda de rolagem, preservando assim cerca de 80% da matéria-prima e energia necessária para a fabricação de um novo pneu. A reutilização direta não se classifica como um processo de manufatura, conhecida também como remoldagem é utilizado para aumentar a vida útil de pneus de caminhões representando 2,5% do custo total do pneu novo (RESENDE, 2004).

A recauchutagem de pneus contribui para reduzir o volume desse passivo ambiental. No entanto, as bandas de rodagem substituídas vêm a constituir resíduo que demanda seu próprio

descarte adequado. Uma das possibilidades que vêm sendo estudadas para o reaproveitamento deste material é o seu emprego em misturas cimentícias (PELISSER e BERNADIN, 2010).

No processo de recauchutagem o pneu é raspado manualmente ou por meio de cilindros metálicos (Figura 2) para posterior utilização em técnicas de reciclagem. Este processo gera um resíduo de borracha. Este material pode ser aspirado e armazenado em uma câmara de acesso externo e o restante não alcançado pela mangueira pode ser armazenado em uma área para posteriormente ser colocado em tambores. O resíduo coletado pode ser aproveitado em outros processos de reciclagem. Desta forma, evita-se a contaminação do solo e da água pelo descarte do pó de borracha no meio ambiente. (SANTOS et al. 2005).

Figura 2 – Processo de raspagem, uma das etapas da recauchutagem de pneu.



Fonte: Site [reformadepneus.com.br](http://reformadepneus.com.br)

#### 2.4 O USO DE FIBRAS DE SISAL E DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Castro (2017), fez uma análise sobre a adição de fibras no concreto submetido a altas temperaturas. Na ocasião a fibra utilizada foi a de polipropileno e foi possível observar ganhos de resistência tanto na tração quanto na compressão, na ordem de 3 e 5MPa respectivamente, quando o concreto foi submetido a temperaturas de até 200°C.

Carvalho, Neto e Candido (2016), constaram uma pequena perda de resistência nos blocos de concreto em que foram adicionadas fibras de sisal. Segundo os próprios autores em

conclusão, listaram possibilidade para que isso tenha acontecido, são elas: pequeno número amostral, a não homogeneização correta e ao pequeno teor de fibras adicionado

Colonetti (2017), identificou em seu trabalho com o uso de fibra de sisal problemas com o excesso de fibra, isso ocorre por conta da diminuição do módulo de elasticidade do concreto. No entanto no concreto com teor de 0,3% houve um resultado satisfatório de resistência.

Para Izquierdo e Ramalho (2011), a alta variabilidade das propriedades das fibras de sisal é uma grande desvantagem. Isso se dá por conta de o material não passar por processos industriais sofisticados o que poderia padronizar suas características físicas. Em pesquisa do autor acerca do uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural, verificou-se no ensaio à compressão que, as unidades com fibras apresentaram diminuição da resistência em uma média de 41% em relação aos blocos de referência.

Moreira, Fidelis e Dias (2014), trabalharam com substituição da areia na mistura do concreto por resíduo de borracha de pneu para aplicação em ciclovias, com traços variando de 0 a 50% de substituição. Os resultados indicaram uma resistência a compressão oscilando de 32MPa no traço com 0% de borracha à 4MPa no traço com a maior porcentagem de borracha, 50%. Ainda assim, o autor salientou que a resistência é suficiente para o fim desejado, não servindo para uso em elementos estruturais.

Magni, Batista e Krug (2017), também trabalharam com a substituição da areia no traço do concreto por resíduo de borracha de pneu. Os resultados alcançados indicaram que o concreto dosado como referência foi o que apresentou melhor resistência, com 55,26 MPa. Já o concreto com teor de substituição de 20%, foi o que apresentou menor resistência à compressão, cerca de 25% menos que a referência, com 41,48 MPa.

Campos (2017), no trabalho em que analisou o comportamento mecânico de argamassas de cimento Portland fabricadas com a adição de fibras de sisal modificadas por acetilização, ele verificou um ganho de resistência a tração na flexão superior a 15% nos traços com adição das fibras. O autor analisou duas porcentagens de adição, 0,2 e 0,4%.

