



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO  
PERNAMBUCANO  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

**ANTONIO EVANDRO DOS SANTOS**

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DILATAÇÃO E DA RESISTÊNCIA À  
COMPRESSÃO DE CORPOS DE CONCRETO COMUM E COM ADIÇÃO DE  
FIBRA DE AÇO E TEFLON.**

**SALGUEIRO-PE**

**2020**

ANTONIO EVANDRO DOS SANTOS

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DILATAÇÃO E DA RESISTÊNCIA À  
COMPRESSÃO DE CORPOS DE CONCRETO COMUM E COM ADIÇÃO DE  
FIBRA DE AÇO E TEFLON.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Salgueiro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Samuel Bezerra Alves.  
Coorientador(es): Prof. Lucíolo Victor Magalhães e Silva / Prof. Amâncio da Cruz Filgueira Filho.

SALGUEIRO-PE

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

S237 Santos, Antonio Evandro dos.

Determinação do coeficiente de dilatação e da resistência à compressão de corpos de concreto comum e com adição de fibra de aço e teflon / Antonio Evandro dos Santos. - Salgueiro, 2020.  
66 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Samuel Bezerra Alves.  
Coorientação: Dr. Lucíolo Victor Magalhães e Silva/Prof. Amâncio da Cruz Filgueira Filho.

1. Termodinâmica. 2. Concreto. 3. Temperatura. I. Título.

CDD 536.5

---

ANTONIO EVANDRO DOS SANTOS

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DILATAÇÃO E DA RESISTÊNCIA À  
COMPRESSÃO DE CORPOS DE CONCRETO COMUM E COM ADIÇÃO DE  
FIBRA DE AÇO E TEFLON.

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Coordenação do curso de  
Licenciatura em Física do Instituto Federal  
de Educação, Ciência e Tecnologia do  
Sertão Pernambucano, campus Salgueiro,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de licenciado em Física.

Aprovado em: 30/10/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Samuel Bezerra Alves - Orientador  
IF Sertão PE – Campus Salgueiro

---

Prof. Lucíolo Victor Magalhães e Silva - Coorientador  
IF Sertão PE – Campus Salgueiro

---

Prof. Amâncio da Cruz Filgueira Filho - Coorientador  
FIS - Faculdade de integração do Sertão – Serra Talhada - PE

---

Profs. Thiago Alves de Sá Muniz Sampaio – Examinador Interno  
IF Sertão PE – Campus Salgueiro

---

Prof. Cícero Jailton de Moraes Souza – Examinador Externo  
IF Sertão PE – Campus Pesqueira

SALGUEIRO-PE

2020

**DEDICATÓRIA.**

Aos meus pais, aos meus professores e orientadores.  
Sem vocês eu não teria conseguido!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus e à minha família pelo suporte emocional e espiritual que sempre me deram.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do sertão Pernambucano, Campus Salgueiro-PE, pela oportunidade de fazer curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Samuel Bezerra Alves, pela orientação e paciência na realização deste trabalho, pelo apoio em todas as fases da pesquisa, pelas suas correções e incentivos.

Ao Coorientador Prof. Dr. Lucíolo Vitor Magalhães e Silva, pela orientação e incentivo na pesquisa.

Ao Coorientador Prof. Ms. Amancio Da Cruz Filgueira filho, pelas valiosas contribuições e incentivo durante todo tempo.

Aos alunos, bolsistas e estagiários do curso de Edificações e do ensino médio integrado de Edificações do IF SERTÃO-PE, Campus Salgueiro-Pe, que ajudaram a fazer os corpos de prova de concreto.

A FIS (Faculdade de Integração do sertão) na cidade de Serra Talhada-PE, por ceder o laboratório de Engenharia civil, para os testes de resistência a compressão.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado!

## RESUMO

Quando induzimos um corpo a variações de temperatura, ele pode apresentar mudanças em alguma de suas propriedades físicas, tais como variações em suas dimensões, condutividade, maleabilidade, etc. O concreto não é diferente, este material quando submetido a variações de temperatura sofre uma variação dimensional que pode ser retração ou dilatação. Contudo, o coeficiente de dilatação dessa substância possui valores grandes em comparação com outros materiais, geralmente da ordem de  $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , porém valores difíceis de medir com os instrumentos que estão disponíveis comercialmente para medições da ordem de grandeza da engenharia. Além disso, a noção de que danos causados a uma estrutura por um incêndio podem ser irreversíveis motiva o desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos efeitos do calor em elementos estruturais. O concreto é material mais utilizado na construção civil, em obras dos mais diversos portes, daí a necessidade de uma melhor caracterização deste, podendo evitar danos e perdas humanas por risco de colapso estrutural em uma situação de incêndio. Nesse sentido, o presente trabalho trata-se de uma caracterização térmica através da medida do coeficiente de dilatação de corpos de concreto. O objetivo deste trabalho é propor um método para medir o coeficiente de dilatação do material, e propor traços de concreto de modo que o produto final apresente-se mais resistente a variações de temperatura. Dessa forma, buscamos obter um material com maior resistência a compressão quando submetido a elevadas variações de temperatura e que em situações de incêndio diminua o risco de colapso da estrutura. Para isso, foram produzidos e aquecidos corpos de prova de concreto e analisamos os resultados obtidos devido ao aumento de temperatura desse material. O processo de produção se deu no laboratório de edificação do campus e seguiu o método de Caldas Branco (1967) já conhecido na literatura. Para o processo de aquecimento foi usado um forno elétrico confeccionado na própria instituição e usando matérias simples e de baixo custo como, zinco, resistência elétrica e lã de vidro. Medidas das dimensões físicas dos corpos produzidos foram feitas antes e depois do aquecimento com o objetivo de se verificar a dilatação dos mesmos, bem como determinar o coeficiente de dilatação do concreto e determinar, qualitativamente, as condições do material após o aquecimento. Este estudo pode contribuir para uma melhor compreensão do efeito da alta temperatura nas propriedades mecânicas do

concreto e, eventualmente, contribuir para à descoberta e a validação de técnicas que reduzam a deterioração de uma estrutura. Também é importante ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho, somados a pesquisas anteriores, podem ajudar a prever o grau de deterioração que uma estrutura ou elemento pode alcançar após um incêndio. Este aspecto é de extrema importância na recuperação ou reforços de tal estrutura ou elemento estrutural.

**Palavras-chave:** Concreto;Termodinâmica;Temperatura.

## ABSTRACT

When we induce a body to change in temperature, it can show changes in some of its physical properties, such as variations in its dimensions, conductivity, malleability, etc. Concrete is no different, this material when subjected to temperature variations undergoes a dimensional variation that can be retraction or expansion. However, the expansion coefficient of this substance has small general values when compared to other materials, usually in the order of  $10^{-5}C^{-1}$ , values difficult to measure with instruments that are commercially available for measurements of the order of magnitude of engineering. In addition, the notion that damage caused to a structure by fire can be irreversible motivates the development of research related to the effects of heat on structural elements. Concrete is the material most used in civil construction, in works of the most diverse sizes, hence the need for a better characterization of it, which can avoid damage and human losses due to the risk of structural collapse in a fire situation. In this sense, the present work is a thermal characterization through the measurement of the expansion coefficient of concrete bodies. The objective of this work is to propose a method to measure the expansion coefficient of the material, and to propose traces of concrete so that the final product is more resistant to temperature variations. Thus, we seek to obtain a material with greater resistance to compression when subjected to high temperature variations and that in fire situations reduces the risk of collapse of the structure. For this, concrete specimens were produced and heated and we analyzed the results obtained due to the increase in temperature of this material. The production process took place in the campus building laboratory and followed the method of Caldas Branco (1967) already known in the literature. For the heating process, an electric oven made at the institution and using simple, low-cost materials such as zinc, electrical resistance and glass wool was used. Measurements of the physical dimensions of the bodies produced were made before and after heating in order to verify their expansion, as well as to determine the concrete expansion coefficient and to qualitatively determine the material conditions after heating. This study can contribute to a better understanding of the effect of high temperature on the mechanical properties of concrete and, eventually, contribute to the discovery and validation of techniques that reduce the deterioration of a structure. It is also important to note that the results

obtained in this work, added to previous research, can help to predict the degree of deterioration that a structure or element can achieve after a fire. This aspect is extremely important in the recovery or reinforcement of such a structure or structural element.

Keywords: Concrete;Thermodynamics;Temperature.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1:</b> Camada de isolante térmico. ....	<b>44</b>
<b>FIGURA 2:</b> Desenho do conjunto mecânico do forno. ....	<b>45</b>
<b>FIGURA 3:</b> A. Cilindro interno e resistência. B. Cilindro externo a resistência. C. Cilindro externo (Cobertura) e tampas. ....	<b>46</b>
<b>FIGURA 4:</b> Ensaio de tronco de cone. Determinação do abatimento. ....	<b>48</b>
<b>FIGURA 5:</b> Ensaio de compressão: Lab. de Eng. Civil da FIS. ....	<b>50</b>
<b>FIGURA 6:</b> Medidas de diâmetro com paquímetro. ....	<b>51</b>
<b>FIGURA 7:</b> Medida de variação na altura com o paquímetro. ....	<b>52</b>
<b>FIGURA 8:</b> Montagem do circuito. ....	<b>80</b>
<b>FIGURA 9:</b> Grafico de tensão X corrente. ....	<b>80</b>

**LISTA DE GRÁFICOS**

<b>GRÁFICO 1:</b> Volume x Temperatura, concreto com fibra de aço.....	68
<b>GRÁFICO 2:</b> Volume x Temperatura, concreto comum .....	69
<b>GRÁFICO 3:</b> Volume x Temperatura, concreto com fibra e teflon.....	70
<b>GRÁFICO 4:</b> Resistência x Temperatura, no traço 1 .....	72
<b>GRÁFICO 5:</b> Resistência x Temperatura, no traço 2.....	73
<b>GRÁFICO 6:</b> Resistência x Temperatura, no traço 3.....	74

**LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1:</b> Valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade para diversos tipos de fibra e matrizes.....	34
<b>TABELA 2:</b> Traço em peso Kg .....	47
<b>TABELA 3:</b> Relação entre trabalhabilidade e abatimento .....	48
<b>TABELA 4:</b> Concreto com fibra de aço CP1 .....	57
<b>TABELA 5:</b> Concreto com fibras de aço CP2 .....	58
<b>TABELA 6:</b> Concreto com fibras de aço CP3.....	59
<b>TABELA 7:</b> Concreto comum. CP1 .....	60
<b>TABELA 8:</b> Concreto comum. CP2 .....	61
<b>TABELA 9:</b> Concreto comum. CP3 .....	62
<b>TABELA 10:</b> Concreto com fibras de aço e teflon CP1. ....	63
<b>TABELA 11:</b> Concreto com fibras de aço e teflon CP2. ....	64
<b>TABELA 12:</b> Concreto com fibras de aço e teflon CP3. ....	65
<b>TABELA 13:</b> Valores da resistência a compressão em cada traço.....	66
<b>TABELA 14:</b> Coeficiente de dilatação por traço.....	67
<b>TABELA 15:</b> Determinação experimental do valor da resistência usada .....	79

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>2</b>	<b>DILATAÇÃO TÉRMICA .....</b>	<b>29</b>
2.1	DILATAÇÃO LINEAR .....	30
2.2	DILATAÇÃO SUPERFICIAL .....	30
2.3	DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA.....	31
<b>3</b>	<b>CONCRETO .....</b>	<b>31</b>
3.1	COMPOSIÇÃO BÁSICA .....	31
3.2	CONCRETO COM FIBRA DE AÇO (CRF) .....	33
3.3	TRABALHABILIDADE .....	35
3.4	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	35
3.5	DURABILIDADE.....	36
3.6	DOSAGEM DO CONCRETO COM FIBRAS .....	36
3.7	APLICAÇÕES .....	37
<b>4</b>	<b>POLITETRAFLUORETILENO (PTFE) TEFLON.....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
5.1	FORNO .....	40
5.2	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	46
5.3	ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE .....	47
5.3.1	ENSAIO DE RESITÊNCIA A COMPRESSÃO .....	49
5.4	MÉTODO DE MEDIDA DO COEFICIENTE DE DILATAÇÃO.....	50
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
6.1	DILATAÇÃO TERMICA .....	53
6.2	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	65
<b>7</b>	<b>ANALISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>66</b>
7.1	COEFICIENTE DE DILATAÇÃO .....	66
7.2	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	70
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A termodinâmica é um ramo ímpar dentro da Física, sua estrutura lógica é muito distinta daquela envolvida na Mecânica Clássica, no Eletromagnetismo ou na Mecânica Quântica. Tal estrutura fica fora do paradigma Newtoniano, no qual as leis fundamentais da natureza são leis de movimento, expressas por equações diferenciais no espaço e no tempo, que definem a maneira como os sistemas físicos evoluem no espaço e no tempo. As leis da Termodinâmica têm caráter totalmente distinto, e não são leis de movimento. Sabemos que quando induzimos um corpo a variações de temperatura, tal corpo pode apresentar mudanças em suas propriedades físicas. Nos sólidos, por exemplo, quando aumentamos a temperatura sob tensões mecânicas constantes, suas dimensões lineares aumentam, conseqüentemente seu volume também aumenta, chamamos isso de dilatação térmica e ela pode ser de três tipos linear, superficial e volumétrica (CHAVES, 2007).

Qualquer material, ainda que em níveis baixos, está suscetível a sofrer dilatação devido à mudança de temperatura. Como exemplos, podemos citar a dilatação de vigas de concreto, que pode gerar esforços extras e com isso surgem forças de tração e cisalhamento, responsáveis por fissuras e trincas que comprometem o sistema estrutural como um todo, assim como lajes que geralmente tem grandes dimensões e são bastante suscetíveis aos efeitos das variações de temperatura. Nesse sentido, a dilatação é um dos efeitos mais nocivos as edificações, pois o concreto quando exposto a variações de temperaturas dilata levando a fissuras, trincas, deslocamento e outros danos maiores. Isso ocorre porque a estrutura cria uma zona de concentração de esforços e, para aliviar esses esforços formam essas aberturas. Uma das formas de se prevenir são as chamadas juntas de dilatação, espaços deixados entre as estruturas, para que quando ocorra à dilatação, a estrutura permaneça sem danos.

