

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**LAÍS MARIA BITTENCOURT RABELO**

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE SUPERPLASTIFICANTE E REFORÇO DE FIBRA  
DE CARBONO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS  
CONVENCIONAIS**

**FORMIGA – MG**  
**2018**

LAÍS MARIA BITTENCOURT RABELO

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE SUPERPLASTIFICANTE E APLICAÇÃO DE FIBRA DE CARBONO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR- MG, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Kátia Daniela Ribeiro

FORMIGA – MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca UNIFOR-MG

R114 Rabelo, Laís Maria Bittencourt.  
Influência da adição de superplastificante e reforço de fibra de carbono na resistência à compressão de concretos convencionais / Laís Maria Bittencourt Rabelo. – 2018.  
45 f.

Orientadora: Kátia Daniela Ribeiro.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)-  
Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2018.

Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária  
Rosana Guimarães Silva – CRB 6-3064

LAÍS MARIA BITTENCOURT RABELO

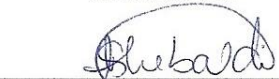
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE SUPERPLASTIFICANTE E APLICAÇÃO DE FIBRA DE CARBONO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR- MG, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

  
Prof.<sup>a</sup>. Dra. Kátia Daniela Ribeiro

Orientadora

  
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Engenheiro Agrícola

  
Gabriela Oliveira Grego Paim

Engenheira Civil

Formiga, 08 de novembro de 2018.

A Deus por ser meu alicerce, guiar meus passos e permitir a realização desse sonho.  
A Nossa Senhora por nunca me desamparar me envolvendo em Seu manto protetor,  
conduzindo todas as situações.  
Aos meus pais, Wanderlêi e Maria Isabel, pelo amor incomensurável, pela confiança e pela  
prontidão em me auxiliar sempre que necessário.  
A minha irmã, Larissa Gabriella, pelo companheirismo e ternura, você é meu tesouro.  
Minha vida seria incompleta sem vocês!  
Eu os amo muito.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele eu nada seria, pelas bênçãos sem fim, pela alegria de viver em Tua presença e por ser agraciada pela experiência do Seu amor.

A Nossa Senhora por me cobrir com seu manto protetor e passar a frente de todos os empecilhos.

Aos meus pais pelo amor, proteção, incentivo, compreensão, e apoio incondicionais, e também por tornar mais leve e alegre a minha caminhada.

À minha irmã pelo carinho, amizade, cumplicidade e pela sua doçura que faz os meus dias mais felizes.

A todos os professores pelos grandiosos ensinamentos ao longo desse percurso. Em especial ao professor doutor Michael Silveira Thebaldi, pelo empenho e disposição para contribuir na realização desta pesquisa.

À professora doutora Kátia Daniela Ribeiro, minha orientadora, pelo seu auxílio e dedicação, que tornou possível a concretização deste trabalho.

Aos meus queridos amigos por compartilharem essa caminhada comigo.

## RESUMO

O concreto é um material de ampla utilização na construção civil, o que estimula a necessidade do uso de materiais que possuam um melhor desempenho referente à sua aplicação, pois, dependendo da localização da estrutura e das necessidades almejadas, é preciso ser utilizado um concreto com melhor desempenho mecânico para que seja capaz de alcançar melhores resultados. Desta maneira, o objetivo deste trabalho é a comparação das características mecânicas entre os concretos convencionais reforçados pela adição de superplastificante e aplicação da fibra de carbono. Para tal, concretos com as características supracitadas foram fabricados, sendo avaliada a trabalhabilidade dos mesmos por meio do *Slump Test*, e, a partir do rompimento de corpos de prova cilíndricos, após 28 dias de cura, foram avaliadas suas resistências à compressão. Os resultados obtidos permitem analisar que para as condições de realização deste trabalho, a presença de aditivos químicos na mistura do concreto aumentou seu abatimento. Já em relação à resistência, foi verificado que a adição do superplastificante não é viável para qualquer circunstância ou traço. O concreto com aplicação da fibra de carbono foi o que apresentou maior resistência, portanto, mostrou-se como a alternativa mais propícia para um melhor desempenho mecânico do concreto convencional.

Palavras chaves: Construção civil. Desempenho. Rompimento.

## **ABSTRACT**

Concrete is a material widely used in civil construction, which stimulates the use of materials that promoting a better performance of it, because, depending on structure location and conditions required, it is necessary to use a concrete with better mechanical performance. This study objectified to compare mechanical characteristics between conventional concretes reinforced by superplasticizer addition and carbon fiber application. Concretes with abovementioned characteristics were fabricated and their consistency was evaluated by Slump Test. Cylindrical specimens were also submitted to compression resistance tests, after 28 days of curing. Chemical additives incorporated in the concrete mixture increased its abatement. Superplasticizer addition in concrete is not feasible for any circumstance or trait. Concrete with carbon fiber application presented greater resistance, being the most propitious alternative for a better mechanical performance of conventional concrete.

Keywords: Civil construction. Performance. Rupture.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão .....	21
Gráfico 2 - Abatimento do tronco de cone para os tratamentos analisados.....	37
Figura 1 - Diagrama tensão deformação do material frágil.....	23
Figura 2 - Representação esquemática da relação tensão - deformação do concreto.....	24
Figura 3 - Diagrama tensão-deformação com carga e descarga.....	25
Figura 4– Retirada dos moldes dos corpos de prova e identificação dos mesmos, respectivamente. ....	35
Figura 5– Colagem da fibra de carbono no corpo de prova. ....	35
Figura 6 – Corpos de prova rompidos: concreto convencional sem adições ou reforço, concreto convencional com adição de superplastificante e concreto convencional reforçado com fibra de carbono, respectivamente .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classes diferentes de Concreto de Alto Desempenho. ....	29
Tabela 2 - Quantidade de material utilizada para confecção dos corpos de prova.....	32
Tabela 3– Tipos de trabalhabilidade e variações do abatimento .....	34
Tabela 4 – Utilização do concreto conforme abatimento .....	34
Tabela 5 - Resistência à compressão dos concretos analisados aos 28 dias.....	38

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAD- Concreto de Alto Desempenho

CFC – Compósitos de Fibra de Carbono

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

Nm – Número

PRFC – Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono

PVC – Policloreto de Polivinila

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1 Concreto e seu uso na Engenharia Civil</b> .....	<b>14</b>
<b>4.2 Análise mecânica do fraturamento do concreto</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3 Reforço de estruturas de concreto</b> .....	<b>25</b>
<b>4.3.1 Uso de polímeros reforçado com fibras de carbono</b> .....	<b>26</b>
<b>4.4 Concreto de alto desempenho (CAD)</b> .....	<b>28</b>
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
<b>5.1 Dosagem do concreto</b> .....	<b>31</b>
<b>5.2 Slump Test</b> .....	<b>33</b>
<b>5.3 Moldagem dos corpos de prova</b> .....	<b>34</b>
<b>5.4 Desfôrma e cura dos corpos de prova</b> .....	<b>34</b>
<b>5.5 Resistência à compressão</b> .....	<b>36</b>
<b>5.6 Análise dos dados</b> .....	<b>36</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil está atingindo grandes proporções no mundo todo, desde obras mais simples até estruturas complexas, havendo a necessidade da utilização do concreto para a realização de muitas construções, por ser um material com características benéficas tais como: seu excelente desempenho para resistir a carregamentos e à água, sua capacidade de ser moldado em diferentes formas e tamanhos, sua elevada durabilidade, além de possuir um valor relativamente baixo, gerando economia.

Com o avanço tecnológico, o concreto convencional deixou de ser o mais utilizado em construções, sendo desenvolvidos outros tipos de concreto para situações específicas, pois, dependendo da condição onde se localiza a estrutura e também do resultado almejado, é necessário um concreto que apresente uma resistência mais alta, com um desempenho estrutural melhor, possuindo capacidade de suportar bem a agressividade do ambiente. O desempenho do concreto convencional pode, então, ser melhorado pela adição de superplastificante, como ocorre na produção de concretos de alto desempenho, bem como ser reforçado a partir do uso de fibra de carbono.

Neste sentido, este estudo procura fazer uma comparação das propriedades mecânicas de concretos convencionais produzidos com a adição de superplastificante e reforçados a partir da aplicação de fibra de carbono, analisando a influência da adição e da aplicação supracitadas na resistência à compressão, de maneira que seja verificado aquele que é mais viável para ser utilizado em circunstâncias em que se faz necessário um concreto de maior resistência, gerando benefícios à estrutura, suportando sem danos os carregamentos a ela aplicados.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Comparar as características do concreto convencional fabricado com a adição de superplastificante e reforçado a partir do uso de fibra de carbono, por meio de ensaios de compressão, a fim de identificar o que possui resistência mais elevada.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Executar o *Slump test* com o propósito de avaliar a trabalhabilidade dos concretos analisados;
- Determinar a resistência à compressão, para os concretos analisados;
- Analisar e comparar os resultados obtidos e indicar melhor alternativa quanto ao desempenho mecânico.

### 3 JUSTIFICATIVA

O concreto é um material muito utilizado no Brasil e no mundo devido às suas diversas vantagens, possuindo uma excelente função estrutural e, por este motivo, em casos específicos, é necessária a utilização de concretos que possuam resistências elevadas, resistindo assim às cargas aplicadas aos mesmos.