Conforme Calhabeu e Sordi (2002), a substituição de até 100 % do agregado gráúdo por resíduos de borracha de pneus, na forma de pequenas tiras resultantes dos processos de recauchutagem, resultou em que quedas de até 85% na resistência à tração em relação ao concreto base. Ainda segundo os autores em com base em suas pesquisas, não se observou aumento efetivo na tenacidade como consequência da substituição parcial do agregado,

provavelmente pela necessidade de um controle maior das características físicas e geométricas das partículas a serem adicionadas.

Giacobbe e Figueiredo (2008), observaram em suas pesquisas uma variação de 8MPa de resistência a tração do concreto de referência para um concreto com adição de 10% de fibras em substituição a areia. Para os autores as reduções da resistência mecânica, provavelmente, estão relacionadas com o comportamento da borracha na matriz que pode atuar como um vazio. Ressalta-se que este tipo de tratamento pode eventualmente melhorar a tenacidade do compósito, todavia não resultará algum ganho quanto a resistência mecânica. Os pesquisadores ainda ressaltam que, quanto ao concreto no estado fresco, é notória a perda de massa específica, visto que a borracha possui massa específica inferior ao do agregado miúdo substituído e redução da consistência, devido a diminuição da ação da gravidade sobre o concreto.

### 3 METODOLOGIA

Neste item foram descritos os materiais e os métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho. As técnicas concebidas usando o apoio dos Laboratórios de Materiais de Construção Civil e Ensaios Mecânicos pertencente a Universidade Federal Rural do Semiárido.

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP IV 32 RS, fabricado pela empresa Nassau. Optou-se por fazer uso desse cimento pelo fato de ser um cimento menos agressivo ao uso da fibra de sisal.

##### 3.1.2 Água

A água usada na mistura do concreto foi a do próprio laboratório que é proveniente da rede de água tratada da Companhia de Águas e Esgotos do estado do Rio Grande do Norte (CAERN).

##### 3.1.3 Agregados

###### 3.1.3.1 Areia

A areia utilizada como agregado miúdo na mistura é oriunda da região do Vale do Assú na Região Oeste Potiguar, região rica nesse tipo de agregado. Esta areia foi caracterizada quanto a massa específica conforme a NBR 9776/1987, quanto a sua granulometria de acordo com a NBR 248/2003, por meio do frasco de Chapman e peneiramento, respectivamente. A massa específica encontrada para areia foi de 2,5773 g/cm<sup>3</sup>. O ensaio de peneiramento teve os seguintes dados como resultado: diâmetro máximo de 6,3 milímetros e módulo de finura 3,09 que caracteriza a areia como grossa. A areia também foi caracterizada quanto a sua massa unitária seguindo a NBR NM 7251/1982 e o valor obtido foi de 1,62 g/cm<sup>3</sup>.

Para introdução na dosagem do traço de concreto somente foi utilizado o material passante na peneira número 4 (quatro) com abertura de 4,76mm. Foi tomado o cuidado de retirar as impurezas que podiam ser vistas a olho nu para que não tivessem influência nos resultados.

#### 3.1.3.2 Brita

O agregado gráúdo utilizado foi uma brita granítica cuja origem é da mesma região do agregado miúdo. É uma brita número 1 (um) com agregados com tamanho máximo de 19mm. Foi retirado grande parte dos finos contidos no agregado por meio de lavagem com o intuito de reduzir a interação desse material com a água de hidratação do cimento.

#### 3.1.4 Fibras

##### 3.1.4.1 Fibra de Sisal

Foi utilizado uma fibra de sisal com comprimento médio de 20mm (Figura 3). Com a intenção de obter um ganho de resistência a tração foi a fibra natural utilizada por conta das facilidades já mencionadas no trabalho.

Figura 3 – Fibra de sisal adicionada na composição do concreto.



Fonte: Autoria própria.

#### 3.1.4.2 Fibra de borracha de pneu

As fibras de borracha utilizadas tinham comprimentos variados devido a dificuldade de controle de tamanho do material por tratar-se de um rejeito de recauchutagem de pneu (figura 4). Apesar disto tomou-se o cuidado de fazer um peneiramento para a retirada do excesso de finos do material, e assim apenas as fibras entraram na mistura.

Figura 4 – Fibra de borracha de pneu adicionada na composição do concreto.



Fonte: Autoria própria.