Pesquisas referentes à exposição de elementos de concreto a elevadas temperaturas conduzem a resultados muito variáveis, o que dificulta a generalização dos conhecimentos a respeito do assunto. Neste trabalho, analisamos um caso específico da dilatação volumétrica em concretos misturados a fibra de aço e teflon, submetidos a elevadas temperaturas. Um aspecto importante a ser observado é que os coeficientes de dilatação são de acordo com a NBR 6118/14 da ordem de  $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , isso significa que, para um aumento de temperatura de  $1^\circ\text{C}$ , uma peça de

1 metro terá um aumento de comprimento da ordem de 0,01 milímetros. Valores tão pequenos tornam impraticável a visualização da expansão térmica. Sabe-se que a composição do concreto é um dos fatores que deve ser levado em consideração, uma vez que tanto a pasta de cimento como os agregados são constituídos de componentes que se alteram e se decompõem, em maior ou menor grau, com a exposição ao calor.

Portanto, é importante conhecer o coeficiente de expansão térmica, de forma a se projetar equipamentos e acessórios considerando a dilatação provocada por altas variações de temperatura. A análise da dilatação através de medidas diretas da variação do volume e temperatura dos sistemas em questão pode ser usada para um melhor entendimento da relação estrutura/propriedade, além de avaliar a estabilidade térmica das estruturas, fornecendo neste campo, dados como o limite máximo de temperatura que a estrutura suporta.

## **2 DILATAÇÃO TÉRMICA**

Os átomos de qualquer sólido são unidos por um conjunto de forças muito intensas, de origem eletromagnética. A qualquer temperatura diferente do zero absoluto, esses átomos estão vibrando. Vamos supor que se eleve a temperatura de um sólido, como uma esfera de aço, por exemplo. Os átomos do aço começam a vibrar com amplitude cada vez maior e, conseqüentemente, a distância entre eles aumenta. Esse simples fato faz com que as dimensões do sólido se alterem e o corpo aumente de tamanho. À variação das dimensões de um corpo sob ação do calor, damos o nome de dilatação térmica. Os sólidos se dilatam em todas as direções havendo normalmente um aumento em seu volume.

“A dilatação térmica dos materiais com o aumento de temperatura deve ser levada em conta em muitas situações da vida prática. Quando uma ponte está sujeita a grandes variações de temperatura ao longo do ano, por exemplo, é dividida em trechos separados por juntas de dilatação para que o concreto possa se expandir nos dias quentes sem que a ponte se deforme” (RESNICK, 2009, Pag.189).

A mudança nas dimensões físicas de um corpo devido a variações de temperatura é chamada dilatação térmica e ela pode ser de três tipos: linear, superficial e volumétrica.

## **2.1 Dilatação linear**

Para Moyses (2002, Pag. 163) “A dilatação corresponde a um aumento do espaçamento interatômico médio. Assim, num corpo sólido, se dois de seus pontos estão inicialmente à distância  $l_0$ , a variação  $\Delta l$  dessa distância é proporcional a  $l_0$ , para uma variação de temperatura  $\Delta T$  suficientemente pequena, e também proporcional a  $\Delta T$ ”. Como exemplo podemos citar uma barra de ferro que quando sofre uma variação de temperatura ( $\Delta t$ ), suas dimensões variam linearmente com a temperatura, de acordo com a seguinte expressão.

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde ( $\Delta L$ ) é a variação do comprimento da barra, ( $L_0$ ) é o comprimento inicial da barra, ( $\Delta T$ ) a variação de temperatura a qual o corpo foi exposto e ( $\alpha$ ) é o coeficiente de dilatação linear e depende do tipo de material.

## **2.2 Dilatação superficial**

Há corpos que podem ser considerados bidimensionais, pois sua terceira dimensão é desprezível frente às outras duas, por exemplo, uma chapa. Neste caso, a expansão ocorre em duas dimensões, ou seja, na área total do corpo. Usemos como exemplo uma chapa de zinco, quando submetemos essa chapa a uma variação de temperatura, a área da chapa muda de acordo com a seguinte expressão.

$$\Delta S = S_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad (2)$$

Onde ( $\Delta S$ ) é a variação da área da superfície da chapa, ( $S_0$ ) é a área da superfície

inicial,  $(\Delta T)$  a variação de temperatura e  $(\gamma)$  é o coeficiente de dilatação superficial.

## 2.3 Dilatação Volumétrica

Os sólidos possuem três dimensões bem definidas: altura, comprimento e espessura; e, quando aquecidos, sofrem expansão nessas três dimensões o que proporciona um aumento no volume total do corpo. A dilatação ocorre de modo semelhante às dilatações linear e superficial, porém dependente do coeficiente de dilatação volumétrica o que é igual a três vezes o coeficiente de dilatação linear. Imaginemos um corpo maciço, um bloco, por exemplo, ao sofrer uma variação de temperatura esse bloco mudará suas dimensões de acordo com a seguinte expressão.

$$\Delta V = V_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \quad (3)$$

Onde  $(\Delta V)$  é a variação do volume do bloco,  $(V_0)$  seu volume inicial,  $(\Delta T)$  a variação de temperatura e  $(\beta)$  o coeficiente de dilatação volumétrica.

## 3 CONCRETO

### 3.1 Composição básica

Para Carvalho e Figueiredo filho (2014), o concreto é um material composto por água, cimento e agregados. Associando esses materiais entre si, resulta:

- **Pasta:** cimento + água;
- **Argamassa:** pasta + agregado miúdo;
- **Concreto:** argamassa + agregado graúdo;
- **Microconcreto:** concreto em que o agregado graúdo tem suas dimensões reduzidas, e
- **Concreto de alto desempenho:** considera-se, em geral, o concreto cuja resistência a compressão supera os 40 Mpa. Inicialmente, era denominado concreto de alta resistência, mas passou a ser chamado de concreto de alto desempenho por causa da melhoria de outras propriedades que,

principalmente, elevam a durabilidade das estruturas.

Por diversos fatores e características o concreto é o material estrutural mais utilizado no mundo, no entanto possui algumas limitações, tais como o comportamento frágil, resistência à tração é muito reduzida quando comparada à sua resistência à compressão, susceptibilidade do material às fissuras que podem ocorrer em seu interior e a dificuldade de interromper a propagação dessas fissuras quando é submetido a este tipo de esforço e a baixa capacidade de deformação apresentada antes da ruptura quando o material é tracionado.

O concreto é o material mais utilizado na construção civil e em geral é basicamente um composto originado da mistura de pelo menos um aglomerante, no caso o cimento e, também, água, pedra e areia, além de outros materiais eventuais, os aditivos. O cimento ao ser hidratado pela água forma uma pasta que adere aos fragmentos agregados, formando uma mistura resistente e de fácil modelagem, possuindo alta resistência a compressão, assim quando endurecida forma um bloco monolítico se adequando as exigências necessárias. Ao formar o concreto, os espaçamentos entre suas moléculas se contraem, preenchendo todos os espaços e, ficando com a distribuição granulométrica perfeita, atendendo as devidas necessidades por ser um material resistente e, também, maleável antes de seu endurecimento, tornando-se um material propício para as bases estruturais das construções.

Devido ao crescimento da construção civil o concreto vem sendo bastante utilizado, pois é um material de grande resistência, sendo capaz de suportar toda estrutura da edificação. Diante da grande variedade dos tipos deste material, ele garante uma boa eficácia e importância no meio da construção civil, podendo exercer diferentes funções dependendo da necessidade exposta. Esse material construtivo é amplamente disseminado, podendo ser encontrado em todas as casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento e até em plataformas de extração petrolífera móveis, Vasconcelos Lima et al. (2014).

Como já descrito anteriormente, toda substância quando submetida a variações de temperaturas sofre alterações em uma ou mais propriedades físicas e o concreto não é diferente, surge a necessidade de uma melhor caracterização destes materiais

principalmente no tocante deste trabalho que é uma análise da dilatação de corpos de prova de concreto para elevadas temperaturas. A finalidade é evitar acidentes e perdas humanas por risco de colapso por incêndio a exemplo do que aconteceu na Boate Kiss, tragédia que matou 242 pessoas e feriu outras 680 na cidade de Santa Maria, no estado brasileiro do Rio grande do Sul em 2013. A tragédia na boate foi considerada a segunda maior tragédia no Brasil em número de vítimas em um incêndio, superada apenas pela tragédia do Gran Circus Norte-americano, ocorrida em 1961, em Niterói, que vitimou 503 pessoas. Diante do exposto, buscamos fazer a caracterização térmica de concreto usados na construção civil, determinar o estado de estruturas para utilização após incêndios, além de propor a confecção de concretos com maior resistência a elevadas variações de temperatura e que em situações de incêndio podem diminuir o risco de colapso de uma estrutura.

### **3.2 Concreto com fibra de aço (CRF)**

O uso de fibras de aço pode funcionar como reforço do concreto minimizando as limitações descritas, uma vez que funcionam como ponte de transferência de tensão através das fissuras, sendo assim um mecanismo muito interessante de aumento da energia associada à ruptura do material e à restrição à propagação de fissuras.

Podemos definir o concreto com fibra como um compósito que é um material constituídos de, pelo menos, duas fases distintas, ou seja, um material compósito formado por partículas agregadas que são interligadas num corpo sólido por algum tipo de meio ligante, isto é, um cimento. O próprio concreto sem fibras já é um compósito cujas fases principais são a pasta, os poros e os agregados. No concreto com fibras (CRF) a própria matriz de concreto e as fibras são consideradas como fases principais, e elas podem ser produzidas a partir de diferentes materiais, como aço, vidro, polipropileno, náilon, entre outras. O material que constitui a fibra defini duas das propriedades que mais influenciam a capacidade de reforço do concreto, são elas: o módulo de elasticidade e a resistência mecânica. Fibras com módulo de elasticidade (parâmetro utilizado nos cálculos estruturais, que relaciona a tensão aplicada à deformação instantânea obtida) inferior ao do concreto endurecido, como as poliméricas, são chamadas de fibras de baixo módulo, já as que possuem módulo de elasticidade superior são conhecidas como fibras de alto módulo, como é o caso

das fibras de aço e de carbono. na Tabela 1 podemos ver valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade para diversos tipos de fibra e matrizes.

Fibras de resistência e módulo de elasticidade adequado quando adicionadas ao concreto em quantidade apropriada torna o concreto mais resistente, isso ocorre pelo fato da fibra servir como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, como a eficiência da fibra depende dessa transferência, podemos deduzir que a capacidade de reforço que as fibras apresentam depende diretamente do teor de fibra utilizado. De forma geral, quanto maior for o teor (definido a partir das necessidades de cada projeto), maior será o número de fibras atuando como ponte de transferência de tensão, o que aumenta a capacidade de reforço pós-fissuração do compósito diminuindo a velocidade de propagação das fissuras no material que passa a apresenta maior capacidade resistente após a sua fissuração descaracterizando o comportamento frágil típico do material quando tracionado, assim, será assegurada menor fissuração do concreto (FIGUEIREDO, 2000).

**TABELA 1:** Valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade para diversos tipos de fibra e matrizes.

Material	Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência a tração (GPa)	Deformação na ruptura (%)
Aço	5 - 500	7,84	190 - 210	0,5 - 2,0	0,5 - 3,5
Vidro	9 - 15	2,60	70 - 80	2 - 4	2 - 3,5
Amianto	0,02 - 0,4	2,6	160 - 200	3 - 3,5	2 - 3
Polipropileno	20 - 200	0,9	1 - 1,7	0,5 - 0,75	8,0
Kevlar	10	1,45	65 - 133	3,6	2,1 - 4,0
Carbono	9	1,9	230	2,6	1,0
Náilon	-	1,1	4,0	0,9	13 - 15
Celulose	-	1,2	10	0,3 - 0,5	-
Acrílico	18	1,18	14 - 19,5	0,4 - 1,0	3
Polietileno	-	0,95	0,3	$0,7 \times 10^{-3}$	10
Fibra de madeira	-	1,5	71	0,9	-
Sisal	10 - 50	1 - 50	-	0,8	3,0
Matriz de cimento (Para comparação)	-	2,50	10 - 45	3,7	0,02

Fonte: (BENTUR; MINDESS, 1990).

Uma das vantagens do uso de fibras como reforço no concreto é o fato delas se distribuírem de forma aleatória no material, reforçando toda a peça, e não uma

determinada posição, como ocorre com as armaduras convencionais. Por outro lado, se a peça estrutural tem esforços bem localizados, como ocorre numa viga bi apoiada, onde as tensões de tração se concentram em sua parte inferior, o uso das fibras é inviável, pois não conseguem substituir as barras de aço de maneira econômica. Isto ocorre porque as barras de aço podem ser posicionadas de forma precisa para otimizar o reforço da estrutura. Dessa forma, o uso do concreto reforçado com fibras acaba sendo interessante para estruturas contínuas, como pavimentos e revestimento de túneis, onde há possibilidade de redistribuição dos esforços que não se localizam em uma área específica da estrutura, (FIGUEIREDO, 2000).

### **3.3 *Trabalhabilidade***

Além do efeito de contenção de fissuração no concreto endurecido, a adição de fibras altera as condições de consistência e mobilidade da mistura e, conseqüentemente, a sua trabalhabilidade. Ao se adicionar fibras à mistura, produz-se uma restrição à mobilidade relativa das partículas, especialmente os agregados graúdos. Outro aspecto importante a afetar a fluidez da mistura é o seu grau de rigidez, definido principalmente, pelo módulo de elasticidade da fibra. Além da perda de fluidez, outro problema que pode surgir é o aparecimento dos chamados ouriços, bolas formadas por fibras aglomeradas. No caso da incorporação de ouriços no concreto, serão produzidos não só uma redução do teor de fibra homogeneamente distribuído, como também um ponto fraco (muito poroso) no local onde cada ouriço se alojar. As causas da formação dos ouriços estão invariavelmente associadas à dificuldade de dispersão da fibra durante a mistura do material. Se a fibra é adicionada à betoneira de maneira descuidada, lançando-se o conteúdo do saco ou da caixa de fibras de uma só vez, o risco será muitas vezes maior. Por isso, recomenda-se lançar a fibra progressivamente junto com os agregados, homogeneizando a mistura antes do lançamento do cimento.

### **3.4 *Resistência a compressão***

O objetivo da adição de fibras ao concreto não é alterar a sua resistência à

compressão. No entanto, como as fibras atuam como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, sejam elas produzidas por esforços de tração ou cisalhamento como ocorre no ensaio de compressão, o concreto também apresentará um ganho quanto à tenacidade na compressão que é basicamente a área sob a curva carga x deslocamento do corpo-de-prova, que representa o trabalho dissipado no material durante o ensaio até certo nível de deslocamento. Tal valor é utilizado na avaliação dos compósitos e possui a desvantagem básica que é depender das dimensões do corpo-de-prova, bem como do sistema de aplicação dos esforços, (FIGUEIREDO, 2000).