Desta maneira, para se obter um concreto com resistência alta, existem diferentes formas, por meio de aditivos, reforços e recuperações, e ainda podem ser utilizados alguns reforços ou aditivos em recuperação de estruturas. Em pesquisas sobre composições de concretos que apresentam maior resistência, foi verificada a utilização de superplastificante para melhoria do desempenho e, sobre métodos de reforço e de estrutura, tem-se a utilização de fibra de carbono.

Concretos de alto desempenho, obtidos com aditivos e traços específicos, são utilizados em estruturas que necessitam não somente de resistência elevada, mas também apresentam como um fator importante sua durabilidade e utilização em ambientes agressivos, possuindo uma combinação especial entre suas propriedades que não são possíveis de serem atingidas pelo concreto convencional.

O reforço de estruturas a partir do uso de fibra de carbono pode ser utilizado devido à capacidade que a fibra possui de conseguir resistir aos esforços a ela aplicados, tornando a resistência da estrutura mais elevada e, além disso, por possuir uma elevada rigidez e resistência à degradação.

Assim, para que seja obtida uma maior resistência à compressão do concreto, é de interesse técnico a utilização de concretos melhorados mecanicamente, seja pela adição de superplastificante, seja pelo reforço com fibra de carbono, que além de aumentarem a resistência, conforme pesquisas, ainda possuem também outras propriedades importantes para o desempenho do concreto.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Concreto e seu uso na Engenharia Civil

O concreto de cimento *Portland* tem fundamental importância devido à sua função estrutural na construção civil. No final do século XIX, foi descoberto, tornando-se um marco para a evolução da sociedade. Utilizado de forma intensiva desde o século XX, proporcionou bem-estar e gerou melhorias através da sua aplicação na engenharia civil (HELENE; ANDRADE, 2007).

O concreto, de modo conciso, trata de uma rocha sintética que pode ser modelada de acordo com a criatividade produtiva humana, que conseguiu elaborar um elemento que, após se tornar endurecido, é tão rígido quanto uma pedra natural e, quando fresco, pode ser moldado em diversos formatos e dimensões (PEDROSO, 2009).

O consumo do concreto na década de 2000 teve uma diferença notável quando comparado há 40 anos. O seu amplo uso na engenharia consiste em pelo menos três motivos fundamentais: o primeiro é a capacidade do concreto de resistir à água, sendo utilizado para este fim desde a antiguidade, quando os romanos o utilizaram para a construção de represas, cisternas e aquedutos. Praticamente em todo o mundo, o uso do concreto para pavimentos, barragens e revestimento de canais tornou-se usual. A segunda razão é a sua simplicidade para obtenção de elementos estruturais com diversos formatos e dimensões. O terceiro motivo é o valor econômico do concreto, além de estar disponível rapidamente para ser utilizado em uma construção (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto é utilizado em estruturas pré-moldadas ou pré-fabricadas, que são aquelas onde os componentes estruturais como, escadas, vigas, pilares, lajes, entre outros, são formados em conjunto, obtendo uma determinada resistência anteriormente à sua colocação fixa em uma estrutura. O emprego de estruturas pré-moldadas na construção civil está diretamente ligada à economia, durabilidade, segurança e versatilidade arquitetônica (TAVARES, 2014).

Além disso, o concreto armado é utilizado em larga escala em componentes estruturais como, por exemplo: estacas, fundações, sapatas, lajes, vigas, colunas, telhados, muros externos e tubos, que ficam expostos à umidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A presença do concreto é constante em nosso cotidiano, uma vez que se encontra, em casas de alvenaria, rodovias, pontes, edifícios, torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e



nucleares, obras de saneamento e até mesmo em plataformas de extração petrolífera móveis (PEDROSO, 2009).

O concreto consiste basicamente na mistura de cimento, agregados e água, sendo possível incluir aditivos, fibras, adição de minerais, agregados especiais e pigmentos, que são constantemente utilizados nos concretos modernos. A relação entre seus inúmeros componentes deve atender às propriedades necessárias para o concreto, que são: mecânicas, físicas, de durabilidade e de trabalhabilidade (HELENE; ANDRADE, 2007).

Neste sentido, o cimento é o material mais empregado na construção civil, composto por silicatos e aluminatos de cálcio, com diversas características e propriedades, incluindo ser modelado quando combinado com água e também desenvolver elevada resistência mecânica com o passar do tempo (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011). Ao realizar a combinação desse material à água, ele é capaz de se transformar e endurecer, pois é feito a partir do calcário, e em razão disso, na engenharia civil, é o cimento mais utilizado, denominado cimento hidráulico (NEVILLE, 2016).

A produção do cimento é feita através da moagem da matéria-prima, o clínquer, auferido por meio do processo de calcinação, uma mistura de calcário e argila, convenientemente dosados e homogeneizados. Em seguida, com a finalidade de evitar que as reações de hidratação entre cimento e a água se processem imediatamente quando utilizado o cimento, posteriormente à queima, é adicionado gesso (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

É designado agregado o elemento apresentado em formato de grãos, podendo ser areias e britas, em geral inertes, adicionados à mistura de água e cimento a fim de se obter concretos e argamassas. Devido à concepção econômica, os agregados são utilizados em alta porcentagem na composição dos produtos em que são acrescentados, e, ainda, são capazes de proporcionar uma retração reduzida das pastas formadas por aglomerante cimento e água e tornar maior a resistência ao desgaste superficial das argamassas e concretos (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Os aditivos são elementos acrescentados propositalmente ao concreto a fim de melhorar algumas características, reforçar até mesmo descomplicar o seu preparo e utilização (PETRUCCI, 1987). Apesar de não serem essenciais à mistura do concreto, os aditivos, de modo distinto do cimento, agregados e água, eles são constituintes relevantes e cada vez mais difundidos, desta maneira, uma mistura sem aditivos é incomum em diversos países (NEVILLE, 2016).

Com o objetivo de gerar benefícios, o concreto reforçado com fibras é aquele que é composto por cimento hidráulico, água, agregados e fibras discretas descontínuas (MEHTA; MONTEIRO, 2006). Tem como objetivo controlar as fissuras e o desenvolvimento de aberturas no concreto, modificando seu desempenho mecânico depois do rompimento da matriz, gerando melhorias em sua absorção de energia e reduzindo a capacidade de fragilidade do elemento (CARNIO, 2017).

Para se obter o concreto, é necessário seguir as etapas da tecnologia do concreto, sendo a primeira, a escolha da dosagem (traço), que deve obedecer aos requisitos caracterizados no projeto estrutural. A segunda etapa é a formação do concreto, a fabricação, que pode ser feita na construção civil ou em um local específico para essa finalidade. As demais etapas abrangem o transporte, o lançamento, o adensamento e o processo de cura desse material (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

A dosagem do concreto consiste em um procedimento de definição de constituintes apropriados e especificação de suas proporções, visando fabricar um concreto que atenda às condições requeridas de resistência, durabilidade e consistência, e, além disso, que seja econômico (NEVILLE, 2016).

A mistura ou amassamento é uma das etapas de fabricação do concreto, feita através da combinação entre os elementos constituintes desse material, sendo necessário obter um composto homogêneo para que não sejam comprometidas a resistência mecânica e a durabilidade do concreto (PETRUCCI, 1987).

Depois de feita a mistura o concreto deve ser transportado ao ambiente de execução, mantendo a homogeneidade do elemento, para que seja evitada a separação entre os materiais constituintes do concreto, ressaltando que essa segregação, não pode ser retificada depois de seu acontecimento (BAUER, 2000).

Após o transporte, é necessário que seja feito o lançamento do concreto pré-misturado, aproximando-o o máximo admissível de seu posicionamento de finalização. A fim de reduzir o segregamento do concreto, é necessário não movê-lo para locais distantes enquanto é lançado em fôrmas. Geralmente, o concreto é colocado em extensões uniformes horizontais sobre as fôrmas em camadas, e são compactadas uma a uma, antes do lançamento da próxima camada. O lançamento deve ser satisfatoriamente ágil, a fim de que a camada debaixo, no mesmo instante, encontre-se no estado plástico quando for inserida uma camada nova (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O adensamento do concreto é um processo de compactação objetivando o menor número de espaços vazios. Para que isso aconteça, após o concreto ser colocado nas fôrmas, é

preciso que ele seja compactado por meio de procedimentos manuais ou mecânicos, que proporcionam a retirada do ar, simplificam a combinação intrínseca dos agregados, aprimora o contato com as fôrmas e as ferragens (BAUER, 2000).

A cura do concreto tem como objetivo evitar a vaporização da água, mantendo o concreto molhado, ou o mais aproximado disso, para que seja feita a hidratação do cimento e ainda trata-se da administração da temperatura, e da entrada e saída de água do concreto. Para a obtenção de um bom concreto, a cura deve ser feita em um local adequado no decorrer das primeiras etapas de endurecimento (NEVILLE, 2016).

## **4.2 Análise mecânica do fraturamento do concreto**

O concreto pode ser considerado um material uniforme em várias análises, porém, na sua composição interna, é um elemento que possui muitas fases, sendo formado por água, cimento, agregados e vazios. Cada fase possui particularidades inerentes que, unidas, são capazes de influenciar o desempenho mecânico e a durabilidade do concreto (FERREIRA; HANAI, 2007).

