

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA - UNIFACCAMP  
ENGENHARIA CIVIL**

**CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E POLIPROPILENO UM  
ESTUDO DE CASO**

**LUCAS CRISTIAN DA SILVA MARQUES  
VICTOR CESAR PEREIRA DA SILVA  
GABRIEL DA SILVA FRANÇA**

**Campo Limpo Paulista - SP  
Junho – 2020**

**Lucas Cristian da Silva Marques**  
**Victor Cesar Pereira da Silva**  
**Gabriel da Silva França**

**CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E POLIPROPILENO UM  
ESTUDO DE CASO**

*Trabalho de conclusão apresentado ao  
Centro Universitário Campo Limpo  
Paulista – UNIFACCAMP, como requisito  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Civil.*

**Orientador: Prof. Dr. Paschoal Perdão Junior**  
**Prof. Francisco Coelho de Oliveira**

**Campo Limpo Paulista - SP**  
**Junho – 2020**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA  
ENGENHARIA CIVIL**

**CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E POLIPROPILENO UM  
ESTUDO DE CASO**

**RA 24736 - Lucas Cristian da Silva Marques**

**RA 24807 - Victor Cesar Pereira da Silva**

**RA 25397 - Gabriel da Silva França**

**Orientador: Prof. Dr. Paschoal Perdão Junior**

**Banca Examinadora:**

---

**Prof.  
Convidado**

---

**Prof. Dr. Paschoal Perdão Junior  
Orientador**

---

**Prof. Dr. Paschoal Perdão Junior  
Coordenador**

**Campo Limpo Paulista - SP  
Junho – 2020**

## RESUMO

O concreto possui uma série de características que garantem o posto de material estrutural mais utilizado no mundo. Entre as principais vantagens, pode-se listar o baixo custo e a capacidade de se adequar a variadas condições de produção, além de possibilitar infinitas variações de forma para as peças moldadas. O concreto apresenta várias limitações, como a baixa relação resistência/peso e o fato de ter sua qualidade aferida apenas depois que a peça estrutural foi produzida. Ou seja, pelo controle regular de qualidade do concreto, é apenas com 28 dias após a sua execução é que se pode realizar um teste em laboratório para verificar à sua resistência. Tendo em vista esses princípios de cura do concreto, que por sua vez tem um determinado tempo para ganhar a resistência conforme a NBR 5738, não é possível alcançar um fator muito alto de resistência usando somente os materiais convencionais (Areia, Brita, Cimento e Água). Neste artigo iremos desenvolver um concreto de alta resistência com adição de sílica ativa e utilizando fibras de aço e polipropileno aumentando a resistência contra (desgaste, impacto e à altas temperaturas).

**Palavras chaves:** Concreto. Fibras. Obras. Pavimentos. Túneis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício que compõe o atual Museu Oscar Niemeyer – Curitiba - Pr, construído em 1968 usando concretos com fck de 40 MPa.....	17
Figura 2 – Concreto auto-cicatrizante ganha espaço na construção civil.....	21
Figura 3 – Micrografia da sílica ativa obtida por microscopia eletrônica.....	22
Figura 4 – Características Físicas e Químicas.....	23
Figura 5 – Mistura dos agregados .....	28
Figura 6 – Confeção dos Corpos de Prova .....	29
Figura 7 – Identificação dos Moldes.....	29
Figura 8 – Amostragem com 7 dias, concreto com sílica.....	30
Figura 9 - Amostragem com 7 dias, concreto com sílica.....	30
Figura 10 - Amostragem com 7 dias, concreto com ruptura correta em cone.....	32
Figura 11 Confeção dos corpos de prova.....	34
Figura 12 Uso da mesa vibratória para o adensamento do concreto.....	34
Figura 13 - Resultado do ensaio à compressão com 3 dias, concreto com fibra de aço....	35
Figura 14 - Ruptura do corpo de prova com fibra de aço.....	35
Figura 15 - Amostragem com 12 dias, concreto com fibra de aço.....	36
Figura 16 - Resultado do ensaio à compressão com 12 dias, concreto com fibra de aço..	36
Figura 17 - Ruptura com 3 dias do corpo de prova com fibra de polipropileno.....	37
Figura 18 - Obras do Metrô.....	39
Figura 19 - Obras do Metrô.....	40

## **LISTA DE TABELAS / GRÁFICOS**

Tabela 1 - Edifícios executados com concreto de alta resistência.....19

Gráfico 1 - Resistência à compressão do corpo de prova com fibra de aço.....38

Gráfico 2 - Resistência à compressão do corpo de prova com fibra de Polipropileno.....38