### **3.5 Durabilidade**

As fibras de elevado módulo de elasticidade e resistência como já foi dito anteriormente reduzem a propagação das fissuras, aumentando o número de ciclos necessários para a ruptura do material, ou seja, aumentando a sua vida útil. Para tal, as fibras devem ter pequenas dimensões de modo a bloquear a propagação da fissura na argamassa que envolve os agregados graúdos. Ou seja, o controle da ruptura de um material por esforço cíclico, deve ter uma concepção distinta da utilizada para a maximização da tenacidade, ou seja, para o aumento da energia total que o material pode absorver. Por outro lado, concretos de elevado nível de tenacidade irão propiciar uma melhor condição de controle da propagação de dano e haverá uma capacidade residual que permitirá o prolongamento das condições de utilização da estrutura. A durabilidade das fibras de aço está condicionada ao seu confinamento no meio fortemente alcalino (pH em torno de 12,5) do concreto, em que permanecerá apassivada. Assim, a corrosão das fibras na superfície do concreto está associada à perda de alcalinidade por diversos mecanismos, tais como chuva ácida, fuligem ácida, fungos, cloretos, etc. É de se esperar que a estrutura apresente um desempenho superior com relação à durabilidade com a utilização de fibras em vez da armadura contínua convencional, (FIGUEIREDO, 2000).

### **3.6 Dosagem do concreto com fibras**

As fibras, quaisquer que sejam os materiais empregados para a sua produção,

têm um papel muito importante na definição do custo do concreto, mesmo com consumos regulares, da ordem de 40 kg/m<sup>3</sup> de fibras de aço, o custo unitário do metro cúbico do concreto irá praticamente dobrar. Apesar disso, metodologias propostas para a otimização do conteúdo de fibras no concreto são raras, a prática mais comum é fixação de consumos empíricos, independentemente das características da matriz e das próprias fibras. Além disso, há recomendações genéricas como as apresentadas por Mehta e Monteiro (2008) indicando faixas de consumo muito maiores do que as praticadas nas condições de campo. Um exemplo disso é a indicação de frações volumétricas de 1% a 2% (equivalentes a aproximadamente 80 a 160 kg/m<sup>3</sup> de fibras de aço) para o reforço do concreto projetado. Tais faixas de consumo são absolutamente impraticáveis e inviáveis economicamente. Assim, a prática de fixação de consumos empíricos, sem definição de desempenho, é muito frequente, especialmente no Brasil, o que pode comprometer severamente o desempenho da estrutura em função do seu preço.

Atualmente, o que se tem proposto como metodologia de dosagem para os CRF são procedimentos experimentais que complementam aqueles já utilizados para o concreto convencional. Dessa maneira, a dosagem do CRF irá depender das condições de aplicação e, como consequência, das características exigidas para a matriz de concreto, especialmente concernentes à trabalhabilidade. Qualquer que seja o tipo de concreto, o principal aspecto a ser observado na dosagem da fibra é a correlação do consumo desta com o desempenho desejado. Ou seja, deve-se procurar correlacionar a tenacidade, qualquer que seja o método de determinação da mesma, com o consumo de fibra.

### **3.7 Aplicações**

#### *Concreto para pavimentos*

A utilização dos CRF em pavimentos é uma das principais aplicações do uso do concreto no Brasil. Isso se deve a algumas vantagens tecnológicas do uso de fibras de aço em pavimentos. A primeira vantagem é eliminar a etapa de colocação da armadura, que reduz o tempo total de execução da obra e o número de operários necessários para tal. Há também uma economia de espaço na obra, uma vez que

não é necessário estocar a armadura, as fibras não requerem o uso de espaçadores garantindo o reforço de toda a espessura de concreto do pavimento, existe uma maior facilidade de acesso na obra. Pavimentos que utilizam CRF também permitem o corte das juntas de dilatação sem a necessidade de barras de transferência pré-instaladas, além disso, as fibras reforçam as bordas das juntas minimizando o efeito de lascamento nessas regiões e não representam restrição quanto à mecanização da execução do pavimento, (FIGUEIREDO, 2000).

No entanto, nem tudo é vantagem no uso das fibras. Como toda tecnologia, o concreto reforçado com fibras possui suas limitações e até desvantagens. Se por um lado a fibra minimiza o quadro geral de fissuração do pavimento, por outro lado isto contribui para o aumento do risco de empenamento do pavimento; portanto, a observação dos cuidados relativos à cura (técnica que visa à hidratação do concreto com o objetivo de diminuir os efeitos da evaporação prematura da água na estrutura concretada e, como consequência, o surgimento de fissuras e trincas) é fundamental, mesmo após a realização do correto acabamento superficial do pavimento, algumas fibras ficam na superfície do concreto, essas estarão particularmente susceptíveis à corrosão, o que provocará o aparecimento de certo número de pontos de ferrugem, prejudicando o aspecto estético do pavimento, além disso, se houver algum problema que requeira a demolição do pavimento, a exigência de energia para isso será muitas vezes maior.

### *Aplicações futuras*

Além das estruturas contínuas, como pavimentos e revestimentos de túneis, e os pré-moldados, existem outras aplicações onde as fibras podem ser empregadas com maior intensidade no futuro, é o caso das estruturas construídas em regiões sujeitas a abalos sísmicos, onde é interessante a utilização de concretos reforçados com fibras para se minimizar os danos, outra possibilidade interessante é a utilização de fibras poliméricas em conjunto com fibras de aço para o reforço de componentes e estruturas que estarão sujeitas a elevados esforços e à possibilidade de ocorrência de incêndios. Com isto, seria possível obter um reforço adequado da estrutura em conjunto com a proteção passiva em relação às altas temperaturas e, além disso, uma maior facilidade para a produção dos componentes pois haveria

apenas um sistema de alimentação da fibra para a mistura do concreto, (FIGUEIREDO, 2000).

#### **4 Politetrafluoretileno (PTFE) teflon**

O Teflon é um polímero semicristalino que foi descoberto em 1938 por Roy J. Plunkett, químico estadunidense, enquanto manipulava o gás tetrafluoreto de eteno, foi inicialmente aplicado na indústria bélica durante a 2ª Guerra Mundial na década de 1940 e ganhou importância na indústria civil após 1954, quando o engenheiro Francês Marc Gregoire descobriu o processo para aderência desse material ao alumínio e criou a panela antiaderente; já em 1969, Robert Gore conseguiu expandi-lo formando uma membrana microporosa impermeável utilizada na confecção de roupas impermeáveis. Possui uma enorme estabilidade térmica podendo ser encontrado em pós para moldagens por compressão ou extrusão, para lubrificações e dispersões aquosas. Tem excelente resistência química em virtude da força de ligação dos átomos de flúor e do carbono que lhe confere uma proteção quase que total. O Teflon é utilizado em uma infinidade de produtos que vão de revestimentos anticorrosão, placas e chapas antiadesivas, fitas, películas, isolantes para cabos coaxiais, placas, juntas industriais, materiais de vedação, entre outros. O Politetrafluoretileno (PTFE) oferece uma excelente combinação de propriedades químicas, elétrica, mecânica e térmica. Resiste à agentes corrosivos, e é quimicamente inerte. Poucos são os produtos capazes de alterar sua estrutura, nada adere a sua superfície, mas, sendo necessário, com um tratamento superficial, pode se tornar aderente a qualquer outro material. É atóxico, resistente à temperaturas variadas de -230°C a 315° e é um excelente isolante elétrico. A pulverização líquida ou a pó é o processo mais conhecido de revestimento de metais com Teflon, que é feito por sinterização em alta temperatura (cerca de 400°C) formando uma fina camada sobre o metal que vai de 12 a 500 miligramas dependendo das exigências requeridas pelo material a ser revestido (BRITTO; EVANGELISTA, 2015).

O Teflon é largamente utilizado nas indústrias química, aérea, aeroespacial, de transporte e movimentação de cargas, de tecnologia nuclear e de vácuo, de instrumentação, alimentícia, eletroeletrônica, automotiva e em outras ramificações da indústria para revestimentos de tanque, corpo de bombas, pistões, sondas, peças de deslize, conectores, sede de válvulas, vedações, chapa de filtro, anéis de

vedação, assento de válvulas, selos mecânicos, retentores, diafragmas, tensores de corrente, isoladores, parafusos, arruelas, tecnologia laser, filtros para tratamento de água, películas antiderrapantes e inúmeros outros produtos. Comparado com outros materiais, o Teflon pode ser considerado como pouco conhecido e pouco utilizado em processos industriais. O aumento da vida útil das máquinas, peças e equipamentos revestidos são algumas das vantagens do uso desta tecnologia que compensam os investimentos aplicados, (BRITTO; EVANGELISTA, 2015).

## **5 METODOLOGIA**

Substâncias quando submetidas a variações de temperaturas apresentam variações em algumas de suas propriedades. O concreto, em particular, sofre variação de volume para pequenas variações de temperatura e cisalhamento para variações de temperatura atingidas em condições de incêndio. Diante dessa afirmação e para sua verificação, nos propomos nesse trabalho medir o coeficiente de dilatação do concreto, a aquecer corpos de prova (CPs) de concreto a elevadas variações de temperatura da ordem das obtidas em situações de incêndio, analisar o estado físico do concreto após a situação descrita bem como medir a resistência desses corpos comparando com situações normais.

Para que seja possível a análise térmica nos CPs, precisamos que os mesmos sejam aquecidos a temperaturas determinadas, para isso se fez necessário uso de um aparato experimental (Forno), de fabricação própria, construído a partir de materiais simples e de fácil obtenção, visando apenas às demandas da pesquisa.

### **5.1 FORNO**

Nessa seção são apresentadas, de forma detalhada, todas as etapas necessárias para a construção do forno, desde a definição e determinação dos materiais até os processos de fabricação.

Na fase conceitual, o produto é pensado funcionalmente e descrito de uma forma abstrata, independente de princípios físicos; todas as informações iniciais da fase precedente, tais como as medidas do corpo de prova que seria aquecido no forno, o diâmetro e a altura, foram transformadas em especificações. Em seguida,

detalhamos o projeto que consistiu na determinação dos componentes do produto e suas especificações, na otimização da forma geométrica dos componentes visando reduzir custos de fabricação, na definição das tolerâncias e no planejamento do processo de fabricação, onde são definidos o escopo do projeto, a viabilidade econômica, os recursos humanos, os prazos de realização e os riscos envolvidos. Os materiais utilizados foram selecionados conforme suas características, custos e disponibilidade. Para compor a carcaça do forno, o material escolhido foi o zinco, por ter boa resistência mecânica e à corrosão, além de apresentar boa condutividade térmica, ele também possui um alto coeficiente de dilatação. Usamos como fonte de calor, uma resistência elétrica e para isolamento térmico, lã de vidro, que serão especificados a seguir.

- ***Materiais usados***

O forno para aquecimento dos corpos de prova foi pensado analisando as dimensões dos corpos a serem aquecidos e na temperatura que se deseja alcançar no aquecimento. Além disso, foram levados em conta os requisitos e as restrições do projeto. Neste caso, elas foram estabelecidas em conjunto com o orientador, tendo base nas necessidades e nas limitações de utilização do forno e do projeto, conforme a lista a seguir:

- ✓ Deve apresentar baixo custo de fabricação,
- ✓ Deve ter um dispositivo para ajuste de temperatura,
- ✓ Deve ser de fácil operação,
- ✓ Deve garantir a segurança dos operadores.

Diante disso, os materiais usados foram:

*Folha de zinco*

Para compor a carcaça do forno, o material escolhido foi o zinco, por apresentar resistência mecânica e à corrosão suficientes para a demanda do projeto, além de apresentar boa condutividade térmica.

- O Zinco (Zn) é um metal encontrado em abundância e tem inúmeros usos

industriais e biológicos. Como principais propriedades físicas podemos citar:

*Resistência:* o zinco é um metal fraco com uma resistência à tração inferior a metade da do aço carbono leve. Não é geralmente usado em aplicações de suporte de carga, embora peças mecânicas baratas possam ser fundidas com o material. O zinco puro tem baixa resistência e é geralmente quebradiço, mas as ligas de zinco têm, geralmente, alta resistência ao impacto em comparação com outras ligas de fundição.

*Dureza:* entre 100 e 150°C, o zinco torna-se maleável, mas a temperaturas elevadas regressa a um estado quebradiço. Mais uma vez, ligas de zinco melhoram significativamente esta propriedade sobre o metal puro, permitindo que métodos de fabricação mais complexos sejam usados e apesar de ter um coeficiente de dilatação alto isso não interfere nas medições.

*Condutividade:* A condutividade do zinco é moderada para um metal. As suas propriedades eletroquímicas fortes, no entanto, servem bem no processo de galvanização e pilhas alcalinas.

- *Resistência de churrasqueira elétrica*

Como fonte de calor, usamos um resistor retirado de uma churrasqueira elétrica convencional largamente vendida ao público em geral e que usa o efeito Joule para conversão de energia elétrica em calor. Resistência elétrica é basicamente a capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de uma corrente elétrica mesmo quando existe uma diferença de potencial aplicada. Quando uma corrente elétrica é estabelecida em um condutor, um número muito elevado de elétrons livres passa a se deslocar nesse condutor, nesse movimento, os elétrons interagem entre si e também contra os átomos que constituem o metal. Portanto, os elétrons encontram uma certa dificuldade para se deslocar, isto é, existe uma resistência à passagem da corrente no condutor isso faz com que ele aqueça. Esse fenômeno é chamado efeito Joule, deve-se as interações interatômicas dos elétrons com a rede cristalina de um condutor, em decorrência dessas interações, a energia cinética média de oscilação de todos os átomos aumenta. Isso se manifesta como

um aumento da temperatura do condutor (Jaime E. Villate 2013).

Foram realizados teste para verificar o valor da resistência usada, através de medidas de corrente (i) em um amperímetro ligado em serie com a resistência, e medidas tensão (V) em um voltímetro ligado em paralelo ao sistema em um circuito RC e foi encontrado o seguinte valor 24,25 $\Omega$ . Ver anexo A.

- *Lã de vidro*

Lã de vidro é um material isolante feito de fibra de vidro, disposto de maneira a apresentar uma textura similar à lã, é produzida a uma temperatura de 1450°C com mistura de areia, aditivos e vidro reciclado pode ser feito em rolos, tubos ou em placas, com diferentes propriedades térmicas, acústica e mecânicas. Possui aplicação na construção civil, indústria, e outros, devido ao seu elevado desempenho térmico e sua propriedade de incombustibilidade, é uma fibra mineral fabricada com milhões de filamentos de vidro com um aglutinante. O espaço livre com ar entre as fibras aumenta a resistência à transmissão de calor e desempenho acústico.