As propriedades mecânicas mais importantes do concreto são: resistência à compressão e à tração e o módulo de elasticidade, que são definidas por meio de ensaios, realizados em condições particulares. Em geral, os ensaios são executados a fim de controlar a qualidade do material e atender às suas características (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

A resistência de um elemento pode ser definida como a sua capacidade de suportar um carregamento sem ser deformado de forma exagerada ou rompido (HIBBELER, 2004). Eventualmente, é possível identificar a ruptura através da aparição de fissuras, porém, o concreto, antes de ser sujeito a carregamentos externos, já possui muitas fissuras finas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Além disso, a resistência é uma propriedade intrínseca ao próprio elemento, sendo determinada por procedimentos práticos (HIBBELER, 2004). De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a resistência do concreto está associada à tensão máxima suportada até o seu rompimento, existindo alguns fatores relevantes da concepção de resistência do concreto.

A relação água/cimento está associada à resistência, pois a adição de água é, de forma indireta, responsabilizada pela permeabilidade dos concretos, uma vez que a parte não consumida pelas reações de hidratação do cimento podem sofrer a evaporação. Sendo assim, quanto maior a quantidade de água contida no concreto, maior será o volume de água

suscetível à evaporação e, em consequência, maior a quantidade de vazios em sua massa, podendo ser aumentada a permeabilidade e reduzida sua vida útil (ALVES NETO, 2001 apud SILVA 2006).

Os agregados possuem propriedades que são capazes de influenciar na resistência do concreto tais como: a forma, a textura e a dimensão máxima do agregado. Em uma mistura de concreto possuindo agregado de textura lisa, ou que passou por intemperismo natural com mineralogia semelhante, possui resistência um pouco mais baixa quando comparado com um concreto que contém um agregado de textura rugosa ou agregado britado, que demonstra uma resistência um pouco mais elevada nas idades iniciais. De acordo com a dimensão dos agregados, dosagens de concreto com agregados graúdos necessitam de menos água de amassamento, possuindo menor resistência, enquanto agregados miúdos necessitam de uma quantidade maior de água de amassamento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Outro fator que também pode afetar a resistência do concreto é a composição mineralógica dos agregados, sendo possível de ser notada quando é feita uma substituição de um determinado tipo de agregado por outro com diferente composição mineralógica que pode ter como resultado uma melhor resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A água utilizada para a mistura do concreto é denominada água de amassamento, sendo a sua qualidade um aspecto relevante que deve ser considerado quando se almeja a obtenção de um concreto de boa qualidade, visto que o excesso de impurezas na água pode comprometer o tempo de pega do cimento, a resistência mecânica do concreto, podendo ocorrer à eflorescência e o desgaste da armadura, e outros tipos de manifestações (SILVA, 1991 apud SILVA 2006).

O ar incorporado influencia na resistência do concreto em razão do aumento da porosidade que causa a diminuição da resistência, devido à presença de vazios de ar que são incorporados ao sistema, ou por meio da utilização de aditivos incorporadores de ar, ou até mesmo como consequência do adensamento impróprio (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A idade é um aspecto que pode afetar a resistência do concreto. Quando uma estrutura vai suportar uma carga plena, em idades avançadas, é fundamental ter conhecimento da relação água/cimento. Podendo nessa situação, ser considerado no dimensionamento estrutural, o aumento da resistência depois de 28 dias de idade. Em outras circunstâncias, tais como, em concretos pré-moldados ou protendidos ou quando é preciso retirar antecipadamente as fôrmas, é necessário conhecer a resistência em uma idade mais baixa (NEVILLE, 2016).

Quanto ao tipo de cimento, esta condição está relacionada ao grau de hidratação de cada tipo de cimento, que tem um resultado imediato na porosidade, e, por conseguinte, na resistência. Sendo assim, existem cimentos que possuem uma resistência mais alta, com idades de hidratação de 1, 3 e 7 dias e cimentos com uma resistência que aumenta de forma gradativa, com hidratação de até 28 dias. Porém, após passado este período, quando tiverem atingido um grau de hidratação similar, comumente as desigualdades são reduzidas ou mesmo desaparecem (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

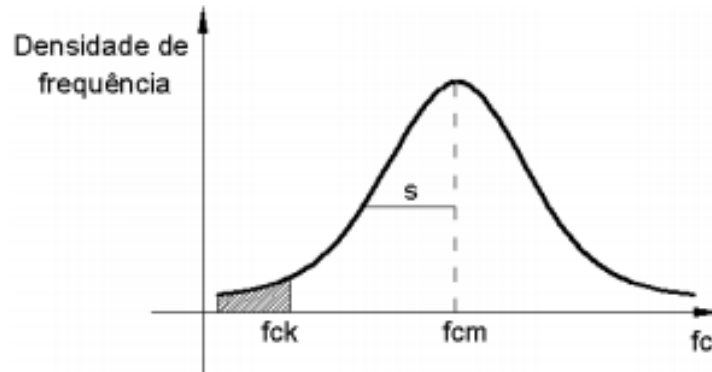
O formato dos corpos de prova pode influenciar a resistência do concreto, sendo normalmente utilizados, em países europeus, o cubo, enquanto nas Américas prevalece a forma cilíndrica para os ensaios à compressão, desta maneira, a resistência será variada, de acordo com as diferentes formas e tamanhos dos corpos de prova (PETRUCCI, 1987).

A resistência à compressão do concreto é apontada como a característica mais relevante, pois ela é associada às outras propriedades e resistências, segundo os códigos nacionais e internacionais (GIONGO, 2007), sendo determinada a partir de ensaios de compressão de corpos-de-prova de tamanhos padronizados que, no Brasil, são de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, com formato cilíndrico e idade referida de 28 dias para ensaio. Os mesmos são moldados e preparados para ensaio conforme a Norma Brasileira Regulamentadora - 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2015) e o ensaio a compressão deve ser feito de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018) (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

A resistência de um concreto à compressão deve ser analisada por meio da realização de uma quantidade de ensaios de corpos de prova. Os resultados encontrados de resistência pelos diferentes corpos de prova são mais ou menos variados, modificando de uma construção para outra e também em conformidade com o rigor, o qual é confeccionado o concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

Posteriormente feito o ensaio com um grande número de corpos-de-prova, é interessante fazer um gráfico contendo os valores adquiridos de  $f_c$  (resistência a compressão simples) *versus* a quantidade de corpos-de-prova referentes a um valor definido de  $f_c$  também nomeada como densidade de frequência. A resistência do concreto à compressão segue a distribuição normal de probabilidade, conforme mostra o GRAF. 1 (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

Gráfico 1 - Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão



Fonte: Muzardo, Pinheiro e Santos, 2004, p. 2.

Nota:  $fck$  = resistência característica do concreto à compressão,  $fcm$  = resistência média do concreto à compressão,  $s$  = desvio-padrão

Dois valores essenciais são encontrados na curva de Gauss, são eles: resistência do concreto à compressão ( $fcm$ ), que consiste na média aritmética dos diversos valores identificados nos ensaios, sendo utilizado para determinar a resistência característica ( $fck$ ), como apresentado na Equação 1 (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

$$fck = fcm - 1,65s \quad (1)$$

O desvio padrão ( $s$ ) é definido pela distância entre a abscissa de  $fcm$  e a do ponto de inflexão da curva (posição, na qual ocorre a mudança de concavidade). O valor de 1,65 se refere ao quantil de 5%, sendo admitido que somente 5% dos corpos de prova apresentam resistência ( $fc$ ) menor que a resistência característica ( $fck$ ), além disso, 95 % dos mesmos contêm resistência ( $fc$ ) maior ou igual à resistência característica ( $fck$ ), sendo assim,  $fck$  pode ser definida como o valor da resistência que tem a possibilidade de 5% dos corpos-de-prova não conseguirem atingir a resistência característica, em ensaios em um lote de material (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

O valor de ( $fck$ ) é especificado pelo calculista e é utilizado em cálculos, na prática. Sendo assim, é função do construtor produzir ou adquirir um concreto, de acordo com as particularidades estabelecidas, ensaiando concretos com variados traços, até ser encontrado o apropriado. Após feito isso, é necessário controlar, a partir de uma quantidade pequena de ensaios, se o concreto utilizado na obra é capaz de atender à resistência determinada (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

O concreto é um elemento que suporta bem as cargas de compressão e mal as de tração. A sua resistência à tração é da ordem de 10% da resistência à compressão (PETRUCCI, 1987). Apesar de não ser comumente criado para suportar a tração direta, é relevante ter conhecimento da resistência à tração, para que a carga em que se começa a fissura seja determinada. O não aparecimento de fissuras é de relevância significativa para a manutenção da continuação de uma estrutura e, em diversas circunstâncias, para a precaução do desgaste das armaduras (NEVILLE, 2016).

A definição referente à resistência do concreto à tração direta ( $f_{ct}$ ) é semelhante à da resistência à compressão. Dessa forma, se obtém a resistência média do concreto à tração ( $f_{ctm}$ ), que representa um resultado encontrado através da média aritmética dos valores identificados nos ensaios, e a resistência característica do concreto à tração ( $f_{ctk}$ ), que consiste na possibilidade de 5% dos resultados de um lote de concreto não alcançar o valor da resistência (GIONGO, 2007).