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
1.1. Objetivo geral .....	9
1.1.1. Objetivos específicos.....	9
1.2. Problema.....	10
1.3. Justificativa.....	10
1.4. Metodologia.....	10
1.4.1. Metodologia Científica.....	10
1.4.2. Metodologia do projeto .....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
2.1. Concreto de Alta Resistência .....	12
2.1.1. Histórico .....	12
2.2. Principais Aplicações .....	16
2.2.1. Edifícios .....	16
2.2.2. Pontes .....	16
2.2.3. Túneis.....	16
2.3. Composição e Produção .....	17
2.3.1. Cimento Portland CPV- ARI .....	17
2.3.2. Sílica Ativa .....	18
2.3.3. Fibra de Polipropileno.....	19
2.3.4. Fibras de Aço .....	20
2.3.5. Aditivo Superplastificante Silicon AD NS 400 .....	20
3. ESTUDO DE CASO .....	22
3.1. Estudo da dosagem dos agregados .....	22
3.2. Moldagem dos corpos de prova.....	23
3.3. Processo de Cura .....	23
3.4. Confeção dos corpos de prova .....	23
3.5. Cálculo para o traço com fibra de aço e polipropileno.....	28
3.6. Ensaio em laboratório .....	30

3.7. Comparativos em relação ao uso de fibras no concreto .....	33
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37



# 1. INTRODUÇÃO

O concreto possui uma série de características que garantem o posto de material estrutural mais utilizado no mundo. Entre as principais vantagens, pode-se listar o baixo custo e a capacidade de se adequar a variadas condições de produção, além de possibilitar infinitas variações de forma para as peças moldadas. O concreto apresenta várias limitações, como a baixa relação resistência/peso e o fato de ter sua qualidade aferida apenas depois que a peça estrutural foi produzida. Ou seja, pelo controle regular de qualidade do concreto, é apenas com 28 dias após a sua execução é que se pode realizar um teste em laboratório para verificar à sua resistência. Tendo em vista esses princípios de cura do concreto, que por sua vez tem um determinado tempo para ganhar a resistência conforme a NBR 5738, não é possível alcançar um fator muito alto de resistência usando somente os materiais convencionais (Areia, Brita, Cimento e Água). Neste artigo iremos desenvolver um concreto de alta resistência com adição de sílica ativa e utilizando fibras de aço e polipropileno aumentando a resistência contra (desgaste, impacto e à altas temperaturas).

## 1.1. Objetivo geral

Aumentar a resistência do concreto de alta resistência e avaliar a carga que o mesmo suporta, estudando materiais tecnológicos (Fibras de aço e polipropileno).

### 1.1.1. Objetivos específicos

- Realizar três corpos de provas: um de concreto de alta resistência com adição de sílica ativa, outro com fibras de aço e por último com adição de fibra de polipropileno.
- Identificar a resistência à compressão de cada corpo de prova.

- Analisar por meio de gráficos a variação de resistência.
- Apresentar o concreto de maior relevância ao custo e benefício que a obra exige.

## **1.2. Problema**

O concreto de alta resistência tem por sua vez um custo benefício relativamente moderado, pois seu preço unitário varia de acordo com o MPa solicitado na obra. Mas sua resistência não é tão alta em vista do concreto com adição de fibras. Quais as vantagens do concreto de alta resistência? Qual é o ganho de resistência com a adição das fibras?

## **1.3. Justificativa**

O concreto de alta resistência por sua vez é um material que quando submetido a esforços tem uma ótima característica à compressão, pois tem um elemento fundamental que é a sílica ativa, sua função é eliminar os vazios do concreto elevando sua resistência.

Neste trabalho iremos abordar o uso de materiais já existentes no mercado, citando as características de cada material e suas propriedades, avaliando custos e fazendo uma breve comparação com o concreto de alta de resistência.

A grande importância desse trabalho é aprimorar nosso conhecimento, estudando novos conceitos e tecnologias, levando para o nosso meio profissional uma experiência com o concreto e reduzindo possíveis gastos com manutenções ao longo do tempo.

## **1.4. Metodologia**

### **1.4.1. Metodologia Científica**

A priori a pesquisa será feita em caráter bibliográfico exploratório (GIL, 2012), que visa auxiliar o grupo na compreensão do problema exposto e permitir uma

elaboração de supostas soluções, com objetivo de conhecer e analisar as informações científicas já existentes em artigos.

De acordo com Godoy (2005), uma pesquisa qualitativa tem como objetivo descobrir e compreender um fenômeno ou algum processo. Concluímos que a metodologia é um método de trabalho que dá forma à pesquisa acadêmica ou científica.