Para fazer o isolamento térmico do forno o material usado foi a lã de vidro (140cm de comprimento, 50cm de largura e 3cm de espessura) por diversas características que atendem à demanda do projeto, por exemplo: não propaga chamas aumentando a segurança e a proteção contra incêndio em um ambiente, tem alta capacidade de isolamento térmico, ou seja baixa incidência de trocas térmicas com o meio externo que é uma característica desejável para qualquer forno, fácil aplicação em revestimento de equipamentos industriais e constitui uma solução barata e resistente para as linhas de produção. Depois de feita a seleção preliminar dos materiais iniciou-se a preparação para produção, dimensionamento dos componentes do forno e elaboração do desenho do conjunto, na FIGURA 1 a seguir temos a camada de isolamento térmico feita com lã de vidro no forno.



**FIGURA 1:** Camada de isolante térmico.

O isolamento térmico do forno é fundamental por dois motivos principais: promover a diminuição das perdas de calor e reduzir a temperatura da camada externa do forno. O primeiro motivo torna o forno mais eficiente, já o segundo motivo garante a segurança, tanto daqueles que entram em contato intencional com o equipamento, quanto daqueles que, acidentalmente, venham a tocá-lo

- **Confecção e funcionamento do forno**

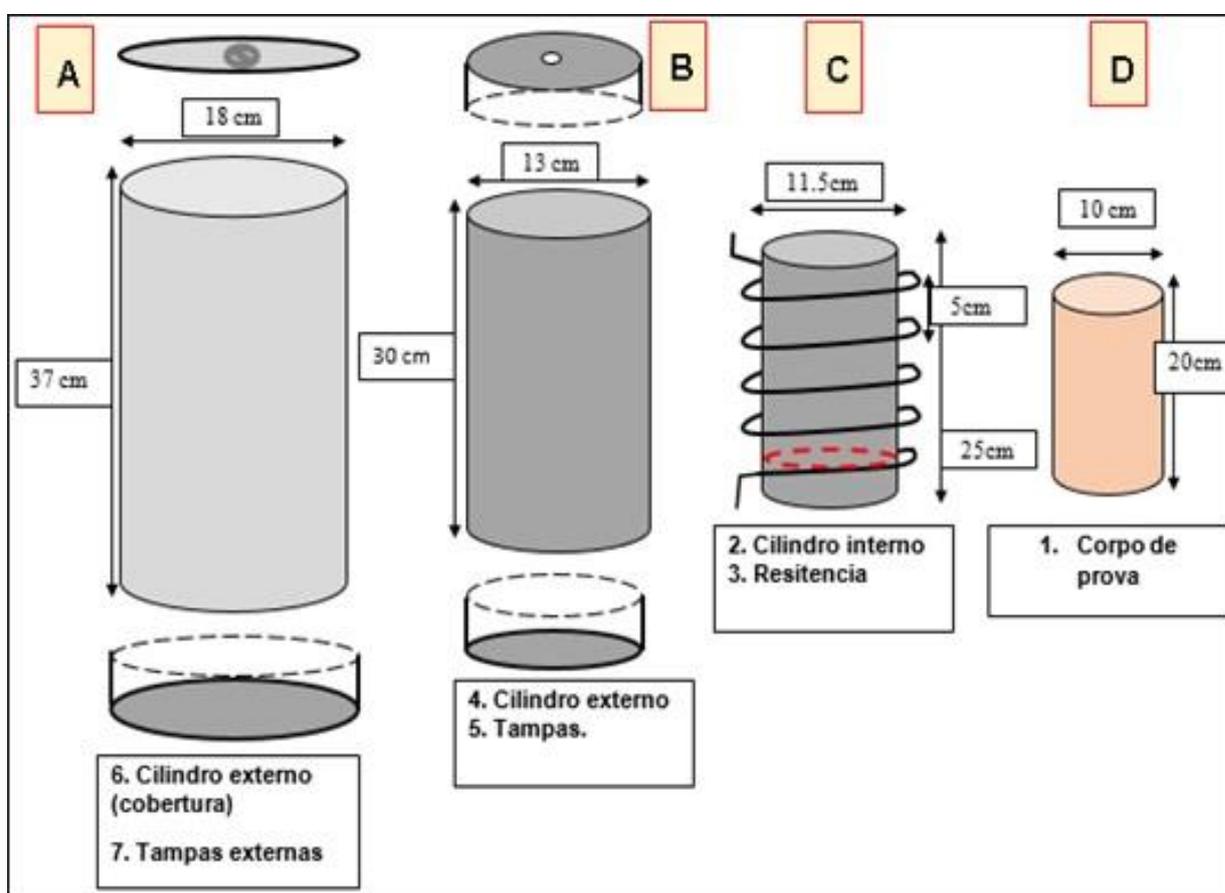
Para construção do forno, foram confeccionados três cilindros de zinco: um interno/menor cujas dimensões são de 11,5 cm de diâmetro por 25 cm de altura e que reveste o corpo de prova evitando o contato direto da resistência com o concreto. O cilindro interno foi envolvido pela resistência elétrica que foi moldada sob forma de uma espiral FIGURA 2 (C). O segundo cilindro FIGURA 2 (B) (13 cm x 30 cm) que, por sua vez, envolve a resistência de modo que ela fique entre esses dois cilindros. O terceiro cilindro FIGURA 2 (A) (18 cm x 37 cm) que funciona como a cobertura parte externa da carcaça e que contém a lã de vidro e os outros dois cilindros.

Uma fonte de alimentação (rede elétrica convencional) envia uma corrente

alternada através da resistência elétrica que esquenta por efeito Joule e transfere calor para o cilindro interno que, por sua vez, aquece o corpo de prova de maneira uniforme e sem que haja qualquer contato físico entre o corpo e a resistência.

Inicialmente, os sistemas do forno foram divididos em sete como pode ser visto na FIGURA 2, após o dimensionamento das peças foi possível elaborar o esquema do conjunto mecânico do forno.

O dimensionamento mecânico do forno é feito através desse sistema da FIGURA 2, começando pelo número um e terminando no número sete. Por esses sistemas estarem interligados, as suas dimensões e seleção de materiais são dependentes umas das outras. A ordem do dimensionamento dos sistemas foi definida a partir das dimensões do corpo de prova (10 cm de diâmetro por 20 cm de altura), pois é a partir das suas medidas que os outros componentes são dimensionados. A continuação desta ordem foi definida em função da relação de dependência entre elas, ou seja, normalmente, as dimensões de um sistema são baseadas no sistema anterior.



**FIGURA 2:** Desenho do conjunto mecânico do forno.

O forno é composto por todos os componentes vistos anteriormente na FIGURA 2, as principais partes do forno são 2. Cilindro interno, 3. Resistência, 4. Cilindro externo, 5. Tampas, 6. Cilindro externo (cobertura), 7. Tampas externas, vistas nas FIGURAS 3 A, B e C a seguir. As partes número 2, 4 e 6 são de zinco, além da superfície 4 é colocada três camadas de lã de vidro de aproximadamente 3cm de espessura cada uma, para o isolamento térmico, as partes 5 e 7 são constituídas de quatro tampas de alumínio (três fundos de panelas recortadas e uma tampa), onde também foi colocado lã de vidro, garantindo assim um melhor isolamento do forno.



**FIGURA 3:** A. Cilindro interno e resistência. B. Cilindro externo a resistência. C. Cilindro externo (Cobertura) e tampas.

## **5.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA**

O traço usado na pesquisa foi baseado no traço 1 do trabalho de CALDAS BRANCO (1967), incluindo as proporções em peso de cada agregado, descrito na TABELA 2. Foi adicionado o aditivo ao traço, pois na época não era utilizado produtos químicos no concreto.

TABELA 2: Traço em peso Kg

Traço 1 (Fibra)		Traço 2 (Comum)		Traço 3 (Fibra e Teflon)	
<b>Cimento</b>	5,645 Kg	<b>Cimento</b>	5,81 Kg	<b>Cimento</b>	5,81 Kg
<b>Areia</b>	6,11 Kg	<b>Areia</b>	6,28 Kg	<b>Areia</b>	6,26 Kg
<b>Brita</b>	11,08 Kg	<b>Brita</b>	11,39 Kg	<b>Brita grossa</b>	5,695 Kg
<b>Água</b>	2,49 Kg	<b>Água</b>	2,56 Kg	<b>Brita média</b>	2,8475 Kg
<b>Fibra</b>	0,86 Kg	<b>Slamp</b>	3 cm	<b>Brita fina</b>	3,8475 Kg
<b>Plastificante</b>	0,08 Kg			<b>Água</b>	2,56 Kg
<b>Slamp</b>	11 Cm			<b>Fibra</b>	0,89 Kg
				<b>Teflon</b>	0,250 Kg
				<b>Plastificante</b>	0,03 Kg
				<b>Slamp</b>	3 cm

Fonte: Elaborado pelo autor.

A mistura foi feita numa betoneira- MB-150 P da Motomil de eixo inclinado; primeiro foi colocada parte da brita com 1/3 da água, e misturado por 30s, em seguida por mais 30s com o cimento, a areia e o restante da brita foram adicionadas aos poucos, sendo o concreto misturado por cinco minutos ao todo. O aditivo era misturado a 5 ml da água da mistura e colocado aos poucos no concreto conforme observado a fluidez do mesmo, para obter uma boa consistência, e visando obedecer as relações a/c máximas indicadas na NBR 6118/14, na proporção de 1,4% sobre a quantidade de cimento no traço 1 e 0,5% no traço 3, e no traço 2 não foi necessário o uso do plastificante. Obtivemos um concreto com abatimento de 11 cm no Traço 1, abatimento de 3 cm no Traço 2 e 3 cm no Traço 3. A massa específica do aditivo é de 1,19 kg/dm<sup>3</sup>.

### 5.3 ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

Este ensaio mede a consistência e a fluidez do material, permitindo que se controle a uniformidade do concreto. A principal função deste ensaio é fornecer uma metodologia simples e convincente para se controlar a uniformidade da produção do concreto. Basicamente consiste no preenchimento de um tronco de cone em três camadas de igual altura, sendo em cada camada dados 25 golpes com uma haste de metal padrão. O valor do abatimento é a medida do adensamento do concreto logo após a retirada do molde cônico, como mostra a FIGURA 4.



**FIGURA 4:** Ensaio de tronco de cone. Determinação do abatimento.

Misturas com consistência ruim têm abatimento zero, de modo que não se consegue nestes casos uma boa trabalhabilidade do material. Já misturas como as utilizadas nos concretos para a construção civil, podem ser obtidas com este ensaio. Neville (1997) indica correlações entre o ensaio de abatimento e trabalhabilidade, conforme mostra a TABELA 3.

**TABELA 3:** Relação entre trabalhabilidade e abatimento

<b>Trabalhabilidade</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 a 10
Baixa	15 a 30
Média	45 a 75
Alta	80 a 155
Muito alta	160 ao desmoronamento

**Fonte:** Neville (1997)

Feita a mistura do concreto e o abatimento por tronco de cone para observar a consistência do mesmo; em seguida o concreto foi colocado nas formas de 10cm de diâmetro por 20cm de altura. Antes de proceder à moldagem dos corpos de prova, os moldes e suas bases foram previamente limpos e revestidos internamente com uma fina camada de desmoldante (Desmol CD, Vedacit impermeabilizantes) que é um produto utilizado para facilitar a retirada do CP da forma, em seguida adensados em mesa vibratória. Após 24 horas eram desmoldados e submersos em água por 28 dias respeitando o tempo de cura do concreto, técnica que visa à hidratação do concreto com o objetivo de diminuir os efeitos da evaporação prematura da água na estrutura concretada e como consequência, o surgimento de fissuras e trincas. Vale ressaltar que é por meio dessa hidratação que acontece a reação química que forma os silicatos de cálcio hidratados. Basicamente, são alguns dos responsáveis pelas propriedades físicas e mecânicas do concreto em estado endurecido. Respeitado esse tempo de 28 dias foi feita a regularização das superfícies de topo dos CPs com uma lixa de parede.

### **5.3.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO**

Ao total foram feitos dezoito corpos de prova (CPs) para os ensaios de temperatura e resistência a compressão na idade de 28 dias, cada traço tem 6 CPs. De cada traço três CPs foram aquecidos e depois rompidos e três passaram apenas pelo ensaio de compressão. Logo temos nove corpos de prova submetidos ao ensaio a altas temperatura e depois ao ensaio de compressão e temos nove corpos de prova que passaram apenas pelo ensaio de compressão, com isso podemos analisar os efeitos de altas temperaturas na resistência do concreto e compara-los com o concreto em condições normais. A FIGURA 5 mostra o ensaio de compressão realizado no laboratório de materiais de construção da FIS (Faculdade de Integração do Sertão) localizada na cidade de Serra Talhada-PE.



**FIGURA 5:** Ensaios de compressão: Lab. de Eng. Civil da FIS.

A aparelhagem necessária para execução do ensaio de compressão é uma máquina de compressão manual, FIGURA 5. Os corpos de prova foram posicionados de forma que seu eixo coincida com o da máquina, de modo que a resultante das forças passe pelo centro. As faces dos pratos de carga e dos CPs foram limpas antes do CP ser colocado na posição de ensaio. Após isso foi feito o ajuste da distância entre os pratos de compressão que visa facilitar a o alinhamento do CP entre os pratos, além de fixar o CP na máquina. A carga foi aplicada continuamente sem impacto, até que o CP rompesse, anotamos o valor da carga aplicada que foi dado em tonelada força (tl) pela máquina e convertemos para obter a resistência em MPa (mega pascal), os valores estão descritos na TABELA 13 na seção 6.2.

#### **5.4 Método de medida do coeficiente de dilatação**

O método de medida para determinação do coeficiente de dilatação consiste da medida direta das dimensões dos corpos de prova para dois valores de temperatura do mesmo. Para medida das dimensões dos CPs foram usados dois paquímetros com precisão de 0,002 mm e para determinação das temperaturas um termômetro a laser.

De cada um dos três traços foram selecionados três CPs, totalizando nove, que seriam aquecidos. Em seguida, os corpos de prova foram lixados para corrigir imperfeições provenientes do processo de moldagem e deixá-los o mais uniforme possível. Após o processo de polimento foram feitas quatro marcações cruzadas com marcador permanente na superfície superior e inferior de cada um dos CPs, essas linhas foram tomadas como referência para as medidas de diâmetro (FIGURA 6) garantindo maior precisão nas medições. As medidas foram feitas inicialmente em temperatura ambiente, em torno de 35°C no laboratório de Física, e em temperaturas elevadas, entre 300 e 400°C. Para o aquecimento, os CPs eram colocados no forno e deixados lá por uma hora e quarenta minutos (1h40min). O tempo de 1h40min servia para garantir o equilíbrio térmico entre o corpo e o forno, além de um aquecimento uniforme de todo o CP, esse foi estimado a partir de testes realizados com o forno. Após esse período, os corpos de concreto eram retirados e submetidos a novas medidas de diâmetro e altura, tomando as mesmas marcações como referência para as medidas conforme mostra a FIGURA 6.