No ensaio de resistência à tração, a fratura do corpo de prova comumente tem significado de ruptura. Já no ensaio de resistência à compressão, o corpo de prova é analisado como rompido, mesmo não existindo indícios perceptíveis de fratura externa. Entretanto, as fissuras internas terão alcançado um ponto evoluído, de modo que o corpo de prova não resista a um carregamento superior (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Quando um material é submetido à aplicação de uma força, pode ocorrer uma mudança no formato e na dimensão do mesmo. Essas modificações são chamadas de deformação, podendo ser perceptíveis ou praticamente não visíveis sem a utilização de um instrumento para fazer medições precisas (HIBBELER, 2004).

É importante conhecer sobre as deformações devido à probabilidade de uma fissuração, tornar o concreto vulnerável à agressividade de agentes externos, ou pelo aparecimento de esforços adicionais nas peças com alteração de dimensão (PETRUCCI, 1987).

As deformações do concreto que podem acontecer em uma estrutura são divididas de duas maneiras (ALMEIDA, 2002):

- Deformações determinadas por alteração das circunstâncias ambientes: retração e deformações causadas por alterações de umidade e temperatura do ambiente, denominada expansão; e
- Deformações determinadas pela ação de carregamentos exteriores: podendo ser deformação imediata, deformações lentas, e fluência.

A retração pode ser definida como a redução de volume provinda pela perda de água presente nos poros (PETRUCCI, 1987), desde o final da cura até alcançar um ponto de equilíbrio compatível com as circunstâncias ambientes (ALMEIDA, 2002), podendo ser provocada por:

- Retração química: contração da água que não evapora, no decorrer do endurecimento do concreto;
- Retração capilar: acontece através da evaporação de uma parte da água capilar e perda da água absorvida. A tensão superficial e o fluxo de água nos capilares causam a retração; e
- Retração por carbonatação: acontece a redução do volume devido ao contato do gás carbônico, na hidratação do cimento (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

Já a expansão consiste no aumento de volume do concreto, que acontece em peças submersas. Em tais peças, no começo se obtém a retração química. No entanto, o fluxo de água é de fora para dentro. A retração química é anulada devido às decorrentes tensões capilares, provocando assim, posteriormente a expansão da peça (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004). As variações de temperatura podem provocar expansões ou contrações, de acordo com o aumento ou diminuição da mesma. Quando são consideradas as deformações causadas por alterações de temperatura e umidade, é relevante evocar que os resultados são superiores nas superfícies expostas do que nas que possuem proteção (PETRUCCI, 1987).

As deformações imediatas são as que surgem posteriormente à aplicação de uma carga (PETRUCCI, 1987), correspondendo ao comportamento do concreto como sólido verdadeiro e é ocasionada pela acomodação dos cristais que formam o material (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

Para Petrucci (1987), a deformação lenta é aquela que ocorre nas peças de concreto ao longo do tempo e com a manutenção da força aplicada. Ainda segundo o mesmo autor, pode ser dividida em duas formas:

- Deformação elástica retardada: é capaz de desaparecer com a remoção do carregamento, porém não de maneira imediata, como ocorre para a deformação elástica, mas após um intervalo de tempo depois do descarregamento da peça.
- Fluência: deformação que não desaparece com a remoção do carregamento, nem mesmo ao longo do tempo.

Com as informações obtidas dos ensaios de tração ou compressão, é possível calcular diversos valores de tensão e a deformação equivalente no corpo de prova, e, posteriormente,

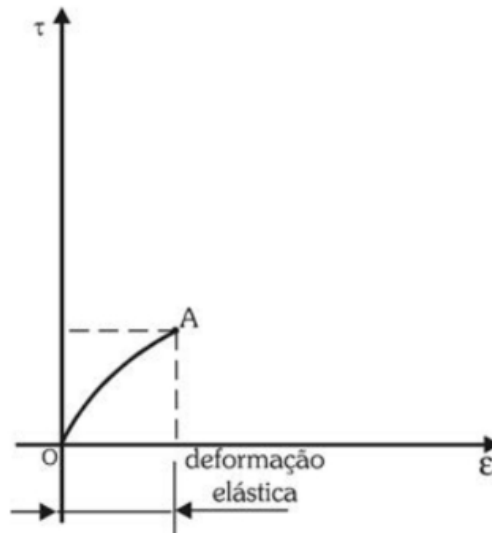


montar um gráfico com os resultados. A curva resultante é denominada diagrama tensão – deformação (HIBBELER, 2004).

O módulo de elasticidade (ou módulo de deformação) é uma propriedade mecânica que pode medir a rigidez de um material sólido e pode ser determinada através das relações entre as tensões e deformações, em conformidade com os diagramas tensão-deformação (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

Um elemento é definido como frágil quando sujeito a ensaio de tração, não manifesta deformação plástica, indo diretamente da deformação elástica para a ruptura, como mostra a FIG. 1. O concreto é um exemplo de material frágil (MELCONIAN, 2012).

Figura 1-Diagrama tensão deformação do material frágil



Fonte: Melconian, 2012, p. 77.

Onde:

Ponto 0 – Início de ensaio carga nula

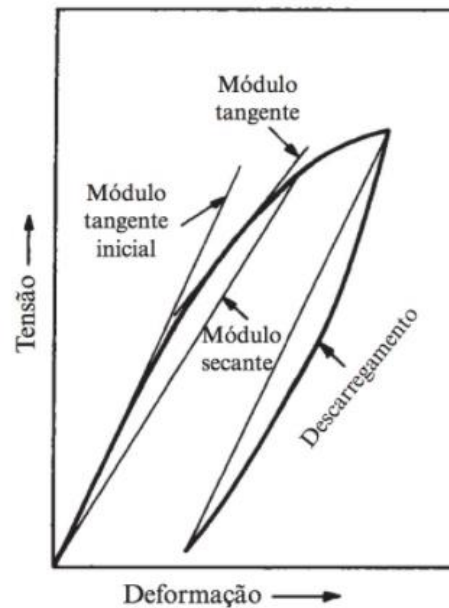
Ponto A – Limite máximo de resistência, ponto de ruptura do material

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2016), o módulo de elasticidade do concreto pode ser definido de três maneiras, como mostra a FIG. 2:

- Módulo tangente: possui um valor variável em cada ponto e é obtido pela inclinação da reta tangente à curva nesse ponto;
- Módulo de deformação tangente na origem: é encontrado através da inclinação da reta tangente à curva na origem;

- Módulo secante: possui um valor variável em cada ponto e é encontrado pela inclinação da reta que une a origem com esse ponto.

Figura 2 - Representação esquemática da relação tensão - deformação do concreto



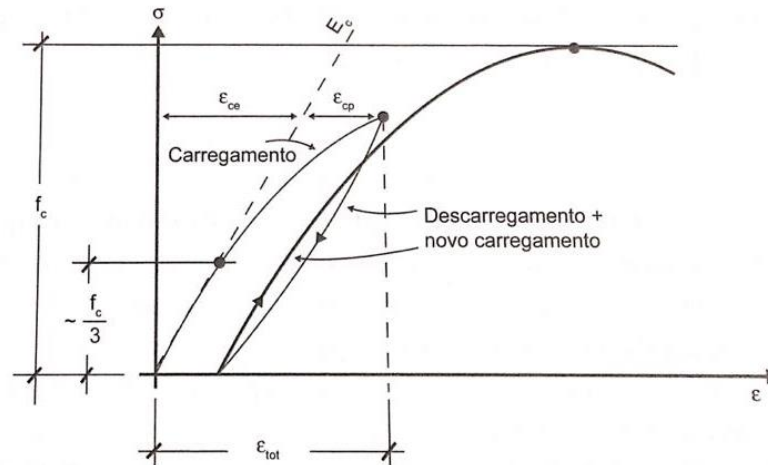
Fonte: Neville, 2016, p. 430.

A utilização do concreto como material de construção civil apresenta problemas de distintas naturezas, por este motivo se faz o uso do módulo de deformação do concreto (módulo de elasticidade) sob várias definições. O módulo de deformação é definido de acordo com o tipo de problema especial que precisa ser solucionado. Sendo assim, o módulo tangente deve ser usado para cálculo de variação de tensões devido à mudança no carregamento, o módulo secante deve ser utilizado para determinar uma flecha e o uso do módulo de deformação tangente na origem é realizado na avaliação da carga crítica de flambagem (PETRUCCI, 1987).

Para carregamentos de curta duração, com tensões abaixo de  $f_c/3$ , os diagramas tensão-deformação do concreto demonstram um comportamento elástico (trecho reto) (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016). Sendo assim, é observado que, para tensões de até  $1/3$  de  $f_c$  (resistência do concreto), pode se considerar a variação aproximadamente linear. Para valores superiores a  $f_c/3$ , é demonstrado um comportamento elastoplástico, pois é iniciado o procedimento de microfissuração da estrutura interna do concreto. Às deformações

elásticas ( $E_{cei}$ ) são somadas às deformações plásticas ( $E_{cp}$ ), sendo obtida a deformação total ( $E_{total}$ ), de acordo com a FIG.3 (GIONGO, 2007).

Figura 3 - Diagrama tensão-deformação com carga e descarga



Fonte: Carvalho; Figueiredo Filho, 2016, p. 43.