### 3.2 DOSAGEM

O traço foi escolhido mediante análise de trabalho de diversos autores. O traço foi adaptado de Onuki e Gasparetto (2013), e optou por esse traço por se tratar de uma mistura de resistência à compressão média de 20MPa, de acordo com o próprio autor. A Tabela 1 informa o traço utilizado.

Tabela 1 – Traço de concreto utilizado.

| Traço             | Relação A/C | Cimento | Areia | Brita |
|-------------------|-------------|---------|-------|-------|
| Resistência média | 0,6         | 1       | 1,4   | 3,09  |

Fonte: Autoria própria.

A quantidade de fibra que seria admitida na mistura foi decidida levando em consideração a leveza do material e a massa de cimento adicionada. Como trata-se de um material leve uma pequena massa de material já acarreta um grande volume. Pensando nisso optou-se por utilizar uma quantidade de fibra que propiciar-se uma baixa relação entre massa das fibras e massa de cimento, no entanto, o volume de fibras da mistura fosse aceitável. Assim a Tabela 2 traz os valores adotados de adição de fibras.

Tabela 2 – Porcentagem de fibras adicionas a mistura do concreto.

| Traço | Adição de fibras |
|-------|------------------|
| 1     | 0,25%            |
| 2     | 0,50%            |
| 3     | 0,75%            |

Fonte: Autoria própria.

Com isso definido o ensaio culminou na análise de 7 (sete) traços diferentes, levando em consideração que há uma fibra natural e uma fibra sintética a ser analisada e ainda existe o traço de referência. A Tabela 3 resume as massas dos traços utilizados.

Tabela 3 – Massa dos materiais da mistura do concreto.

| Traço  | Água<br>(g) | Cimento<br>(g) | Areia<br>(g) | Brita (g) | Adição (g) |
|--------|-------------|----------------|--------------|-----------|------------|
| RF     | 1800,0      | 3000,0         | 4200,0       | 9270,0    | 0,0        |
| S 0,25 | 1800,0      | 3000,0         | 4200,0       | 9270,0    | 7,5        |
| S 0,50 | 1800,0      | 3000,0         | 4200,0       | 9270,0    | 15,0       |
| S 0,75 | 1800,0      | 3000,0         | 4200,0       | 9270,0    | 22,5       |
| B 0,25 | 1800,0      | 3000,0         | 4200,0       | 9270,0    | 7,5        |
| B 0,50 | 1800,0      | 3000,0         | 4200,0       | 9270,0    | 15,0       |
| B 0,75 | 1800,0      | 3000,0         | 4200,0       | 9270,0    | 22,5       |

Fonte: Autoria própria

Os traços foram produzidos individualmente no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Foi utilizado uma betoneira de 200 (duzentos) litros de propriedade do laboratório (Figura 5).

Figura 5 – Betoneira usada para mistura do traço de forma mecânica.



Fonte: Autoria própria

Após 24 horas da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e colocados no tanque de água, onde passaram 28 dias no de cura submersa (Figura 6).

Figura 6 – Cura submersa dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria.

### 3.3 ENSAIOS REALIZADOS NO CONCRETO

#### 3.3.1 Massa unitária do concreto fresco

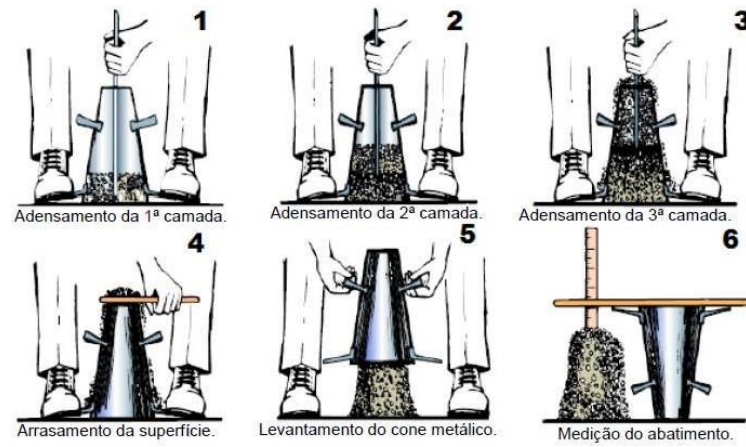
Para a execução desse ensaio era pesado primeiramente os moldes dos corpos de provas (A), em seguida com o concreto já colocado dentro do molde era pesado o conjunto (B). Com essas duas medidas era possível saber o peso apenas do concreto do corpo de prova (C), fazendo  $C = B - A$ . Como os moldes dos corpos de prova são padronizados é possível calcular o seu volume assim como se calcula o volume de um cilindro. Com as medidas de massa e volume em mãos pode calcular a massa unitária de cada corpo de prova.