**FIGURA 6:** Medidas de diâmetro com paquímetro.

O comprimento/altura dos corpos de prova de concreto era maior que a capacidade de medida do próprio instrumento (paquímetro). Logo, para medir a altura dos CPs, foi necessário definir um referencial externo. Para isso, foi feito uso de um tripé com uma haste de metal de altura fixa e previamente definida, FIGURA

7. Dessa forma, podemos medir as variações do comprimento dos CPs. As variações eram medidas da seguinte forma: os corpos de prova a temperatura ambiente eram colocados abaixo da haste de metal. Em seguida, usando o paquímetro, fizemos uma medida da distância do centro dos CPs até a posição da haste de metal e anotamos o valor. Após a realização da medida, o CP era colocado no forno para ser aquecido. Quando aquecido, o CP era colocado na mesma posição e novamente era realizada a medida descrita anteriormente. Com os dois valores em mãos foi possível estimar a variação da altura do CP e utilizar os resultados da dilatação de todos os corpos para determinar o coeficiente de dilatação volumétrica dos CPs.



**FIGURA 7:** Medida de variação na altura com o paquímetro.

O cálculo do coeficiente de dilatação segue esta ordem: para um CP, calculamos a média do diâmetro medido com P1 em temperatura ambiente e com esse valor obtemos o volume inicial do CP, pela equação 8 da seção 6.1. Após isso com os novos diâmetros do CP depois de exposto a elevadas temperaturas,

novamente fizemos a média dos diâmetros e calculamos o volume final pela Equação 10 da seção 6.1, levando em consideração também a variação no comprimento do CP. Com o volume inicial e o volume final do CP calculamos a variação de volume pela equação 12 da seção 6.1, e por fim calculamos o coeficiente de dilatação pela equação 6 da seção 6.1.

## 6 RESULTADOS

Nessa seção apresentaremos os resultados obtidos para a dilatação das dimensões dos corpos de concreto descritas, bem como a determinação do coeficiente de dilatação volumétrico do concreto e o resultado qualitativo de condenação do material quando submetido a elevadas variações de temperatura. Mostraremos também os resultados obtidos para a resistência a compressão para corpos aquecidos e não aquecidos.

### 6.1 DILATAÇÃO TERMICA

Como vimos ao expor os CPs a altas temperaturas eles sofrem dilatação volumétrica, que deve estar de acordo com a seguinte relação:

$$\Delta V = V_i \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad [4]$$

Onde  $\Delta V$  é a variação de volume,  $V_i$  é o volume inicial,  $\gamma$  é o coeficiente de dilatação volumétrico e  $\Delta T$  é a variação de temperatura. Na Equação (4) isolamos o coeficiente de dilatação volumétrico ( $\gamma$ ),

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_i \cdot \Delta T} \quad [5]$$

Como usamos dois paquímetros para medir as dilatações, afim de obter medidas mais confiáveis, teremos então dois coeficientes de dilatação o primeiro ( $\gamma_1$ ) coeficiente de dilatação referente as medidas feitas com o paquímetro 1 (P1).  $\Delta V_1$  é a variação de volume obtida apartir das medidas do paquímetro 1 (P1).  $V_{i1}$  é o volume inicial devido ao (P1).

$$\gamma_1 = \frac{\Delta V_1}{V_{i1} \cdot \Delta T} \quad [6]$$

O segundo coeficiente de dilatação ( $\gamma_2$ ) refere-se às medidas feitas com o Paquímetro 2 (P2),

$$\gamma_2 = \frac{\Delta V_2}{V_{i2} \cdot \Delta T} \quad [7]$$

$\Delta V_2$  variação de volume devido ao paquímetro 2 (P2) e  $V_{i2}$  (Volume inicial devido ao paquímetro 2) refere-se ao volume inicial dos CPs medidos com o paquímetro 2. O volume pode ser calculado pela seguinte relação, assumindo que os corpos de prova sejam aproximadamente cilíndricos:

$$V_{i1} = \pi \cdot R_{i1}^2 \cdot h_i \quad [8]$$

$V_{i1}$  é o volume inicial a partir de P1, o  $R_{i1}^2$  é raio do corpo de prova devido a P1,  $h_i$  é a altura inicial dos CPs.

Para  $V_{i2}$  (Volume inicial devido ao paquímetro 2), temos:

$$V_{i2} = \pi \cdot R_{i2}^2 \cdot h_i \quad [9]$$

Analogamente para o volume final dos CPs, temos  $V_{f1}$  (Volume final devido ao paquímetro 1). Com as medidas de profundidade (distância entre a haste de metal e face do corpo de prova), conseguimos determinar de maneira indireta a altura dos CPs e sua dilatação. Nesse caso, a altura final dos CPs é dada por ( $h_{f1} = h_i + \Delta L_1$ ), logo temos:

$$V_{f1} = \pi \cdot R_{f1}^2 \cdot (h_i + \Delta L_1) \quad [10]$$

Onde  $V_{f1}$  Volume final devido ao paquímetro 1,  $R_{f1}^2$  é o raio final devido a P1 e  $\Delta L_1$  é a dilatação na altura dos CPs devido a P1.

Para  $V_{f2}$  (Volume final devido ao Paquímetro 2), temos:

$$V_{f2} = \pi \cdot R_{f2}^2 \cdot (h_i + \Delta L_2) \quad [11]$$

Onde  $R_{f2}$  raio final devido a P2 e  $\Delta L_2$  variação na altura devido a P2.

Agora podemos calcular a variação de volume dos CPs ( $\Delta V$ ), pela seguinte relação, e novamente teremos dois valores, o primeiro referindo-se as medidas com o paquímetro 1:

$$\Delta V_1 = V_{f1} - V_{i1} \quad [12]$$

O segundo ( $\Delta V$ ), referindo-se as medidas das feitas com o paquímetro 2:

$$\Delta V_2 = V_{f2} - V_{i2} \quad [13]$$

Para calcular a variação de temperatura, usamos:

$$\Delta T = T_f - T_i \quad [14]$$

Tendo calculado todos esses valores para todos os CPs submetidos a variações de temperatura, substituímos as Eq. [12], [8] e [14] na Eq. [6], para obter o coeficiente de dilatação medido a partir do Paquímetro 1. Substituímos as Eq. [13], [9] e [14] na Eq. [7], para obter o coeficiente de dilatação medido a partir do Paquímetro 2.

Nas TABELAS a seguir, apresentamos os valores das medidas feitas nos CPs submetidos a variações de temperatura. As medidas foram feitas usando dois paquímetros (P1 e P2) para obter maior precisão nas medidas. As TABELAS possuem 4 colunas com resultados: **a primeira coluna** apresenta medidas dos diâmetros das duas faces do corpo de concreto a **temperatura ambiente** (as quatro primeiras medidas são sempre da face superior e as 4 seguintes da face inferior); **a segunda coluna** apresenta as mesmas medidas da coluna 1, mas usando outro paquímetro; **a terceira coluna** apresenta medidas dos diâmetros D1, D2, D3 e D4

de ambas as faces do corpo de concreto **quando aquecido**; a **quarta coluna** apresenta as mesmas medidas da coluna 3, agora usando outro paquímetro (o mesmo usado nas medidas da coluna 2). As Colunas 1 e 3 se referem a medidas do Paquímetro 1 (P1) e as Colunas 2 e 4 ao Paquímetro 2 (P2).

Além disso, como descrito na Seção 5.4, FIGURA 6, as superfícies de todos os CPs receberam quatro marcações cruzadas que servem como referência para as medidas de diâmetro dos CPs, os valores medidos em cada um dos quatro pontos estão descritos nas tabelas. As linhas D1, D2, D3 e D4 referem-se às medidas feitas na parte superior do CP definida como face 1; as linhas D5, D6, D7 e D8 referem-se as medidas de diâmetro da superfície inferior do CP definida como face 2. Para as medias acima, consideramos que a variação do tamanho dos próprios instrumentos de medida (P1 ao P2) muito desprezíveis em relação às variações das dimensões dos corpos de concreto.

Cada tabela apresenta os resultados para um corpo de prova. As TABELAS 4, 5 e 6 mostram os resultados para corpos de prova com fibras de aço (traço 1). Nas últimas quatro linhas de cada tabela consta: a **altura inicial ( $L_0$ )** de cada CP, a **altura L que é a distância entre o corpo de prova e o referencial externo** de cada CP medida com dois paquímetros antes e depois do aquecimento conforme descrito na Seção 5.4 FIGURA 7. Em seguida a **variação na altura L** que descreve o aumento observado na altura do CP com cada paquímetro, logo  $\Delta L1$  refere-se à dilatação medida com o P1 e  $\Delta L2$  a dilatação com P2 conforme seção 5.4 Figura 7. Na ultima linha de cada tabela está a **carga de ruptura** e a **resistência** do respectivo CP ao qual a tabela se refere, obtido a partir de ensaios de resistência a compressão conforme descrito na Seção 5.3.1 e mostrado na FIGURA 5.

TABELA 4: Concreto com fibra de aço CP1

<b>CP1 - F, FACE 1</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP1 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP1 em Tf =350</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D1</b>	10,020	10,018	10,034	10,034
<b>D2</b>	9,992	9,988	10,016	10,020
<b>D3</b>	9,996	9,990	10,026	10,016
<b>D4</b>	10,010	10,018	10,044	10,038
<b>Média</b>	10,0045	10,0035	10,03	10,027

<b>CP1 - F, FACE 2</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP1 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP1 em Tf=350°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D5</b>	10,062	10,058	10,074	10,070
<b>D6</b>	9,998	10,008	10,026	10,020
<b>D7</b>	10,074	10,076	10,120	10,140
<b>D8</b>	10,130	10,124	10,140	10,134
<b>Média</b>	10,066	10,0665	10,09	10,091

<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	18 cm			
<b>Altura L</b>	4,268	4,276	4,190	4,200
<b>Varição na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,078 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,076 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	<b>29,75 tl ou 37,16 MPa</b>			

Fonte: Elaboração do autor.

TABELA 5: Concreto com fibras de aço CP2

<b>CP2 - F, FACE 1</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP2 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP2 em Tf=400°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D1</b>	9,994	9,990	10,048	10,050
<b>D2</b>	9,962	9,962	9,988	10,020
<b>D3</b>	9,982	9,978	9,998	10,000
<b>D4</b>	9,972	9,960	9,986	9,978
<b>Média</b>	9,9775	9,9725	10,005	10,012

<b>CP2 - F, FACE 2</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP2 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP2 em Tf = 400°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup>(cm)</b>
<b>D5</b>	10,104	10,100	10,105	10,105
<b>D6</b>	9,990	9,992	10,030	10,030
<b>D7</b>	9,932	9,924	9,982	9,978
<b>D8</b>	10,128	10,116	10,180	10,158
<b>Média</b>	10,0385	10,033	10,07425	10,06775

<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	17,6 cm			
<b>Altura L</b>	6,814	6,824	6,772	6,764
<b>Varição na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,042 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,06 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	<b>35,06 tI ou 43,79 MPa</b>			

Fonte: Elaboração do autor.

TABELA 6: Concreto com fibras de aço CP3

<b>CP3 - F, FACE 1</b>				
<b>Paquímetro</b>	<b>Diamet. CP3 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP3 em Tf = 390°C</b>	
	<b>P1 (cm)</b>	<b>P2 (cm)</b>	<b>P1 (cm)</b>	<b>P2 (cm)</b>
<b>D1</b>	10,036	10,038	10,038	10,038
<b>D2</b>	10,044	10,040	10,056	10,040
<b>D3</b>	9,918	9,920	9,938	9,940
<b>D4</b>	9,952	9,946	9,982	9,958
<b>Média</b>	9,9875	9,986	10,0035	9,994

<b>CP3 - F, FACE 2</b>				
<b>Paquímetro</b>	<b>Diamet. CP3 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP3 em Tf= 390°C</b>	
	<b>P1 (cm)</b>	<b>P2 (cm)</b>	<b>P1 (cm)</b>	<b>P2 (cm)</b>
<b>D5</b>	10,008	9,998	10,042	10,042
<b>D6</b>	10,076	10,078	10,106	10,108
<b>D7</b>	10,024	10,020	10,038	10,028
<b>D8</b>	9,998	9,988	10,036	10,024
<b>Média</b>	10,0265	10,021	10,0555	10,0505

<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	18,9 cm			
<b>Altura L</b>	7,222	7,228	7,138	7,138
<b>Varição na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,084 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,09 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	<b>32,79 tI ou 40,95 MPa</b>			

Fonte: Elaboração do autor.

Para o corpo de prova 1 do concreto com fibra, TABELA 4, o coeficiente de dilatação obtido a partir das medidas realizadas como paquímetro P1 foi de  $2,9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , e para P2 o valor obtido foi de  $2,8 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Para o segundo corpo de prova desse mesmo traço, TABELA 5 tivemos para P1 o coeficiente de dilatação de  $2,3 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e para P2 foi de  $2,9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Já o terceiro corpo de prova, TABELA 6 com as medidas feitas por P1, o coeficiente de dilatação foi de  $1,9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e com P2 o valor foi de  $2,4 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

As TABELAS 7, 8 e 9 mostram os resultados da dilatação para corpos de prova de concreto comum (traço 2), ou seja, obtido através da mistura simples de cimento, areia, brita e água. Os dados seguem a mesma ordem das tabelas anteriores. Para o primeiro corpo de prova de concreto comum, TABELA 7, o coeficiente de dilatação obtido com as medidas feitas por P1 foi de  $7,4 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e com P2 foi de  $2,0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , tal divergência entre os valores pode ser atribuída a

vários fatores como por exemplo, dilatação no instrumento de medida, tempo de execução das medidas, entre outros. Para o segundo CP, TABELA 8 os valores foram de  $3,0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para medidas com P1 e  $2,8 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para medidas de P2. Já o terceiro, TABELA 9, obtivemos o mesmo valor para medidas de P1 e P2 que foi de  $2,3 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Para o terceiro corpo de concreto comum (Tabela 9), obtivemos o mesmo valor do coeficiente de dilatação tanto nas medidas de P1 quanto de P2,  $2,3 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

**TABELA 7: Concreto comum. CP1**

<b>CP1 - C, FACE 1</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP1 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP1 em Tf= 210°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D1</b>	10,080	10,064	10,080	10,082
<b>D2</b>	10,034	10,032	10,044	10,058
<b>D3</b>	10,004	10,000	10,010	9,986
<b>D4</b>	9,988	9,980	9,990	9,990
<b>Média</b>	10,0265	10,019	10,031	10,029
<b>CP1 - C, FACE 2</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP1 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP1 em Tf= 210°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D5</b>	10,060	10,044	10,068	10,062
<b>D6</b>	10,050	10,042	10,070	10,072
<b>D7</b>	9,954	9,946	9,956	9,962
<b>D8</b>	10,044	10,020	10,044	10,034
<b>Média</b>	10,027	10,013	10,0345	10,0325
<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	19,9 cm			
<b>Altura L</b>	3,038	3,036	3,036	3,022
<b>Varição na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,002 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,014 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	<b>19,02 tI ou 23,75 MPa</b>			

Fonte: Elaboração do autor.