### 4.3 Reforço de estruturas de concreto

Os reforços são utilizados para intervenção em erros de projeto e/ou execução nas estruturas que não são capazes de atender às solicitações de carregamento, estipuladas no projeto, ou mesmo quando se deseja modificar a utilização prevista para a estrutura (HELENE; PEREIRA, 2003 apud GROCHOSKI; HELENE, 2008). Sendo assim, o reforço tem como objetivo aumentar a capacidade do elemento estrutural para suportar as solicitações às quais está sujeito (NAKAMURA, 2009).

Diferenciadas técnicas de reforços de estrutura estão sendo utilizadas na indústria da construção civil, tais como: perfis metálicos, chapas de aço, sistemas compósitos de polímeros reforçados com fibras, entre outros (REIS, 2001).

Os reforços de elementos estruturais com concreto armado ou com concreto projetado são muito empregados devido às vantagens que possuem de serem econômicos e de fácil execução. Tem como desvantagens a intervenção arquitetônica e o período necessário para que possa ser utilizada a estrutura. A utilização do concreto de alto desempenho no reforço pode ser uma opção ao concreto convencional, pois tem como resultado a adoção de espessuras menores, podendo não ter a necessidade de modificações de maneira significativa nos tamanhos originais dos elementos reforçados (REIS, 2001).

Outra opção de reforço de estruturas de concreto é a utilização de materiais compósitos. De maneira simples, os compósitos são produzidos a partir da combinação de dois ou mais materiais executada de forma a otimizar as características particulares (DUARTE,2004), sendo fundamentados em uma matriz polimérica com uma distribuição de fibras de maneira que possam ter reação aos esforços solicitantes com desempenho máximo. Podem ser usadas, várias fibras, como vidro, carbono e boro. Entretanto, o desempenho e as características do compósito são dependentes da natureza, formato, do arranjo estrutural e da forma que os constituintes interagem, devendo ser controlada e fiscalizada a sua aplicação (AMORIM, 2013).

A evolução de novos materiais, o desenvolvimento dos métodos que podem ser executados e o conhecimento mais aprofundado sobre o desempenho das estruturas estão ligados a uma maior preocupação com a vida útil das construções, tornando as áreas de reparos, reforços e recuperação de peças de concreto uma das mais evoluídas na engenharia (NAKAMURA, 2009).

#### **4.3.1 Uso de polímeros reforçado com fibras de carbono**

Os compósitos de fibra de carbono (CFC) apresentam características que os indicam para o reforço de elementos estruturais, pois possuem resistência maior e massa específica menor do que o aço. Os CFC são pertencentes à classe de materiais compósitos denominada *Fibre Reinforced Polymers* (FRP) e são compostos basicamente por dois elementos: fibras e matriz polimérica (SILVA FILHO, 2007). A matriz que pode ser termoplástica ou termofixa e as fibras fazem parte da constituição de um material de reforço (ARAUJO, 2002).

Geralmente, é função das fibras resistirem ao máximo que conseguirem aos esforços inseridos, devido à sua elevada resistência e rigidez; já a matriz tem como função ligar as fibras, transmitindo as cargas exteriores para as mesmas, por meio das tensões tangenciais na interface fibra/matriz (ARAUJO, 2002).

Conforme citado anteriormente, a matriz polimérica pode ser classificada como resinas termoplásticas ou termofixas, possuindo diferentes propriedades. As termoplásticas possuem uma cura reversível, podendo ser fundidas ou amolecidas de acordo com o aumento da temperatura, retornando à forma sólida quando resfriadas. Já as termofixas sofrem um processo de endurecimento causado por reações químicas ativadas devido à temperatura ou catalisadores (FIORELLI, 2002). Para reforço estrutural são utilizadas resinas de origem

termofixa, tais como: poliéster, éster-vinílico, uretano metacrilato, fenol e especialmente o epóxi (SILVA FILHO, 2007).

As resinas epoxídicas são muito usadas para proteger e recuperar estruturas de concreto armado, apresentando alta resistência a locais bastante agressivos (GROCHOSKI; HELENE, 2008). Além disso, tem como objetivo funcionar como um adesivo, fazendo com que o material consiga atingir sua resistência própria em uma hora, possuindo excelente aderência e durabilidade, compatibilização com o concreto, excelente resistência à tração, bom desempenho à fluência, boa resistência química e a solventes, forte adesão com as fibras e baixa retração no período de cura (MACHADO, 2004).

A utilização da fibra de carbono tem se apresentado bastante promissora, baseada na força das ligações carbono-carbono, no grafite e na leveza do átomo de carbono. Essas fibras podem ser caracterizadas por uma combinação de baixo peso, alta resistência à fadiga, elevada rigidez, baixos coeficientes de dilatação, além de serem muito resistentes a ataques químicos e à corrosão. Têm-se que características como o módulo de elasticidade e a resistência são dependentes do paralelismo entre os eixos das fibras (ARAUJO, 2002).

Entretanto, esse tipo de sistema de reforço com CFC possui desvantagens sendo: a falta de compatibilidade com superfícies irregulares, baixa resistência ao fogo e à exposição a raios ultravioletas, sendo estes tipos de problemas encontrados também em outros sistemas de reforço, como por exemplo, nas chapas de aço coladas com resina epóxi (SILVA FILHO, 2007).

Os sistemas de reforços fabricados com fibras de carbono existentes até então, são: (BEBER; CAMPOS FILHO; CAMPAGNOLO, 2000 apud ARAUJO, 2002):

- Chapas pultrudadas: são chapas de PRFC (Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono) de elevada resistência, molhadas com resina epóxi ou poliéster, que têm como resultado perfis contínuos com as mais diversificadas e complexas formas sendo colados por cima da superfície do concreto;
- Fios de fibras de carbono: consiste na ação de enrolar sob tensão e colar os fios de fibras de carbono sobre a superfície do concreto; e
- Tecidos de fibras de carbono: são tecidos pré-impregnados, com espessura semelhante a do papel de parede, colados por cima da superfície do concreto com resina epóxi, acompanhando rigorosamente a curvatura do elemento, sendo permitido aplicá-los em “cantos vivos”.

Os compósitos de fibra de carbono (CFC) são convenientes para aplicações em pilares, vigas, lajes, paredes, silos, reservatórios, túneis entre outros elementos estruturais que

necessitam de aumento na capacidade de carregamento. São adequados para reforço de estruturas de concreto armado em razão do alto desempenho das fibras de carbono, possibilitando uma significativa diminuição nas dimensões dos elementos que passaram pelo processo de reforço, e também por sua elevada resistência à tração e módulo de elasticidade semelhante ao módulo de elasticidade do aço (AMORIM, 2013). É necessário lembrar que, na maioria das vezes, a matriz usada para esses reforços é a resina epóxi (ARAUJO, 2002).

Este material foi usado durante um longo período de tempo com aplicações nas indústrias aeroespacial e automobilística. Porém, está sendo utilizado também em elementos estruturais, especialmente em ambientes agressivos submetidos a ataques químicos (SILVA FILHO, 2007). Neste sentido, Beber (2000) cita que o sistema compósito de polímeros reforçado com fibra de carbono como sendo o mais adequado para reforço de estruturas de concreto armado em razão de seu alto desempenho mecânico.

#### **4.4 Concreto de alto desempenho (CAD)**

O concreto de alto desempenho é um progresso dos concretos produzidos com o passar dos anos. Com este, pode-se ter um controle maior na seleção dos elementos e nas fases de dosagem, mistura, adensamento, transporte e cura, aliado à utilização precisa de aditivos químicos e minerais, permitindo a produção do concreto com melhores características. Antigamente era conhecido como concreto de alta resistência, porém, como sua definição não é apenas devido à sua resistência elevada, foi denominado de concreto de alto desempenho por possuir uma menor permeabilidade, alta resistência ao desgaste e abrasão, provocando um aumento na vida útil (CORDEIRO, 2001).

Assim, a denominação concreto de alto desempenho (CAD) é utilizada para fazer referência a concretos especiais que são melhores que os concretos convencionais em uma ou mais características, dentre elas: trabalhabilidade, resistência e durabilidade. Deve ter algumas propriedades desenvolvidas para aplicações em ambientes específico, tais como (MEHTA; MONTEIRO, 2008):

- fácil aplicação;
- adensamento sem segregação;
- resistência nas primeiras idades;
- propriedades mecânicas e alta resistência de longo-prazo;
- permeabilidade;

- densidade;
- calor de hidratação;
- tenacidade;
- estabilidade volumétrica e;
- vida útil longa em ambientes agressivos.

Desta maneira o concreto de alto desempenho pode ser aplicado em peças em que se almeja alta resistência mecânica, peças pré-fabricadas e protendidas, quando se tem a necessidade de uma desforma rápida, associada a uma aderência maior entre o aço e o concreto, edifícios, lajes, construções subterrâneas, plataformas submarinas, construções portuárias e cofres-fortes (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

A classificação do concreto de alto desempenho pode ser feita de acordo com seus valores de resistência, conforme a TAB. 1 (AITCIN, 2000 apud SILVA, 2010).

Tabela 1- Classes diferentes de Concreto de Alto Desempenho.

Classe do Concreto	Resistência à Compressão (MPa)
Classe I	50 – 75 MPa
Classe II	75 – 100 MPa
Classe III	100 – 125 MPa
Classe IV	125 – 150 MPa
Classe V	Maior que 150 MPa

Fonte: Aitcin (2000) apud Silva (2010).