#### 3.3.2 *Slump Test*

O *Slump Test*, também descrito como “ensaio de abatimento do concreto”, permite avaliar a sua trabalhabilidade, ou seja, a capacidade do material preencher vazios existentes nas formas onde endurecerá e tomar a forma necessária sem deixar espaços incompletos (SOBRAL, 2000).

De acordo com NBR NM 67 (ABNT, 1996), norma que regulamenta esse ensaio, o método é aplicável aos concretos plásticos e coesivos que apresentem um assentamento igual ou superior a 10 mm e não se aplica a concreto cujo agregado graúdo apresente dimensão nominal máxima superior a 37,5 mm. A Figura 7 mostra o passo a passo do ensaio de *Slump Test*.

Figura 7 – Passo a passo do ensaio de *Slump Test*.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Mehta e Monteiro (2014).

A Figura 8 mostra o ensaio realizado no laboratório de materiais de construção com os materiais de acordo com o indicado em norma.

Figura 8 – Ensaio de *Slump Test*.



Fonte: Autoria própria

### 3.3.3 Ensaio de tração por compressão diametral

O ensaio de compressão diametral, ou o ensaio brasileiro como também é conhecido, é um método de ensaio experimental para a determinação da resistência mecânica aos esforços de tração de grande popularidade na área de caracterização de materiais, sendo aplicado ao concreto, argamassas.

Este ensaio consiste na aplicação de uma força de compressão ao longo do diâmetro do corpo, de prova cilíndrico provocando um rompimento ao longo de seu comprimento de dessa maneira a resistência a tração é medida de maneira indireta neste ensaio (Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Autoria própria

Figura 10 – Corpo de prova pós ensaio.



Fonte: Autoria própria.

O ensaio de compressão diametral resulta em informações de força aplicada ao longo do tempo e a força máxima aplicada ao longo do ensaio. A NBR 7222/2011 - Argamassa e Concreto Determinação da Resistência a Tração por Compressão Diametral fornece uma fórmula que propicia calcular a tensão com base nas dimensões do corpo de prova e da força máxima suportada.

$$f_{td} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot L}$$

$f_{td}$  = resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05 MPa.

$F$  = Força aplicada (KN);

$d$  = Diâmetro do corpo de prova (mm);

$L$  = Comprimento do corpo de prova (mm).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo estarão dispostos os resultados obtidos nos ensaios realizados de acordo com a metodologia utilizada.

### **4.1 MASSA UNITÁRIA**

Ocorreram pequenas variações na massa unitária dos traços com adições em relação ao traço de referência. A variação máxima, verificada nos traços com adição de borracha de pneu (Tabela 4), foi de 1,67%. Essa variação, com essas quantidades adicionadas, não é o suficiente para, por exemplo, mudar o concreto de categoria em relação a essa propriedade.

Tabela 4 – Massa unitária do concreto em estado fresco.