TABELA 8: Concreto comum. CP2

<b>CP2 - C, FACE 1</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP2 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP2 em Tf= 385°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D1</b>	9,982	9,978	10,010	9,998
<b>D2</b>	9,928	9,926	9,958	9,946
<b>D3</b>	10,034	10,014	10,044	10,038
<b>D4</b>	9,982	9,974	10,024	10,000
<b>Média</b>	9,9815	9,973	10,009	9,9955

<b>CP2 - C, FACE 2</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP2 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP2 em Tf = 385°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D5</b>	9,960	9,946	10,002	9,988
<b>D6</b>	9,954	9,940	9,990	9,972
<b>D7</b>	9,998	9,992	10,028	10,042
<b>D8</b>	10,184	10,176	10,210	10,198
<b>Média</b>	10,024	10,0135	10,0575	10,05

<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	19,6 cm			
<b>Altura L</b>	9,010	9,010	8,918	8,930
<b>Varição na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,092 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,08 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	<b>16,79 tI ou 20,97 MPa</b>			

Fonte: Elaboração do autor.

TABELA 9: Concreto comum. CP3

<b>CP3 - C, FACE 1</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP3 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP3 em Tf= 393°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D1</b>	10,090	10,088	10,112	10,096
<b>D2</b>	9,978	9,976	9,996	9,992
<b>D3</b>	9,926	9,926	9,948	9,940
<b>D4</b>	9,976	9,976	9,992	9,986
<b>Média</b>	9,9925	9,9915	10,012	10,0035

<b>CP3 - C, FACE 2</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP3 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP3 em Tf=393°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D5</b>	10,136	10,136	10,168	10,158
<b>D6</b>	10,076	10,078	10,114	10,100
<b>D7</b>	10,006	10,002	10,036	10,030
<b>D8</b>	10,090	10,086	10,106	10,110
<b>Média</b>	10,077	10,0755	10,106	10,0995

<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	19,6 cm			
<b>Altura L</b>	5,834	5,842	5,762	5,744
<b>Varição na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,072 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,098 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	<b>18,29 tl ou 22,84 MPa</b>			

Fonte: Elaboração do autor.

As TABELAS 10, 11 e 12 mostram os resultados das medidas de dilatação para corpos de prova de concreto misturado com fibra de aço e teflon (traço 3), e seguem a mesma ordem das tabelas anteriores. Para o primeiro corpo de prova de concreto com fibra de aço e teflon, TABELA 10 obtivemos os seguintes valores para o coeficiente de dilatação  $3,4 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  com as medidas de P1 e  $3,1 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para medidas com P2. Para o segundo corpo de prova, TABELA 11 tivemos  $8,4 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para medidas com P1 e  $1,9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para medidas com P2. Já para o terceiro, TABELA 12 tivemos  $2,7 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para medidas com P1 e  $2,9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para medidas com P2.

TABELA 10: Concreto com fibras de aço e teflon CP1.

<b>CP1 - F/T, FACE 1</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP1 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP1 em Tf= 345°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D1</b>	9,982	9,974	10,000	9,988
<b>D2</b>	10,066	10,060	10,082	10,086
<b>D3</b>	10,078	10,064	10,106	10,080
<b>D4</b>	10,044	10,032	10,052	10,042
<b>Média</b>	10,0425	10,0325	10,06	10,049

<b>CP1 - F/T, FACE 2</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP1 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP1 em Tf= 345°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D5</b>	9,976	9,968	10,012	10,004
<b>D6</b>	9,972	9,966	10,000	9,994
<b>D7</b>	10,056	10,056	10,078	10,062
<b>D8</b>	10,070	10,062	10,116	10,090
<b>Média</b>	10,0185	10,013	10,0515	10,0375

<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	22 cm			
<b>Altura L</b>	5,482	5,480	5,356	5,354
<b>Varição na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,126 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,126 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	<b>15,24 tI ou 19,03 MPa</b>			

Fonte: Elaboração do autor.

TABELA 11: Concreto com fibras de aço e teflon CP2.

<b>CP2 - F/T, FACE 1</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP2 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP2 em Tf= 337°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D1</b>	10,064	10,054	10,060	10,054
<b>D2</b>	10,098	9,992	9,998	10,004
<b>D3</b>	9,986	9,980	9,990	9,990
<b>D4</b>	10,000	9,998	10,004	9,998
<b>Média</b>	10,037	10,006	10,013	10,0115

<b>CP2 - F/T, FACE 2</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP2 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP2 em Tf= 337°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D5</b>	10,000	9,998	10,030	10,026
<b>D6</b>	10,092	10,090	10,098	10,108
<b>D7</b>	10,080	10,080	10,086	10,084
<b>D8</b>	10,020	10,016	10,012	10,010
<b>Média</b>	10,048	10,046	10,0565	10,057

<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	22 cm			
<b>Altura L</b>	5,482 cm	5,474	5,392	5,382
<b>Varição na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,09 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,092 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	17,89 tl ou 22,34 MPa			

Fonte: Elaboração do autor.

TABELA 12: Concreto com fibras de aço e teflon CP3.

<b>CP3 - F/T, FACE 1</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP3 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diametro CP3 em Tf= 377°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D1</b>	9,986	9,980	10,008	10,018
<b>D2</b>	10,058	10,042	10,070	10,058
<b>D3</b>	10,030	10,020	10,056	10,038
<b>D4</b>	9,978	9,970	9,982	9,998
<b>Média</b>	10,013	10,003	10,029	10,028

<b>CP3 - F/T, FACE 2</b>				
<b>Paquímetros</b>	<b>Diamet. CP3 em Temp. Amb 35°C</b>		<b>Diamet. CP3 em Tf= 377°C</b>	
	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>1</sup> (cm)</b>	<b>P<sup>2</sup> (cm)</b>
<b>D5</b>	10,054	10,052	10,076	10,082
<b>D6</b>	10,024	10,036	10,046	10,040
<b>D7</b>	9,980	9,988	10,012	10,006
<b>D8</b>	10,006	10,002	10,032	10,044
<b>Média</b>	10,016	10,0195	10,0415	10,043

<b>ALTURA INICIAL L<sub>0</sub></b>	22 cm			
<b>Altura L</b>	5,612	5,618	5,514	5,524
<b>Variaçã na altura L</b>	$\Delta_{L1} = 0,098 \text{ cm}$		$\Delta_{L2} = 0,094 \text{ cm}$	
<b>Carga de Ruptura / Resistência</b>	15,51 tl ou 19,37 MPa			

Fonte: Elaboração do autor.

## 6.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O concreto é um dos materiais mais presentes em obras, sendo o material componente de estruturas de diversos tipos como, pontes, fundações, entre outras. Portanto, é imprescindível o controle de qualidade do concreto utilizado nessas obras. Esse controle é feito por meio de uma série de ensaios, como o ensaio de resistência do concreto, uma propriedade diretamente ligada à estabilidade e segurança estrutural, que valida a qualidade da estrutura. Ou seja, indica qual tensão o concreto tem capacidade de resistir. Dessa forma, os testes de resistência no concreto possibilitam confirmar a tensão máxima a que ele resistirá antes de sofrer ruptura.

**TABELA 13:** Valores da resistência a compressão em cada traço

<b>CORPOS DE PROVA</b>	<b>TRAÇO 1</b>	<b>TRAÇO 2</b>	<b>TRAÇO 3</b>
	<b><i>CPs Aquecidos</i></b>	<b><i>CPs Aquecidos</i></b>	<b><i>CPs Aquecidos</i></b>
<b>CP1</b>	<i>37,16 MPa</i>	<i>23,75 MPa</i>	<i>19,03 MPa</i>
<b>CP2</b>	<i>43,79 MPa</i>	<i>20,97 MPa</i>	<i>22,34 MPa</i>
<b>CP3</b>	<i>40,95 MPa</i>	<i>22,84 MPa</i>	<i>19,37 MPa</i>
	<b><i>CPs Temp. ambt</i></b>	<b><i>CPs Temp. ambt</i></b>	<b><i>CPs Temp. ambt</i></b>
<b>CP4</b>	<i>40,26 MPa</i>	<i>27,51 MPa</i>	<i>21,94 MPa</i>
<b>CP5</b>	<i>39,07 MPa</i>	<i>29,35 MPa</i>	<i>21,19 MPa</i>
<b>CP6</b>	<i>39,02 MPa</i>	<i>24,24 MPa</i>	<i>21,45 Mpa</i>

**Fonte:** Elaboração do autor.

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de compressão e mostram que o uso da fibra de aço no concreto aumenta a resistência do mesmo como era esperado e pode ser visto ao comparar o traço 1 na tabela com os traços 2 e 3. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados tanto em corpos de prova submetidos ao aquecimento quanto em corpos de prova não aquecidos.

## **7 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **7.1 Coeficiente de dilatação**

O coeficiente de dilatação térmica é uma propriedade intrínseca de cada material, essa propriedade indica a facilidade ou dificuldade que um determinado elemento tem em sofrer alterações em suas dimensões em função de variações de temperatura. No caso do concreto, o coeficiente de dilatação térmica, segundo a NBR 6118, é considerado da ordem de  $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , salvo quando determinado especificamente para o concreto a ser usado. Isso significa que para cada metro linear há o alongamento ou encurtamento de 0,00001m ou 0,01mm por unidade de temperatura, desta forma, se uma viga de concreto de 6m de comprimento sofrer uma variação de temperatura de  $50^\circ\text{C}$  sua dilatação será de 3mm.

Na Tabela 13 podemos observar que os coeficientes de dilatação obtidos para os Traços 1, 2 e 3 a partir dos dados das TABELAS de 4 a 12 na seção 6.1, estão dentro da mesma ordem de grandeza do valor conhecido na literatura.

**TABELA 14:** Coeficiente de dilatação por traço

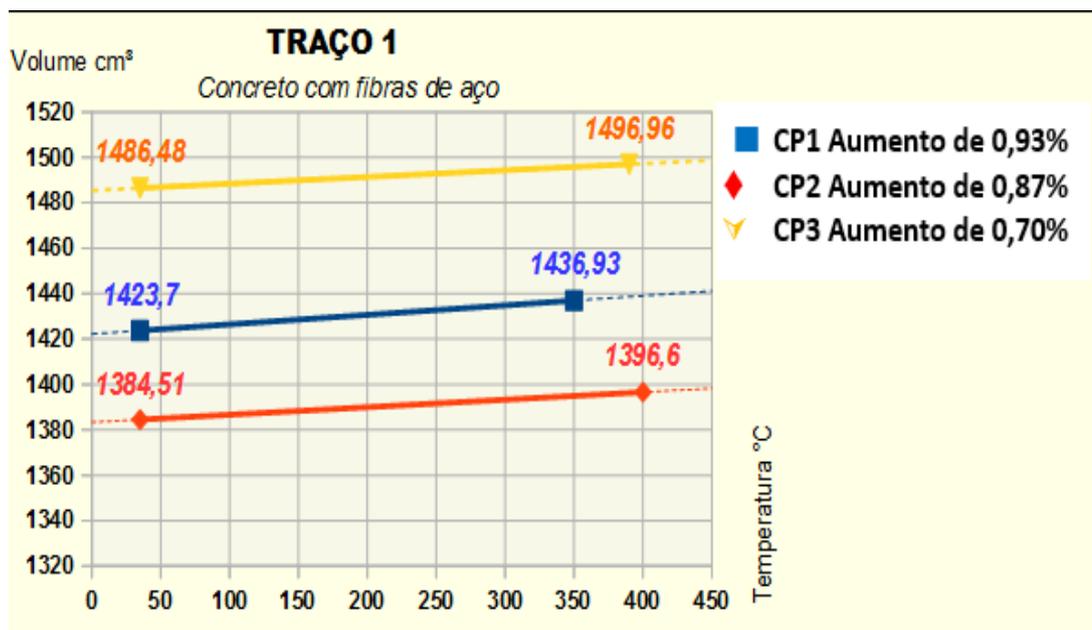
<b>Traço 1 – F</b>	<b>CP1 - f</b>	<b>CP2 - F</b>	<b>CP3 - F</b>
<b>Coeficiente de dilatação 1</b>	$2,9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$2,3 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$1,9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>Coeficiente de dilatação 2</b>	$2,8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$2,9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$2,4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>Traço 2 – C</b>	<b>CP1 - C</b>	<b>CP2 - C</b>	<b>CP3 - C</b>
<b>Coeficiente de dilatação 1</b>	$0,74 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$3,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$2,3 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>Coeficiente de dilatação 2</b>	$2,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$2,8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$2,3 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>Traço 3 – F/T</b>	<b>CP1 - F/T</b>	<b>CP2 - F/T</b>	<b>CP3 - F/T</b>
<b>Coeficiente de dilatação 1</b>	$3,4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$0,84 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$2,7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>Coeficiente de dilatação 2</b>	$3,1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$1,9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$2,9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando analisamos nossos resultados para o coeficiente de dilatação TABELA 14, observamos que os mesmos, dentro da ordem de grandeza, estão de acordo com a literatura. A pequena divergência entre esses valores pode ser justificada pela limitação do método e equipamentos utilizados para determinação do coeficiente de dilatação. Um dos exemplos é o fato de desconsiderarmos a dilatação das “orelhas” do paquímetro, quando estas entram em contato com o corpo de prova podem aquecer e também dilatar. Essa dilatação por sua vez pode levar a um erro sistemático na medida do coeficiente de dilatação. Outro exemplo é o tempo de medida das dimensões dos CPs que é um pouco longo devido a quantidade de dimensões medidas para o corpo de concreto. Durante a medida, o corpo pode esfriar e começar o processo de contração.