Além disso, este tipo de concreto é uma tecnologia com grandes potenciais que devem ser explorados pelo mercado construtivo, sendo que recentemente são usados apenas para circunstâncias específicas, tais como: em estruturas com carregamentos e tensões de compressão muito altas, obras emergenciais ou de recuperação e estruturas sujeitas a meios agressivos ou que tenham a necessidade de maior durabilidade (VALIN JUNIOR et al., 2013).

Ainda segundo os mesmos autores, o concreto de alto desempenho deve levar em consideração boas práticas construtivas, como por exemplo, a boa cura, a confecção certa das fôrmas e o controle tecnológico, podendo se tornar durável e racional, no sentido de usufruir ao máximo dos recursos naturais utilizados na sua fabricação, se transformando em uma opção sustentável e que proporcione benefícios tecnológicos e econômicos quando comparado com os restantes.

A utilização do concreto de alto desempenho para estruturas apresentam, além da vantagem de serem mais apropriados a ambientes muito agressivos, possui também os benefícios de possibilitar um ganho de área útil, diminuição do número e da dimensão de pilares de edifícios, redução do consumo de material, diminuição do carregamento permanente da estrutura e, de modo conseqüente nas fundações, menor tempo de execução, gerando assim uma melhor relação qualidade/custo (SILVA, 2006).

Estes concretos possuem os seguintes constituintes: agregados e cimento *Portland* comuns, aditivos minerais (sílica ativa, cinza volante ou escória granulada de alto-forno, usualmente entre 5 e 15% da massa total do cimento) e o aditivo superplastificante que deve estar sempre presente, sendo dosado entre 5 e 15 litros por m<sup>3</sup> de concreto, que depende do teor de sólidos do aditivo e da sua natureza, sendo possível, por meio dessa dosagem reduzir a quantidade de água de 45 a 75 litros por m<sup>3</sup> de concreto. É essencial que o concreto de alto desempenho tenha a capacidade de ser lançado na estrutura por procedimentos habituais e curado de maneira convencional, apesar de necessária uma cura úmida particularmente bem executada. São considerados concretos de alto desempenho aqueles que possuem relação água/cimento menor que 0,35 (NEVILLE, 2016).

O uso de adições minerais e aditivos no concreto de alto desempenho é viável para a fabricação do mesmo, tornando mais simples o processo. As adições minerais têm uma área específica elevada e granulometria geralmente mais fina em comparação ao cimento, que por conseqüências físicas e químicas, são capazes de densificar a zona de transição, sendo produzida uma microestrutura mais densa e com um índice de vazios reduzido. Já os aditivos químicos permitem a inteira dispersão dos grãos de cimento, possibilitando que sejam obtidas misturas mais trabalháveis com baixa relação água/cimento, gerando elevação significativa na resistência e durabilidade do concreto (SILVA, 2006).



## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Dosagem do concreto

Para realização do experimento foram produzidos corpos de prova cilíndricos caracterizados por três tratamentos: concreto convencional sem adições ou reforço (T1), concreto convencional com a adição de superplastificante (T2) e concreto reforçado a partir do uso de fibra de carbono (T3).

A primeira etapa para o desenvolvimento do experimento foi a definição do traço do concreto, que foi de 1:2:2,5 (cimento, areia e agregado graúdo, em massa) adotando-se um fator de água/cimento de 0,55.

Para os concretos supracitados (T1, T2 e T3), foi utilizado como aglomerante o cimento CP II E-32, como agregado miúdo foi utilizada areia, caracterizada como areia grossa e como agregado graúdo foi utilizada brita, caracterizada como brita 1.

Para o T2 foi utilizado o superplastificante Plastol 4100 que, de acordo com o fabricante, deve ser adicionado à mistura do concreto na proporção de 0,4 kg a 1,60 kg para cada 100 kg de cimento *Portland*. Adotou-se no experimento então a dosagem de 1,6 kg por 100 kg de cimento que resultou na massa de 0,050 kg por corpo de prova.

Para o T3, foi utilizada a fibra de carbono 200, em formato de tecido (tramado). A fibra de carbono foi aplicada no concreto após a retirada dos corpos de prova da água, sendo colada utilizando resina epóxi transparente 2001 (com endurecedor 3154), envolvendo as laterais do corpo de prova.

Foram confeccionados 4 (quatro) corpos de prova de cada tratamento, totalizando 12 (doze) corpos de prova.

Para a definição das quantidades de cada componente do traço para confecção dos corpos de prova, calculou-se o volume de concreto necessário para compor cada corpo de prova, sendo utilizada a Equação 2:

$$V = h \times \pi \times r^2 \quad (2)$$

Onde:

$V$  = volume do corpo de prova,  $\text{dm}^3$

$h$  = altura do corpo de prova,  $\text{dm}$ ; e

$r$  = raio do corpo de prova,  $\text{dm}$ .

Para a determinação do volume total de concreto convencional a ser produzido, o resultado obtido pela Equação 2 foi multiplicado pelo número total de corpos de prova. Através do volume total de concreto, foi calculada a quantidade necessária de cimento para a confecção dos corpos de prova, de acordo com a Equação 3:

$$C = \frac{V}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{2}{\rho_a} + \frac{2,5}{\rho_b} + 0,55} \quad (3)$$

Onde:

$C$  = consumo de cimento, kg;

$V$  = volume de concreto,  $\text{dm}^3$

$\rho_c$ ,  $\rho_a$  e  $\rho_b$  = massas específicas reais do cimento, areia e brita respectivamente,  $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ , sendo utilizados valores propostos por VARELA (2012).

Com o consumo de cimento determinado, acrescentou-se 10% ao valor obtido pela Equação 3 a fim de prevenir perdas no momento da mistura. Com este resultado, foi possível, por meio do traço estabelecido, identificar a quantidade dos demais materiais utilizados (TAB. 2).

Tabela 2 - Quantidade de material utilizada para confecção dos corpos de prova.

Material	Concreto Convencional sem adições ou reforço (T1)	Concreto convencional com adição de superplastificante (T2)	Concreto reforçado a partir do uso de fibra de carbono (T3)
Cimento (kg)	2,72	2,72	2,72
Areia (kg)	5,44	5,44	5,44
Brita (kg)	6,80	6,80	6,80
Água (kg)	1,50	1,50	1,50
Superplastificante (kg)		0,050	

Fonte: A autora (2018).

Após determinada a quantidade de cada material, os mesmos foram pesados e misturados manualmente.

## 5.2 *Slump Test*

Com a massa dos concretos devidamente misturadas e homogeneizadas, procedeu-se à avaliação da trabalhabilidade dos mesmos.

O *Slump Test* ou teste de abatimento do concreto tem como objetivo a avaliação da consistência do concreto para que seja estimada sua trabalhabilidade. O ensaio de abatimento foi realizado segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998), sendo utilizados para sua execução um tronco de cone de metal, com altura de 30 cm, base superior de 10 cm e inferior de 20 cm, abertas e paralelas entre si, placa metálica de superfície plana, haste de compactação com diâmetro de 1,6 cm e 60 cm de comprimento possuindo ponta arredondada, régua, funil e colher de pedreiro.

Primeiramente, o tronco de cone foi posicionado com a base maior sobre a placa metálica de superfície plana. Em seguida, posicionou-se os pés sobre as aletas do cone, para que fosse mantida a estabilidade, sendo iniciado o preenchimento do molde com a amostra de concreto fresco, em 3 camadas adensadas com 25 golpes da haste de compactação. Os golpes foram distribuídos de forma uniforme, para a obtenção de um bom adensamento.

Posteriormente, o molde foi retirado lentamente com um movimento constante para cima. O cone foi posicionado de forma invertida ao lado do concreto abatido, com a haste de compactação apoiada na superfície do cone invertido e, com o auxílio de uma régua foi medida a diferença entre a altura do molde e a altura da massa, obtendo assim, o abatimento do concreto, em mm.

Não houveram repetições nos testes de abatimentos do concreto, ou seja, para cada tratamento, determinou-se apenas um valor de abatimento.

Os resultados obtidos foram utilizados para classificar os concretos quanto a trabalhabilidade e quanto à indicação do seu uso, a definição do seu uso, conforme TAB. 3 e 4.

Tabela 3 – Tipos de trabalhabilidade e variações do abatimento

Tipo de trabalhabilidade	Abatimento (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 – 10
Baixa	15 – 30
Média	35 – 75
Alta	80 – 155
Muito Alta	160 ao colapso

Fonte: Neville (2016).

Tabela 4 – Utilização do concreto conforme abatimento

Tipos de Construção	Abatimento (cm)
Fundações, tubulões, paredes grossas	3 a 10
Vigas, lajes, paredes finas	5 a 10
Pavimentos	3 a 5
Obras maciças	2 a 5

Fonte: Adolfo (2002).