| Traço         | Peso do molde (g) | Peso do Conjunto (g) | Peso do concreto (g) | Massa unitária (g/cm³) | Média da massa unitária (g/cm³) |
|---------------|-------------------|----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|
| RF - CP01     | 2881,40           | 6663,20              | 3781,80              | 2,41                   | 2,40                            |
| RF - CP02     | 2935,40           | 6715,30              | 3779,90              | 2,41                   |                                 |
| RF - CP03     | 2952,50           | 6716,20              | 3763,70              | 2,40                   |                                 |
| S 0,25 - CP01 | 2946,90           | 6686,50              | 3739,60              | 2,38                   | 2,42                            |
| S 0,25 - CP02 | 2914,40           | 6718,90              | 3804,50              | 2,42                   |                                 |
| S 0,25 - CP03 | 2801,10           | 6659,60              | 3858,50              | 2,46                   |                                 |
| S 0,50 - CP01 | 2946,70           | 6704,20              | 3757,50              | 2,39                   | 2,41                            |
| S 0,50 - CP02 | 2960,50           | 6728,50              | 3768,00              | 2,40                   |                                 |
| S 0,50 - CP03 | 2980,90           | 6832,10              | 3851,20              | 2,45                   |                                 |
| S 0,75 - CP01 | 2896,50           | 6594,70              | 3698,20              | 2,35                   | 2,40                            |
| S 0,75 - CP02 | 2994,10           | 6789,60              | 3795,50              | 2,42                   |                                 |
| S 0,75 - CP03 | 2967,60           | 6781,10              | 3813,50              | 2,43                   |                                 |
| B 0,25 - CP01 | 2989,40           | 6839,40              | 3850,00              | 2,45                   | 2,44                            |
| B 0,25 - CP02 | 2985,00           | 6770,20              | 3785,20              | 2,41                   |                                 |
| B 0,25 - CP03 | 3052,50           | 6924,00              | 3871,50              | 2,46                   |                                 |
| B 0,50 - CP01 | 3006,00           | 6871,90              | 3865,90              | 2,46                   | 2,44                            |
| B 0,50 - CP02 | 3051,80           | 6868,30              | 3816,50              | 2,43                   |                                 |
| B 0,50 - CP03 | 2968,90           | 6780,20              | 3811,30              | 2,43                   |                                 |
| B 0,75 - CP01 | 2949,20           | 6813,30              | 3864,10              | 2,46                   | 2,44                            |
| B 0,75 - CP02 | 3000,90           | 6830,50              | 3829,60              | 2,44                   |                                 |
| B 0,75 - CP03 | 3000,00           | 6824,50              | 3824,50              | 2,43                   |                                 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2 SLUMP TEST

Considerando que todos os traços foram feitos com a mesma relação A/C, é possível identificar, na Tabela 5, que os materiais adicionados não tiveram influência na consistência do concreto e conseqüentemente em sua trabalhabilidade.

Tabela 5 – *Slump Test*

| Traço  | Slump (mm) |
|--------|------------|
| RF     | 90         |
| S 0,25 | 90         |
| S 0,50 | 120        |
| S 0,75 | 110        |
| B 0,25 | 100        |
| B 0,50 | 110        |
| B 0,75 | 100        |

Fonte: Autoria própria

#### 4.3 TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de tração por compressão diametral foi realizado no Laboratório de Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA.

Utilizando a fórmula fornecida pela NBR 7222/2011, foi possível elaborar a Tabela 6 que contém um comparativo dos resultados de cada traço utilizado no ensaio.

Tabela 6 – Resistencia a tração por compressão diametral de cada corpo de prova.

| Traço         | Força (N) | Tensão (MPa) |
|---------------|-----------|--------------|
| RF - CP01     | 55174     | 1,76         |
| RF - CP02     | 59120     | 1,88         |
| RF - CP03     | 60546     | 1,93         |
| S 0,25 - CP01 | 56174     | 1,79         |
| S 0,25 - CP02 | 61462     | 1,96         |
| S 0,25 - CP03 | 62414     | 1,99         |
| S 0,50 - CP01 | 61890     | 1,97         |
| S 0,50 - CP02 | 63784     | 2,03         |
| S 0,50 - CP03 | 65810     | 2,09         |
| S 0,75 - CP01 | 65663     | 2,09         |
| S 0,75 - CP02 | 59442     | 1,89         |
| S 0,75 - CP03 | 56894     | 1,81         |
| B 0,25 - CP01 | 62169     | 1,98         |
| B 0,25 - CP02 | 55774     | 1,78         |
| B 0,25 - CP03 | 61163     | 1,95         |
| B 0,50 - CP01 | 57842     | 1,84         |
| B 0,50 - CP02 | 62665     | 1,99         |
| B 0,50 - CP03 | 57749     | 1,84         |
| B 0,75 - CP01 | 59888     | 1,91         |
| B 0,75 - CP02 | 59191     | 1,88         |
| B 0,75 - CP03 | 58463     | 1,86         |