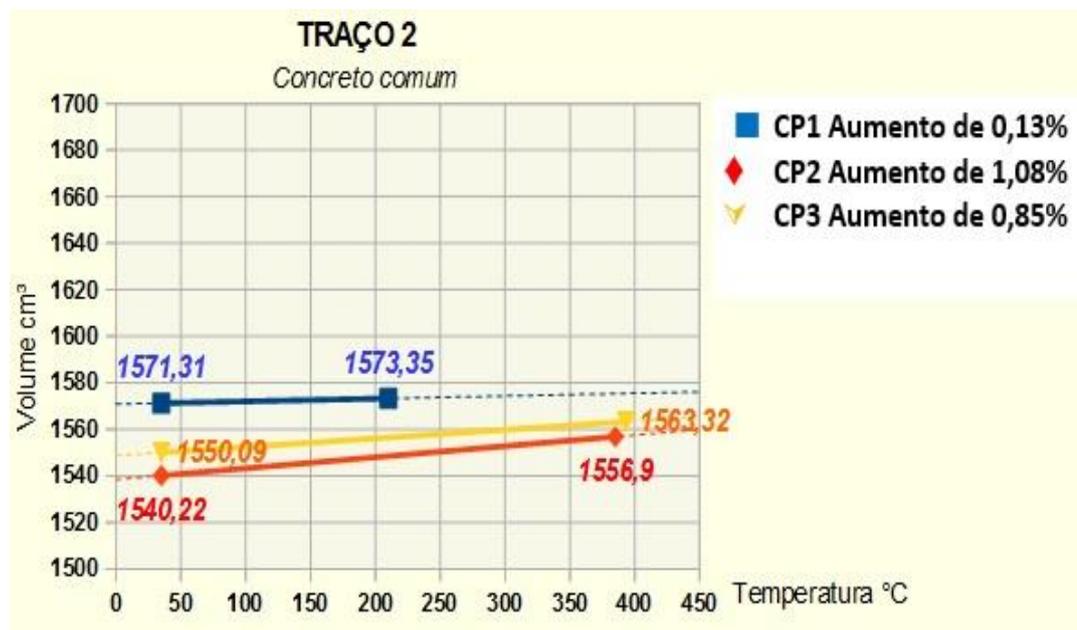
Nos GRÁFICOS de 1 a 3, podemos ver a variação de volume com a temperatura para os três traços usados na pesquisa. Os gráficos referem-se aos dados obtidos a partir do P1.

**GRÁFICO 1:** Volume x Temperatura, concreto com fibra de aço



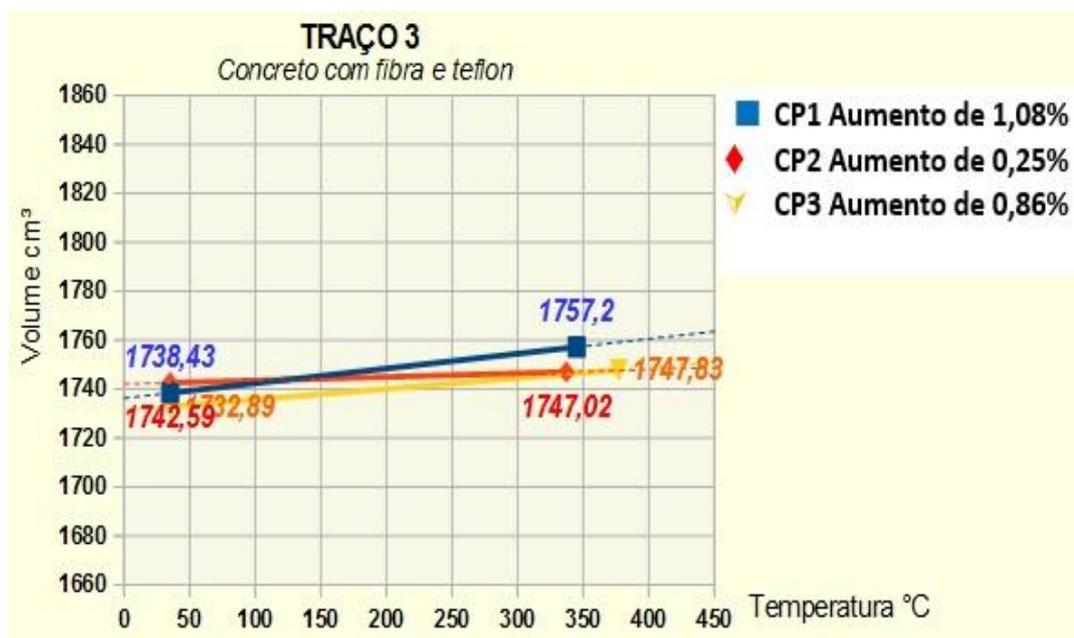
**Fonte:** Elaboração do autor.

No GRÁFICO 1, vemos, por exemplo, que para o CP1 quando submetido a uma variação de temperatura de 315°C, seu volume variou 0,93% de seu volume inicial médio. O CP2 submetido a variação de 365°C, variou 0,87% de seu volume inicial médio. Já o CP3 variou 0,70% de seu volume inicial quando submetido a variação de 355°C.

**GRÁFICO 2:** Volume x Temperatura, concreto comum

**Fonte:** Elaboração do autor.

Já no GRÁFICO 2, a uma variação de temperatura de 175°C o CP1 aumentou 0,13% de seu volume inicial médio. o CP2 a uma variação de temperatura de 350°C aumentou 1,08% e o CP3 a uma variação de temperatura de 358°C aumentou 0,85% de seu volume inicial. A média é de 0,68% para esse traço.

**GRÁFICO 3:** Volume x Temperatura, concreto com fibra e teflon

Fonte: Elaboração do autor.

No GRÁFICO 3, a variação de temperatura 310°C o CP1 aumentou 1,08% de seu volume inicial médio. O CP2 submetido a uma variação de temperatura de 302°C variou 0,25% de seu volume inicial e o CP3 submetido a variação de temperatura de 342°C variou 0,86% do seu volume inicial. A média para o traço foi de 0,73%.

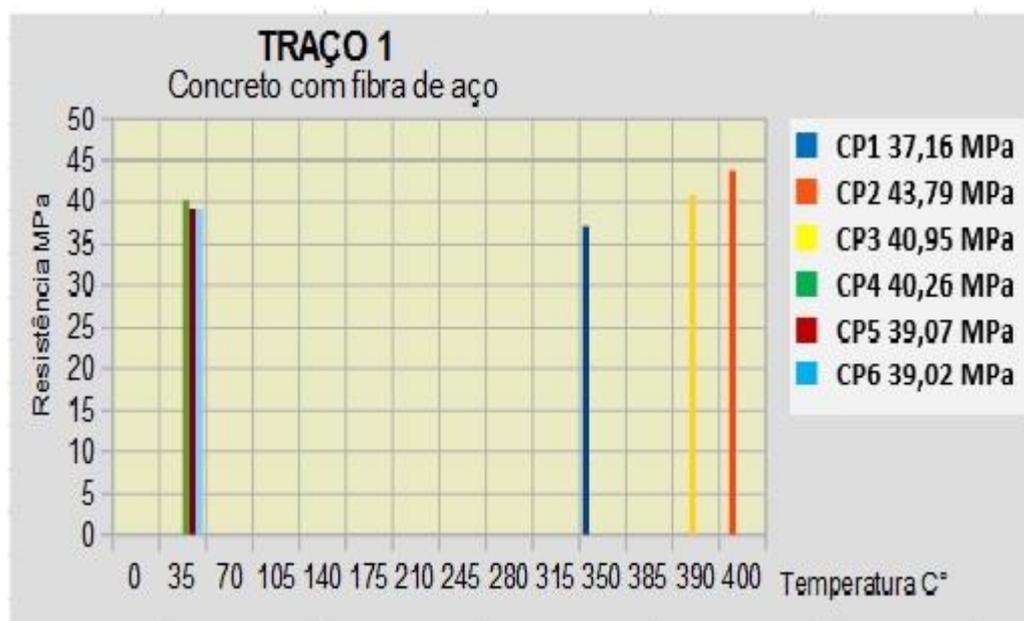
As curvas mostram o crescimento linear do volume, em  $\text{cm}^3$ , com a temperatura em  $^{\circ}\text{C}$ . Uma análise visual dos CPs indica que, para as temperaturas usadas, não houve dano estrutural dos mesmos, o que nos leva a crer que os corpos de prova ainda se encontram no regime linear de dilatação. Tal afirmação pode ser corroborada quando observamos a medida da resistência à compressão dos CPs que foram aquecidos.

## 7.2 Resistência a compressão

A resistência do concreto após o aquecimento deve ser analisada com cuidado e atenção, alterações destas podem elevar o risco de danos estruturais, sendo necessário verificar a necessidade de reparar ou reformar os elementos afetados pelo calor antes de voltar a utilizá-los.

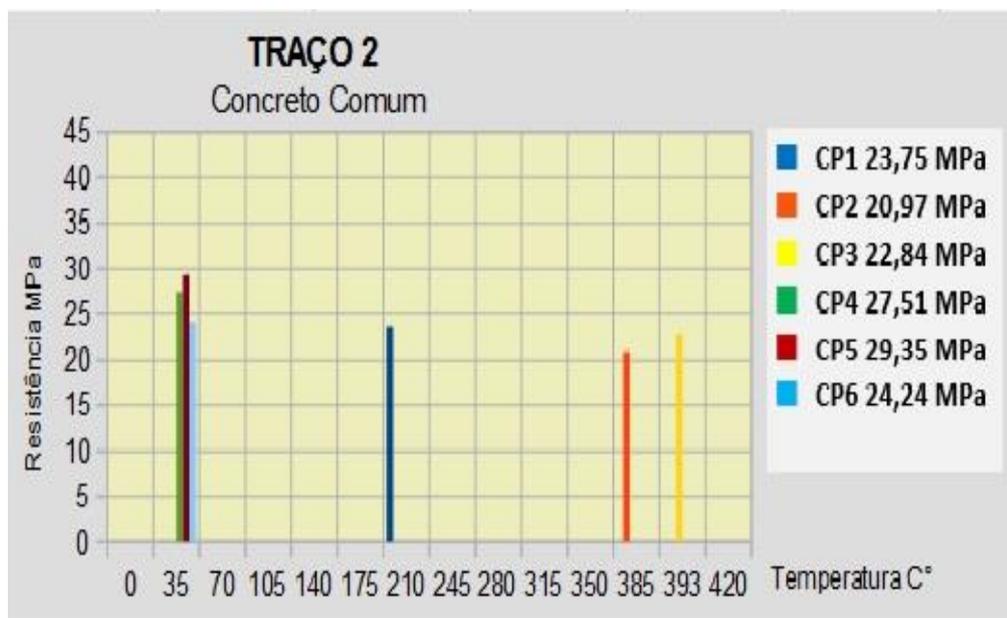
Como foi dito anteriormente, ao total foram confeccionados dezoito corpos de prova divididos em 3 traços, para os ensaios de temperatura e resistência a compressão na idade de 28 dias. Traço 1: concreto com fibra de aço, traço 2: concreto comum, traço 3 concreto com fibras de aço e teflon. Cada traço tem 6 CPs. De cada traço três CPs foram aquecidos e depois rompidos e três passaram apenas pelo ensaio de compressão. Ou seja, temos nove corpos de prova submetidos ao ensaio a altas temperatura (3 com fibra, 3 comuns, 3 com fibra e teflon) e depois ao ensaio de compressão e temos nove corpos de prova (3 com fibra, 3 comuns, 3 com fibra e teflon) que passaram apenas pelo ensaio de compressão, com isso podemos analisar os efeitos de altas temperaturas na resistência do concreto e compará-los com o concreto em condições normais.

No Gráfico 4, apresentamos valores da resistência a compressão de CPs do traço 1, concreto com fibras de aço. Os corpos de prova (CP1, CP2 e o CP3) são corpos que foram submetidos a elevadas temperaturas, e o CP4, CP5 e o CP6 são os corpos que passaram apenas pelo ensaio de compressão. A escala de temperatura dos gráficos está dividida em seções, observe por exemplo que no GRÁFICO 4, a temperatura de 35°C temos três corpos de prova (CP4, CP5 e CP6) que são os CPs mantidos em temperatura ambiente que passaram somente pelo ensaio de compressão. A temperatura de 350°C temos o CP1, a temperatura de 390°C temos o CP3 e 400°C o CP2.

**GRÁFICO 4:** Resistência x Temperatura, no traço 1

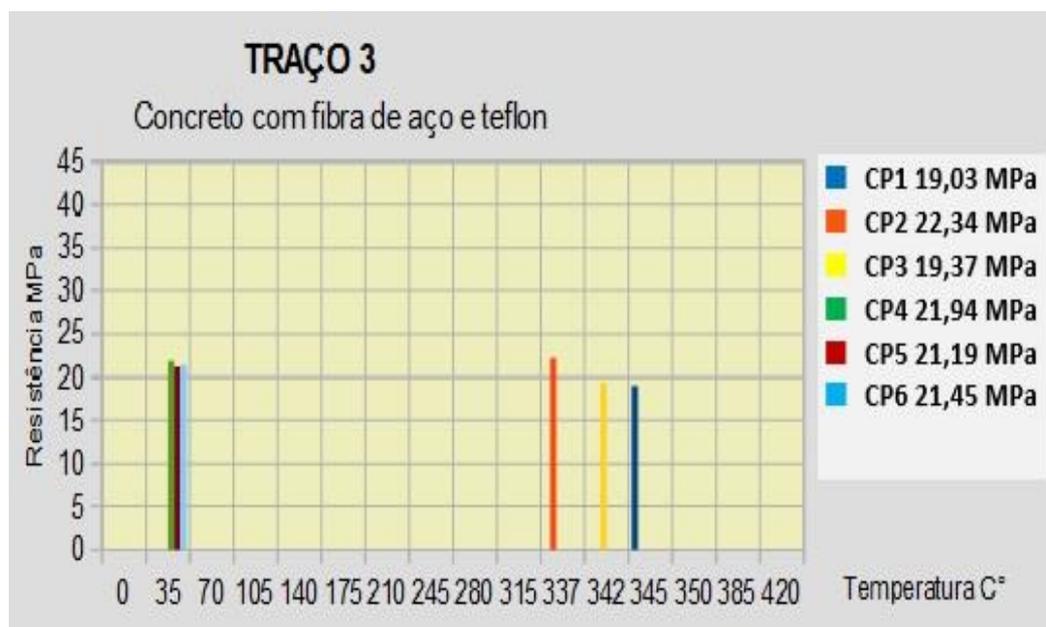
**Fonte:** Elaboração do autor

Analisando o GRÁFICO 4, (traço 1), onde apenas fibras de aço foram adicionadas ao concreto, observa-se que as vantagens decorrentes da presença das fibras são bastante positivas em comparação com os traços 2 e 3. A adição de fibra resultou em um concreto com resistência superior aos traços 2 e 3. Nos CPs com fibra aquecidos (CP1, CP2 e CP3) a resistência média foi de 40,63 Mpa e nos CPs que não passaram pelo ensaio a altas temperaturas, ou seja, foram mantidos a temperatura ambiente (CP4, CP5 e CP6) a resistência média concreto foi de 39,45 Mpa, como podemos ver na TABELA 13 coluna 2, na seção 6.2. Os resultados parecem indicar que a adição da fibra de aço mantém a resistência do concreto mesmo quando este é submetido a elevadas temperaturas.