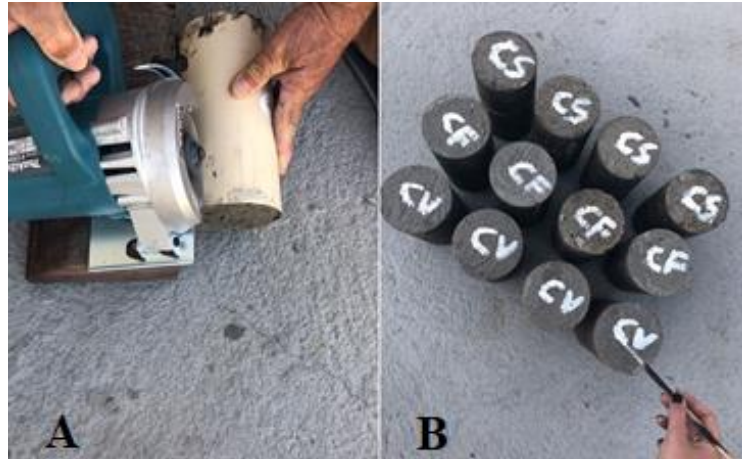
### 5.3 Moldagem dos corpos de prova

Em seguida ao *Slump Test*, modelaram-se os corpos de provas de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Foram utilizados moldes de PVC cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O preenchimento dos moldes foi realizado em 2 camadas de concreto adensado manualmente, com o auxílio de uma haste metálica, com 12 golpes por camada.

### 5.4 Desfôrma e cura dos corpos de prova

Após 24 horas da moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram retirados dos moldes e em seguida identificados (FIG 4).

Figura 4 – Desmoldagem dos corpos de prova: (A) Retirada dos moldes dos corpos de prova; (B) identificação dos corpos de prova.



Fonte: A autora (2018).

Posteriormente, conforme a NBR 9479 (ABNT, 2006), os corpos de prova foram submergidos em um reservatório com água contendo cal, em uma câmara úmida com temperatura de 23 °C.

Os corpos de prova permaneceram imersos no reservatório, durante 22 dias, sendo posteriormente retirados e curados ao ar por mais 6 dias, momento no qual foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão.

Em 4 corpos de prova (T3), aos 23 dias, colou-se com resina epóxi a fibra de carbono, envolvendo os mesmos FIG. 5 e, em seguida, esses corpos de prova permaneceram, secando a colagem até o dia da ruptura, aos 28 dias.

Figura 5 – Colagem da fibra de carbono no corpo de prova.



Fonte: A autora (2018).

## 5.5 Resistência à compressão

O ensaio de compressão dos corpos de prova foi executado segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018). Para sua realização, foi utilizada a máquina universal de ensaio modelo WAW-1000 da marca SOLOCAP, localizada na cidade de Formiga MG, no Laboratório de Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG.

Os corpos de prova foram um a um colocados na parte central da máquina, e submetidos ao carregamento de maneira contínua e sem choques. Após a ruptura dos corpos de prova, de posse da carga de ruptura fornecida pelo *software* da máquina universal, foi utilizada a Equação 4 para o cálculo da resistência à compressão.

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

Onde:

$f_c$  = resistência à compressão, MPa;

$F$  = força máxima alcançada, N; e

$D$  = diâmetro do corpo de prova, mm.

A resistência à compressão foi determinada com quatro repetições para cada tratamento.

## 5.6 Análise dos dados

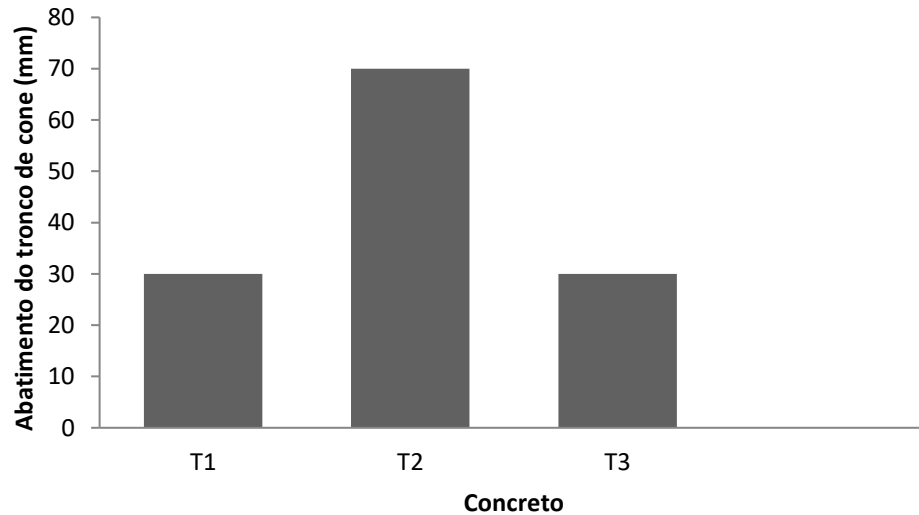
Os dados obtidos no *Slump Test* foram tabulados e gráficos foram gerados para avaliação da dispersão dos mesmos. Os resultados foram confrontados entre si e com a literatura pertinente.

Os dados obtidos nos ensaios de resistência à compressão foram submetidos à análise de variância segundo delineamento inteiramente casualizado. Os dados de resistência à compressão foram ainda submetidos ao teste de Scott - Knott, a 5% de probabilidade, para comparação das médias. As análises estatísticas dos dados de resistência à compressão foram realizadas utilizando-se o *software* SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do *Slump Test*, foram obtidos os resultados de abatimento do tronco de cone, mostrados no GRAF. 2.

Gráfico 2 - Abatimento do tronco de cone para os tratamentos analisados.



Fonte: A Autora (2018).

Foi verificado que o concreto T2 possui uma trabalhabilidade maior, isso ocorre devido ao fato de aditivos químicos, possibilitarem uma mistura mais trabalhável, o que também foi analisado por Lopes, Alcântara e Silva Júnior (2016), porém, para tal trabalho citado, o concreto convencional sem aditivo apresentou um abatimento zero, sendo diferente do encontrado neste trabalho que foi de 30 mm.

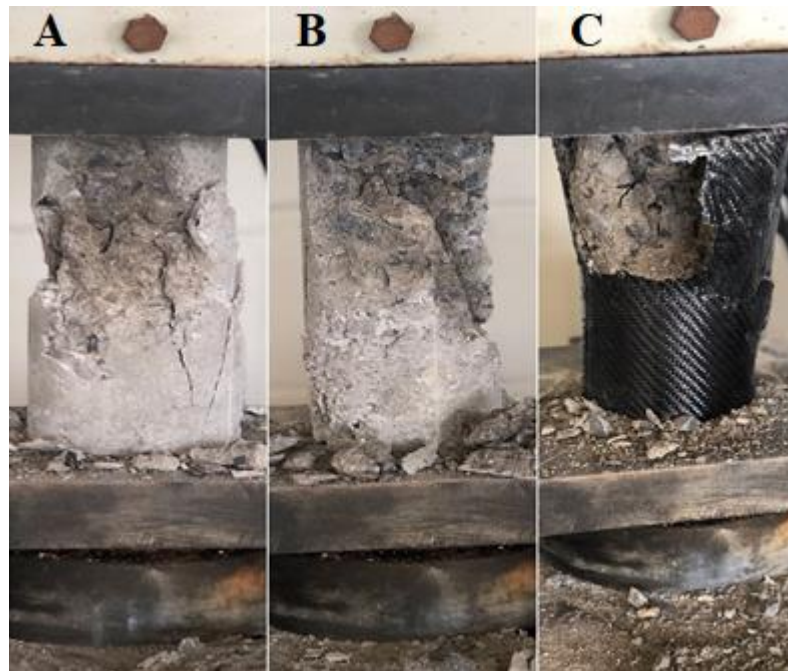
Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2007) um concreto com *Slump Test* maior geralmente apresenta facilidade em seu lançamento e adensamento, sendo assim considerado de boa trabalhabilidade. A definição de trabalhabilidade de um concreto está associada basicamente à forma de realizar seu adensamento, sendo possível, por meio da TAB. 3 analisar os tipos de trabalhabilidade de acordo com as variações do abatimento.

Diante do exposto, a trabalhabilidade alcançada para os concretos T1 e T3 é considerada baixa e a atingida pelo T2 é considerada média. Sabe-se que a trabalhabilidade está diretamente correlacionada com a quantidade de água presente na mistura, mas não somente a isso, também deve ser analisada a homogeneização da massa, frequência dos golpes com a haste de compactação, características dos agregados, entre outros.

Em função do abatimento do concreto é possível definir a sua utilização, conforme TAB. 4. Considerando apenas os valores de abatimento atingidos, o concreto T1 e T3 podem ser recomendados para fundações, tubulões, paredes grossas, pavimentos e obras maciças, já o concreto T2 é indicado para vigas, lajes e paredes finas.

Quanto ao rompimento dos corpos de prova (FIG.6), os resultados obtidos para a resistência à compressão são apresentados na TAB. 5.

Figura 6 – Corpos de prova rompidos: (A) concreto convencional sem adições ou reforço; (B) concreto convencional com adição de superplastificante; (C) concreto convencional reforçado com fibra de carbono.



Fonte: A autora (2018)

Tabela 5 - Resistência à compressão dos concretos analisados aos 28 dias.

Tratamento	Resistência à compressão (Mpa)
T1	13,14 b
T2	9,27 b
T3	20,41 a

Fonte: A Autora (2018).

Nota: Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott - Knott, a 5% de probabilidade.