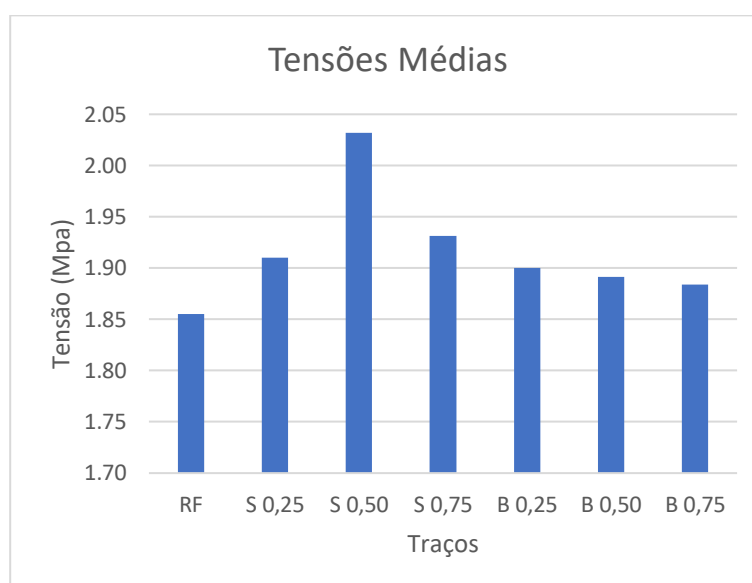
Fonte: Autoria própria.

Analisando Tabela 5 é possível inferir que os principais ganhos de resistência se deram nos traços no qual foram adicionadas as fibras de sisal. Sendo que o ganho máximo na resistência ocorreu naquele que foi acrescentado 0,50% desta fibra ao concreto. Já nos traços que tiveram a borracha de pneu como material adicionado, o ganho de resistência não foi tão grande como os que foram adicionado sisal, no entanto ocorreu ganho de resistência quando comparado com o traço de referência.

O ganho máximo de resistência ficou na ordem de 9,14% no traço com 0,50% de sisal adicionado em relação a massa de cimento, e o ganho mínimo foi de 1,07% no traço com 0,75% de borracha adicionado.

O Gráfico 1 mostra a comparação entre as médias de tensão dos 3 corpos de prova confeccionados para cada traço.

Gráfico 1 – Tensões médias



Fonte: Autoria própria.

Analisando o Gráfico 2 é possível identificar que em média todos os traços apresentaram ganho na resistência. Destaque para o ganho obtido no traço com 0,5% de adição de fibra de sisal, este traço conferiu um aumento superior a 9% na resistência com a tensão superando os 2MPa.

Lima Neto (2014), estudou as propriedades mecânicas de matrizes à base de cimento Portland reforçadas com fibras de sisal e obteve ganho de resistência a tração na flexão em todos os traços produzidos com adição em relação ao traço de referência. O traço de referência obteve uma resistência de ruptura de 7,86MPa, já os demais traços com adição de 0,3%, 0,6%, 0,9% e 1,2% de fibra de sisal obtiveram os valores de 8,3MPa, 7,89MPa, 7,99MPa e 9,09MPa, respectivamente, conferindo assim um ganho máximo superior a 15% na resistência a tração.

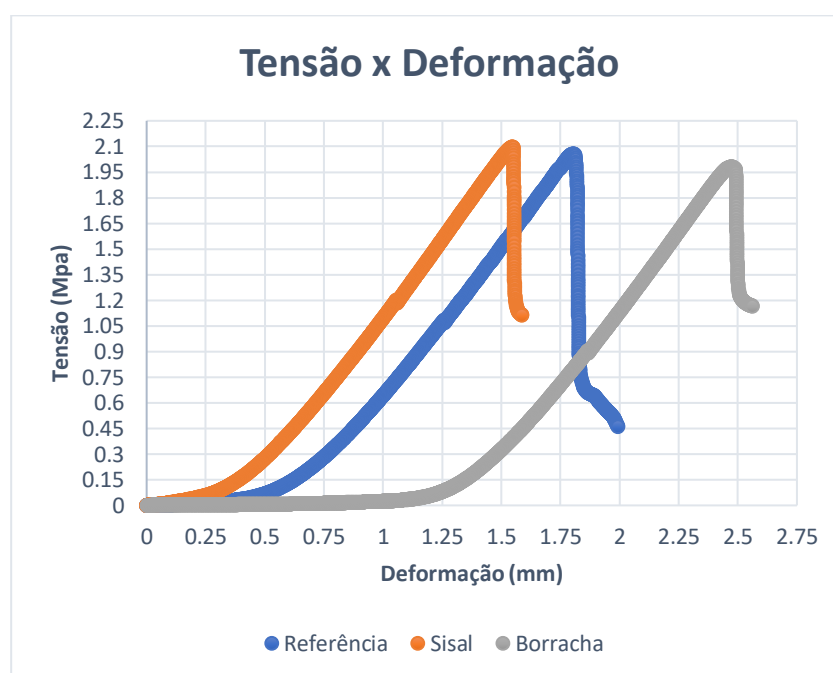
Borges (2017), estudou as propriedades do concreto com adição de fibras vegetais e analisando os resultados obtidos com as fibras de sisal observa-se uma pequena perda de