**GRÁFICO 5:** Resistência x Temperatura, no traço 2.

**Fonte:** Elaboração do autor

O GRÁFICO 5 descreve a resistência do concreto em função da temperatura para o traço 2, concreto comum. Como era esperado ele apresenta valores de resistência menor mesmo em temperatura ambiente (CP4, CP5 e CP6) onde sua resistência foi de 27,03 Mpa em média e quando aquecido a temperaturas próximas a 400°C (CP1, CP2 e CP3) apresentou um decréscimo de 16,54% desse valor chegando a 22,56 Mpa na média. O que pode indicar que o concreto comum, sem adição de outros materiais como a fibra pode apresentar uma fragilidade maior em relação a variação de temperatura.

**GRÁFICO 6:** Resistência x Temperatura, no traço 3

**Fonte:** Elaboração do autor.

No GRÁFICO 6 analisamos a resistência em função da temperatura para o traço 3, concreto com adição de fibra de aço e teflon. Ao adicionar o teflon os CPs que foram aquecidos (CP1, CP2 e CP3) apresentaram resistência semelhante aos CPs em temperatura ambiente (CP4, CP5 e CP6), enquanto os corpos aquecidos atingiram 20,25 Mpa, os CPs em condições normais chegaram a 21,53 MPa. Ou seja, a adição do teflon aparentemente não alterou em nada a resistência do material olhando pra variação da temperatura, mas a adição do teflon em si tornou o concreto menos resistente, se compararmos com os traços 1 e 2 podemos ver, por exemplo, que a resistência no traço 3 caiu aproximadamente pela metade em relação ao traço 1. Ou seja, quando adicionamos teflon o concreto já fica menos resistente. Por outro lado, é indiferente se o corpo foi aquecido ou não, sua resistência não se altera.

## 8 CONCLUSÃO

A noção de que danos causados a uma estrutura por um incêndio podem ser irreversíveis motiva o desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos efeitos do

aumento da temperatura em elementos estruturais. Neste sentido, este estudo pôde contribuir para uma melhor compreensão dos efeitos das altas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto e, eventualmente, pode contribuir para a descoberta e a validação de técnicas que reduzam a deterioração de uma estrutura.

Diante dos resultados, podemos concluir que tanto o sistema de aquecimento desenvolvido ao longo desse trabalho como o simples método de medida do coeficiente de dilatação são eficientes, visto que, conseguimos reproduzir resultados já encontrados na literatura através de nossas medidas. Além disso, considerando diversos fatores que podem ter interferido nas medições e atribuindo erros nas medidas, como o tipo agregado, tamanho dos corpos de teste, tempo de exposição à temperatura, entre outros fatores, o resultado apresentado aqui é bastante satisfatório.

Concluimos também que o método proposto é eficiente para medirmos o coeficiente de dilatação de corpos de concreto, através dele pôde-se observar que todos os corpos possuem coeficiente de dilatação bem próximos, da ordem de grandeza de  $10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , como esperado inicialmente. Além disso, o concreto quando submetido a temperaturas próximas a  $400^\circ\text{C}$ , as propriedades mecânicas, como a resistência a compressão, atingiu valores mais baixos nos traços 2 e 3, enquanto que no traço 1 o valor da média foi de aproximadamente 40Mpa tanto nos CPs aquecidos como os não aquecido, que já era esperado uma vez que a fibra contribui no aumento da resistência do concreto. Podemos propor que edificações expostas a temperaturas acima de  $400^\circ\text{C}$  por um tempo superior a 1hr40min, tempo usado para o aquecimento de corpos de teste neste trabalho, a estrutura pode ser condenada, sendo necessário uma avaliação na estrutura total, pois nessas condições notamos em alguns testes anteriores que os corpos de teste se romperam completamente. O concreto comum, sem adição de outros matérias como a fibra, apresentou uma fragilidade maior em relação a variação de temperatura se comparado com o traços 1 e 3 onde a variação da temperatura aparentemente não afetou a resistência do material. Em relação ao uso do teflon percebeu-se que ao ser adicionado no concreto houve uma redução significativa na resistência, ou seja, o teflon deixou o concreto menos resistente independente da temperatura. Em relação ao coeficiente de dilatação os resultados obtidos são coerentes, se comparados a literatura. No entanto, devemos levar em consideração que existem muitas variáveis envolvidas no problema e qualquer alteração nessas variáveis pode resultar em diferenças

entre os resultados alcançados por outros pesquisadores. Dentre essas variáveis, destaca-se a umidade do concreto, a relação água/cimento, tipo agregado, tipo cimento, tamanho dos corpos de teste, tempo de exposição à temperatura, taxa de aumento da temperatura, entre outros fatores.

Também é importante ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho, somados aos obtidos em pesquisas anteriores sobre o assunto, pode ajudar a prever o grau de deterioração que uma estrutura ou elemento pode alcançar após um incêndio. Este aspecto é de extrema importância na concepção para a recuperação ou reforços de tal estrutura ou elemento estrutural. Pessoas com bastante conhecimento sobre a física aplicada aos materiais de construção e que estiverem diretamente ligadas ao processo da construção, tem condições e resolver a grande maioria dos problemas patológicos como as trincas, rachaduras, deslocamentos estrutural que são causados em sua grande maioria pela variação de temperatura dentre outros fatores. Conseguimos ainda por meio aparatos experimentais simples e uso de conceitos básicos de Termodinâmica, um estudo satisfatório sobre coeficiente de dilatação que poderia ser aplicado no ensino.

Vale salientar que o número de cps usados para nosso estudo foi baixo. Tal fato pode aumentar o erro associado as medidas e nos levar a conclusões que possam divergir da realidade. Nesse sentido, um estudo mais sistemático com um número maior de CPs e levando-se em conta outras variáveis é indicado e pode fornecer informações extremamente importantes para a indústria da construção civil e para pesquisas futuras na área. Além disso, os traços de concreto apresentados neste trabalho devem ser vistos como sugestões para uma proporção inicial. O profissional que deles fizer uso deverá fazer testes com os materiais da sua região, especialmente quanto à areia, ao cimento e à interação entre ele e o aditivo, e fazer as correções necessárias para obter o abatimento e a resistência à compressão esperadas e o coeficiente de dilatação, que podem diferir dos resultados aqui apresentados.

## REFERÊNCIAS

CHAVES, Alaor. **Física Básica: Gravitação, Fluidos, Ondas, Termodinâmica**. Rio de Janeiro: Ltc, 2007. il.

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

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. United Kingdom. Elsevier, 1990.

Senna, Fábio Simões, Projeto de um Forno de Fusão para o Laboratório de Tecnologia Mecânica da Escola Politécnica – Rio de Janeiro: Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Mecânica, 2017.

NBR 13970 - Segurança de máquinas Temperatura de superfícies acessíveis – Dados ergonômicos para estabelecer os valores limites de temperatura de superfícies aquecidas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento - NBR 6118. Rio de Janeiro, ABNT, mar/2014, 221p.

CALDAS BRANCO, Abilio de Azevedo. **12 TRAÇOS EM SEQUÊNCIA: CONCRETO** em "pêso" ou volume. Companhia brasileira de artes gráficas. 49 p. Disponível em:[http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos\\_concretos/caldas\\_branco.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos_concretos/caldas_branco.pdf). Acesso em: 7 nov. 2019.

Fundamentos da Física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica/ Halliday, Resnick, Jear Walker. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

*Eletricidade e Magnetismo*. Porto: Jaime E. Villate, 20 de março de 2013. 221 págs. Acesso em: 5 nov. 2019.

H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas,

Calor, 4a edição, Editora Edgard Blücher, 2002.

CARVALHO, Roberto chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson rodrigues. **Calculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: Segundo a NBR 6118: 2003. 3. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 368 p. ISBN 9788576000860.

NEVILLE, A. M.; 1997, Propriedades do concreto, tradução Salvador E. Giammusso, ed. 2ª, São Paulo-SP, PINI.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues. COncreto com fibras de aço. **ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**, São Paulo, 2000.

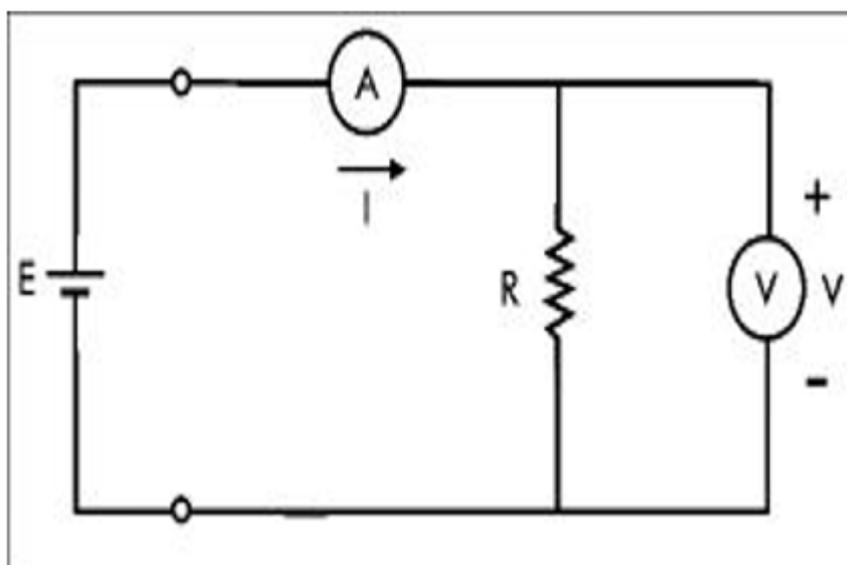
VASCONCELOS LIMA, Caio Ivson; COUTINHO, Carlos Otávio Dantas; AZEVEDO, Gabriel Gama Carnaúba; GOMES BARROS, Tarsys Yuri Gomes Barros; TAUBER, Thiago Campos; LIMA, Sandovânio Ferreira. Concreto e suas inovações. **Cardernos de graduação**: Ciências exatas e tecnológicas, maceio, v. 1, n. 1, p. 31-40. 2014.

BRITTO, Hamilton; EVANGELISTA, Celso costa. PROPRIEDADES, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DO POLITETRAFLUORETANO-PTFE(Teflon). 2015.

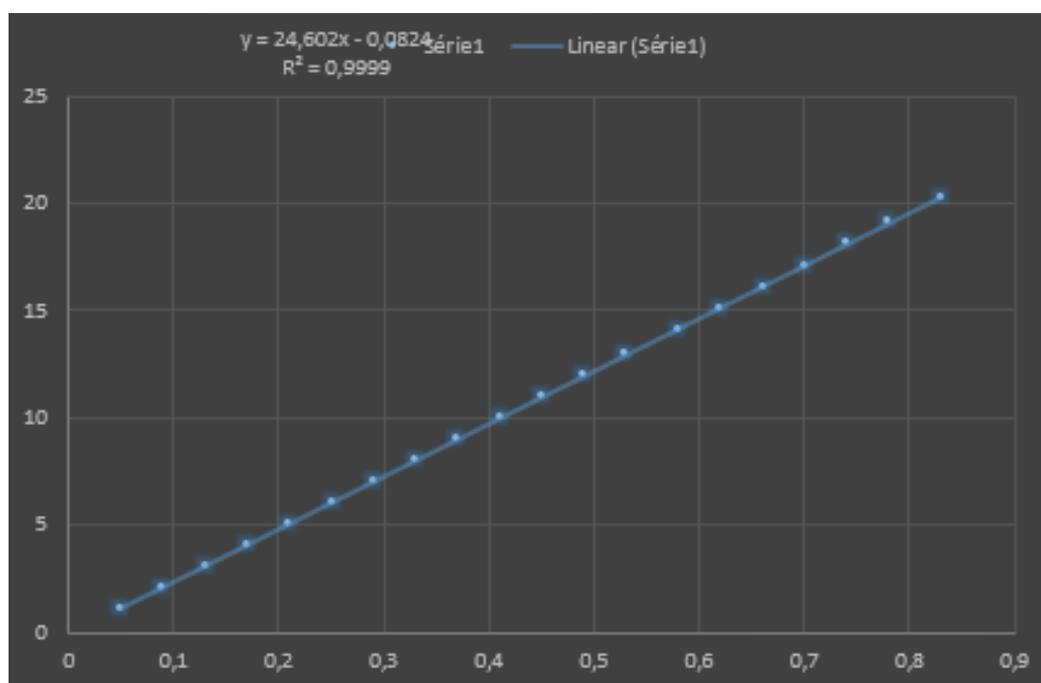
## ANEXO A

TABELA 15: Determinação experimental do valor da resistência usada

Tensão na fonte (v)	Corrente (A)	Tensão (V)	Resistência ( $\Omega$ )
1	0,05	1,15	23
2	0,09	2,09	23,22
3	0,13	3,14	24,15
4	0,17	4,10	24,11
5	0,21	5,05	24,04
6	0,25	6,07	24,28
7	0,29	7,05	24,31
8	0,33	8,04	24,36
9	0,37	9,04	24,43
10	0,41	10,02	24,43
11	0,45	11	24,44
12	0,49	12,04	24,57
13	0,53	13,07	24,66
14	0,58	14,10	24,31
15	0,62	15,08	24,32
16	0,66	16,12	24,42
17	0,70	17,11	24,44
18	0,74	18,14	24,51
19	0,78	19,19	24,60
20	0,83	20,3	24,45
<b>Média e desv. Padrão</b>			<b>24,25 <math>\pm</math> 0,42 <math>\Omega</math></b>

**FIGURA 8:** Montagem do circuito

Fonte: Google imagens.

**FIGURA 9:** Gráfico de tensão X corrente

Fonte: elaborado pelo autor.