Para fins desse experimento, as únicas fontes de variação de um tratamento para outro foram a adição do superplastificante no T2 e a aplicação da fibra de carbono no T3, sendo



utilizado o mesmo traço para todos. Desta forma, estatisticamente, foi observado que a adição do superplastificante ao concreto convencional não alterou a sua resistência, não sendo verificada diferença significativa entre o concreto convencional sem adições ou reforço e o concreto convencional com adição de superplastificante. Isso talvez ocorreu devido ao fato de a relação água/cimento ter sido padronizada para todos os tratamentos, e, em contrapartida, não se encontrava dentro da recomendada para o uso do superplastificante, já que o mesmo é utilizado para produção de concretos de alto desempenho que, via de regra, têm relação água/cimento reduzida e essa redução é propiciada exatamente pelo uso do superplastificante. Assim, é necessário que a recomendação seja seguida, para obtenção de melhores resultados. Além disso, foi utilizada a maior dosagem recomendada de superplastificante pelo fabricante, talvez, se tivesse usada a menor dosagem, a resistência poderia ter sido maior.

Os resultados de resistência do concreto T2 obtidos por este estudo foram divergentes dos atingidos por Nascimento et al. (2018), que utilizou um traço diferente, com cimento CPV-ARI, menor relação água/cimento, adicionou 8% de sílica ativa, agregados graúdo e miúdo de menores dimensões e o aditivo superplastificante foi acrescentado aos poucos até que fosse alcançado o abatimento necessário. A maior resistência encontrada pelos autores foi de 80,4 MPa, aos 28 dias, sendo possível perceber, que quanto menor a relação água/cimento, maior foi a resistência, desta forma, a utilização do superplastificante não é válida para qualquer situação ou qualquer traço, as altas resistências encontradas foram para condições específicas de traços.

Para as condições em que foi realizado o experimento, o valor de resistência encontrado para o concreto T3 foi estatisticamente o maior, mostrando-se como a opção mais promissora para a melhoria do desempenho mecânico do concreto convencional. O que também ocorreu para Souza (2014), que utilizou manta de fibra de carbono e resina saturante para sua aplicação, apresentando uma resistência maior quando comparado ao concreto sem reforço.

O concreto com a aplicação da fibra de carbono mostrou-se mais resistente devido ao desempenho que as fibras possuem, suportando ao máximo possível as cargas a elas aplicadas e também devido à capacidade da resina epóxi, que tem a função de um adesivo quando é colada a fibra sobre a mesma, com a finalidade de transmitir os carregamentos externos para a fibra. Assim sendo, quando é necessária uma elevada resistência à compressão para estruturas, a aplicação da fibra de carbono se torna viável, uma vez que, apresenta alto desempenho mecânico e ainda é resistente à corrosão e ataques químicos, conforme relata ARAUJO (2002).

Entretanto, a fibra de carbono tem um custo elevado, além de outras desvantagens como a falta de compatibilidade com superfícies irregulares, baixa resistência ao fogo e à exposição a raios ultravioletas (SILVA FILHO, 2007). Desta maneira, é preciso saber a particularidade de cada situação, analisando as necessidades da estrutura e também a sua localização, para que seja obtido o resultado esperado.

## **7 CONCLUSÕES**

O concreto convencional com adição de superplastificante foi mais trabalhável que o convencional sem adições ou reforço, porém, a adição do superplastificante ao concreto, na dosagem de 1,6 kg por 100 kg de cimento, não melhorou seu desempenho quanto à resistência a compressão.

A aplicação da fibra de carbono ao concreto convencional proporcionou uma maior resistência à compressão, melhorando satisfatoriamente o desempenho mecânico do concreto.

## REFERÊNCIAS

- ADOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico básico do concreto**. 2002. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/control-tecnologico-basico-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2018.
- AITCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**. Trad. SERRA G. G. São Paulo: Pini, 2000 apud SILVA, R. do N. **Um estudo sobre o concreto de alto desempenho**. 2010. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira Santana, Feira Santana, 2010.
- ALMEIDA, L. C. **Concreto**: Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV – Concreto armado. 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- ALVES NETO, J. M. Desenvolvimento e análise de grautes minerais utilizados em reparos de estruturas de concreto. 2001. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001 apud SILVA, D. R. da. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade**. 2006. 195 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Ciências Exatas e da Terra. 2006.
- AMORIM, D. C. de S. **Técnicas de reforço estrutural para edificações antigas. Estudo de caso na cidade de Rio Branco-Acre**. 2013. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- ARAÚJO, A. C. N. de. **Estudo experimental do reforço à flexão de vigas de concreto armado utilizando compósitos com tecido de fibras de carbono**. 2002. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9479**: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro, 2006, 2 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998, 8 p.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 441 p.
- BEBER, A. J. Reforço de estruturas de concreto armado com tecidos pré-impregnados de fibras de carbono. **Revista Técnica**, São Paulo – SP, v.45, mar. 2000. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/45/artigo285593-1.aspx>> Acesso em: 02 mai. 2018.

BEBER, A. J.; CAMPOS FILHO, A.; CAMPAGNOLO, J. L. Reforço de Estruturas de Concreto com Tecidos de Fibra de Carbono. XXIX Jornadas Sudamericanas Ingeniería Estructural; CD-ROM; Uruguay, 2000 apud ARAÚJO, A. C. N. de. **Estudo experimental do reforço à flexão de vigas de concreto armado utilizando compósitos com tecido de fibras de carbono.** 2002. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CARNIO, M. A. Aspectos gerais sobre o uso do concreto reforçado com fibras no Brasil: produção, projeto, tecnologia, normalização. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo – SP, v. 87, 7 p., 2017. Trimestral. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/pdfs/revista87.pdf](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista87.pdf)> Acesso em: 2 abr. 2018

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Concreto armado.** 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2016. 415 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55, 2013, Gramado. **Concreto de alto desempenho: alternativa sustentável no uso dos recursos naturais.** Gramado: IBRACON, 2013. 12 p.

\_\_\_\_\_, 60, 2018, Foz do Iguaçu. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho (CAD), utilizando método de dosagem Mehta-Aïtcin, para os materiais disponíveis em uma concreteira de Curitiba.** Foz do Iguaçu: IBRACON, 2018. 14 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22, 2016, Natal. **Avaliação da trabalhabilidade do concreto e resistência mecânica formulado com brita calcária beneficiada e plastificante a base de naftaleno sulfonado e resina epóxi.** Natal: IBRACON, 2016. 10 p.

CORDEIRO, G. C. **Concreto de alto desempenho com metacaulinita.** 2001. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF, Campos dos Goytacazes, 2001.

DUARTE, A. Recuperação Estrutural. **Revista Técnica**, São Paulo – SP, v.184, 2 p., 2004. Mensal. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/84/artigo286279-1.aspx>> Acesso em: 29 abr. 2018.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112. Disponível em: ISSN 1413-7054.

FERREIRA, L. E. T.; HANAI J. B. de. Mecânica da fratura. In: Isaia, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 237-275.

FIORELLI, J. **Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira**. 2002. 168 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

GIONGO, J. S. **Concreto Armado: Introdução e propriedades dos materiais**. 2007. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd\\_Prop\\_Materiais.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

GROCHOSKI, M.; HELENE, P. Boletim técnico da escola Politécnica da USP: **Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras**. 2008. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00505.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00505.pdf)>. Acesso em: 03 mai. 2018.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento portland. In: Isaia, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v.2, p. 905-944.

HELENE, P.R.L.; PEREIRA, F. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Red Rehabilitar, 2003 apud GROCHOSKI M.; HELENE, P. **Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras**, 2008. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00505.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00505.pdf)> Acesso em: 2 abr. 2018.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004. 670 p.

MACHADO, M. G. **Estudo experimental da ductilidade de vigas em concreto armado reforçadas à flexão utilizando compósitos com tecido de fibras de carbono**. 2004. 265 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MEHTA P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MELCONIAN, S. **Mecânica técnica e resistência dos materiais**. 19. ed. São Paulo: Érica, 2012. 377 p.

NAKAMURA, J. Reparo, Reforço e Recuperação de concreto. **Revista Técnica**, São Paulo-SP, v.146, 2 p., 2009. Mensal. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/146/artigo285462-1.aspx>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo – SP, v. 53, 6 p., 2009. Trimestral. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/revista\\_concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf)>. Acesso em: 02 abr. 2018.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 11 ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 307 p.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto**. 2004.

Disponível em:

<[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost\\_EESC\\_USP\\_Libanio.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2018.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001.

114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

RIBEIRO, C. C.; PINTO J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed.

Belo Horizonte: UFMG, 2011. 99 p.

SILVA FILHO, J. J. H. **Reforço à torção de vigas de concreto armado com compósitos de**

**fibras de carbono**. 2007. 280 p. Tese (Doutorado em Engenharia: Estruturas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, F. G. da. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos**. 2006.

236 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, M. R. **Materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1991. 268 p. apud SILVA, D. R.

da. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade**. 2006. 195 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Ciências Exatas e da Terra. 2006.

SOUZA, S. J. G. de. **Reforço de estruturas de concreto armado com sistema composto de**

**fibras de carbono**. 2014. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG, Formiga, 2014.

TAVARES, D. C. **Estruturas pré-moldadas**. 2014. Disponível em:

<[http://fait.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/8T3yuvassFETqJL\\_2014-4-22-20-17-0.pdf](http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/8T3yuvassFETqJL_2014-4-22-20-17-0.pdf)> Acesso em: 2 abr. 2018

VARELA M. **Mini Curso De Dosagem de Concreto método ABCP/ACI**. 2012. Disponível

em: <https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/materiais-de-construcao/aula-7-dosagem-do-concreto/aula-7-dosagem-do-concreto-texto> > Acesso em: 5 set. 2018.