resistência a tração, inferior a 5%. No entanto, em conclusão, o autor ratifica que apesar da média da resistência ter sido inferior, alguns corpos de prova trabalharam com ganho na resistência o que propiciou uma resistência média próxima a de referência.

Colonetti (2017), observou em sua pesquisa de concreto com adição de sisal, que o melhor desempenho se deu com uma adição de 0,3% de fibras em relação a massa de cimento. Valor de adição superiores a 0,3% tiveram resultados piores. O que se assemelha aos resultados obtidos no presente trabalho. Como os teores de adição são diferentes somente é possível analisar a semelhança e a necessidade de mais estudos acerca disto.

O Gráfico 2 apresenta a relação de tensão x deformação para os três corpos de prova que atingiram o maior valor de tensão, são eles: RF - CP03, S 0,50 - CP03 e B 0,50 - CP02.

Gráfico 2 – Tensão x deformação do concreto com adição de fibra de sisal e de borracha de pneu



Fonte: Autoria própria.

Com a análise do Gráfico 2 é possível observar que, apesar da resistência com ambos os tipos de fibras serem parecidas com a de referência, a deformação do concreto com adição de fibras de borracha de pneu é maior que os outros dois, chegando a 2,5mm.

É possível observar também que a quantidade de borracha adicionada não teve relação com o ganho de resistência, visto que, o traço que mais obteve ganho de resistência foi o que teve a menor quantidade de fibra de borracha adicionada. Já na fibra de sisal os sinais de ganho de

resistência por conta dessa característica são um pouco mais visíveis apesar de não ser possível afirmar categoricamente.

Por último o fato de a fibra de sisal ter um comprimento fixo de 20mm e a fibra de borracha não ter uniformidade de comprimento pode ser uma das variáveis que fez com que os ganhos de resistência proporcionados pela fibra natural tenham sido mais consideráveis. Outro fator que pode ter tido influência nos resultados é que a fibra natural é mais leve e por tanto propicia maiores volumes com uma menor quantidade de massa, e assim o volume adicionado pode ser o segundo fator a influenciar nos resultados quando comparadas duas fibras utilizadas.

## 5 CONCLUSÃO

É possível concluir que a adição de fibras não tem grande influência na massa unitária do traço do concreto, com variação máxima inferior a 2% com relação ao traço de referência.

Quanto a consistência do concreto, analisado pelo ensaio de *Slump Test*, é possível concluir que a adição de fibras tem pouca interferência nessa propriedade, com o Slump variando em no máximo 3 (três) centímetros do traço de referência. A consistência poderia ser um problema pois influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto e assim poderia contribuir de maneira negativa em caso de grande alteração, pelo fato de existir alguns serviços que necessita de uma trabalhabilidade mínima para sua perfeita execução. Por exemplo uma estrutura muito armada necessita de um concreto mais trabalhável para o perfeito preenchimento da peça em questão.

Apesar da baixa influência da adição das fibras na massa unitária e no *Slump Test*, foi possível constatar um ganho de resistência a tração, observado nos resultados do ensaio de tração por compressão diametral.

Pode-se afirmar que a adição de fibras de sisal contribuiu de maneira positiva chegando a um valor máximo de influência positiva de 9,14% em relação a resistência do traço de referência. Já com as fibras de borracha de pneu o ganho foi menor, chegando apenas a 2,15% em relação ao traço de referência. Mas apesar do baixo aumento na resistência foi possível observar ganho em todos os traços que foram adicionados as fibras de borracha de pneu.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência das fibras naturais e sintéticas adicionadas ao traço no ganho de resistência a tração do concreto, utilizando o método de análise da resistência a tração por compressão diametral, também conhecido como ensaio brasileiro, e pode servir como base para trabalhos futuros com base como:

- Análise da influência do comprimento das fibras no ganho de resistência a tração do concreto;
- Estudo do ganho de resistência a tração do concreto com base na quantidade fibra de borracha de pneu adicionado.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- ALBUQUERQUE, Alexandre Serpa. Agregados. In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- ANIP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE INDÚSTRIAS DE PNEUMÁTICOS, [www.anip.com.br](http://www.anip.com.br). Acessado em janeiro de 2020.
- ARAUJO, RODRIGUES FREITAS. **Materiais de Construção**, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: **Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 – **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 23p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5736: **Cimento Portland Pozolânico**: especificação. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502. **Rochas e solos**, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregado para concreto** – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 67: **concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1996
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO-2395: **Peneiras de Ensaio e Ensaio de Peneiramento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- BERTOLLO, S. A. M. et al., **Pavimentação Asfáltica: uma alternativa para reutilização de pneus usados**, Revista Limpeza Pública, ed. 54, pp. 23-30, janeiro de 2000.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado, eu te amo**. 2. Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2004.

BRUNAUER, S.; COPELAND, L. E. **The Chemistry of Concrete**. Scientific American. 1964.

FALCÃO, Marcius Flaure B.; SOARES, Jorge Barbosa. **Considerações sobre o ensaio de compressão diametral no estudo de materiais de pavimentação**. 2002. Disponível em: <[http://www.det.ufc.br/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=128&Itemid=148&date=1996-04-01](http://www.det.ufc.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=128&Itemid=148&date=1996-04-01)>. Acesso em: dezembro 2019.

De FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. **Agregados para a construção civil**. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 1. p.481-523.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras, Cap. 39**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações**. IBRACON. São Paulo, 2005.

G. M. Garrick. **Analysis and testing of waste tire fiber modified concrete**. 65 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Louisiana. 2005.

GONÇALVES, S. M. L. **Utilização de resíduos agronômicos da mandioca para fabricação de papéis especiais como recurso alternativo para a comunicação visual**. 2007. 130f. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Unesp, Botucatu, São Paulo, 2007.

HACHMI, M., CAMPBELL, A. G, Wood **cement chemical relationships**. In-**Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials**. Session li: Raw Material Considerations. USA. VOL. 1, 1989. p. 43 47.

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.

JOSEPH, Kuruvilla; MEDEIROS, Eliton S.; CARVALHO, Laura H.. **Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados por Fibras Curtas de Sisal**. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 9, n. 4, p.136-141, não é um mês valido! 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14281999000400023](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14281999000400023)>.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. 2. ed. São Paulo: Blüncher, 2000.

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, Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – Microestruturas, Propriedades e Materiais**. 1. Ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a Polímeros**. 2. ed. São Paulo: Blüncher, 2004.

NÄÄS, I.A. **Importância das instalações no controle do ambiente para produção de suínos**. **Suinocultura**, Piracicaba, v.3, n.2, p.1-10. 1990.

NEVILLE, Adam Mathew. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Propriedades do concreto endurecido In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ONUKEI, Michelle Akemi Fatiga; GASPARETTO, Patrycia Alberton. **Comparativo das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com adição de fibras de aço e de polipropileno**. 2013, 87 f. Tese (Bacharel) Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Curitiba. Curitiba, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT\\_TCC\\_2013\\_1\\_03.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT_TCC_2013_1_03.pdf)>. Acesso em: janeiro de 2020.

PEDRO, D.A.G. **Desempenho de argamassa fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. 2011

PELISSER, F., BERNADIN, A. M., **Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition**, Journal of Cleaner Production, v. 8, n. 2361, pp. 1-7, dezembro de 2010.

PETRUCCI, Eladio G.R. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Globo, 1998.

PFEIL, W., PFEIL M. **Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático**. 8º ed. Rio de Janeiro, 2009.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 1. ed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2015.

SÁ FILHO, D. M. **Obtenção e Caracterização de Compósitos de Polipropileno com Cascas das Sementes de Moringa Oleifera**. 2013. 91p. SILVA et al, 2009. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>.

SILVA, F. A. **Durabilidade e propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados por fibras de sisal**. Tese de D. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SOBRAL, Ernani Sávio. **Propriedades do concreto fresco**. In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

YAZIGI, Walid. **A técnica de Edificar** 9. ed. São Paulo: Pini: SINDUSCON, 2008.