Em segundo momento, o tema será trabalhado em estudo de caso que será feito em laboratório, analisando suas propriedades e comparando resultados. De acordo com Godoy (2005) caracteriza o estudo de caso como um estudo exaustivo e profundo de um ou poucos objetos, de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

Segundo Lakatos (2003) “a pesquisa bibliográfica não é mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras”, ou seja conforme um artigo já publicado iremos trabalhar em cima dos dados já existentes com o intuito de melhoria no projeto.

#### **1.4.2. Metodologia do projeto**

- Montar os corpos de provas
- Romper
- Registrar resultados

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Concreto de Alta Resistência

#### 2.1.1. Histórico

As pesquisas feitas nos últimos tempos sobre o concreto de alta resistência, é com frequência considerado, pela comunidade técnica, um material relativamente novo. Segundo o ACI 363R-92 (2001), afirma-se que, nos E.U.A., na década de 50, os concretos com resistência de 34 MPa eram considerados de alta resistência. E na década de 60, concretos com até 52 MPa de resistência à compressão já eram comercializados. Freitas Jr. (2005), cita que em Curitiba, na década de 60, usou-se concretos com resistência característica à compressão de 40 MPa, no edifício da Secretaria de Educação, atual Museu Oscar Niemeyer, (Figura 1). Até o início da década de 60, era muito limitado à utilização de concretos com resistências à compressão superiores a 41 MPa, (ACI 363R-92, 2001). Porém, recentemente, as aplicações do concreto de alta resistência aumentaram sua demanda no mercado da construção civil e vêm sendo muito usado em muitas partes do mundo. Freitas Jr (2005), o crescimento desse material foi possível devido à evolução e recente desenvolvimento da tecnologia de materiais, que é correspondido pelo aumento da sua demanda. Um fato muito interessante é a abordagem usada em Chicago nos anos 60, citada em AÏTCIN (2000), onde sempre que um grande edifício estava sendo planejado, o produtor de concreto em conjunto com o projetista estrutural, solicitava a permissão para incluir sem custos extras para o incorporador, uma ou duas colunas feitas em concreto experimental com resistência à compressão de 10 a 15 MPa superiores ao fck solicitado pelo projetista.

Desta forma, concluía-se que era possível fazer e entregar um concreto confiável de 10 a 15 MPa maiores que o habitual, ficando fácil usá-lo em novos projetos por já terem sido levados em laboratórios para serem testados, abrindo caminho à redução dos tamanhos dos pilares e aumento das áreas disponíveis. Com o uso deste procedimento, dentro em um período de dez anos, levantou-se a

resistência à compressão de 15 a 20 MPa para 45 a 60 MPa (FREITAS JR, 2005, p. 21).

**Figura 1 – Edifício que compõe o atual Museu Oscar Niemeyer – Curitiba - Pr, construído em 1968 usando concretos com fck de 40 MPa.**



Fonte: (FREITAS JR, 2005, p.21)

Ao iniciar-se a década de 70, nos EUA tornou-se usual a aplicação de resistências à compressão da ordem de 60 MPa, atingindo-se um limite técnico, AÏTCIN (2000). “Era impossível de se obter resistências superiores devido ao limite dos aditivos plastificantes existentes no mercado, não se conseguia reduzir mais o fator água/cimento e nem manter uma trabalhabilidade que permitisse a utilização do concreto.” (FREITAS JR, 2005, p. 21)

Foi nesse o contexto de que o desenvolvimento da tecnologia que foram pela primeira vez, usados os aditivos superplastificantes, criando assim um concreto mais plástico, Freitas, Jr (2005). Nos anos 80, pouco a pouco, foram aumentando as dosagens destes aditivos, mostrando que os mesmos funcionavam como redutores de água de grande efeito (AÏTCIN, 2000 *apud* ALBINER & MORENO, 1991), assim viabilizou-se a produção de concretos com fatores água/aglomerantes baixos e resistências características com 50 MPa ou mais (CONCRETOS Grupo II, NBR-8953), sendo estes concretos denominados concreto de alta resistência. Simultaneamente

na década de 80, alguns pesquisadores desenvolveram pesquisas sobre o uso de sílica ativa, um tipo de pozolana muito fina e reativa, que reduz os pequenos espaços entre agregados miúdos e graúdos, aumentando sua capacidade de resistência à compressão, tornando-se como material cimentício suplementar, onde ficou provado que o seu uso é muito vantajoso ao concreto, (AİTCIN, 2000). A aplicação de adições de sílica ativa, em percentuais da ordem de 8 a 10% da massa de aglomerante, tornou o concreto de alta resistência mais viável, facilitando a obtenção de resistências maiores com menores consumos de cimento, Freitas JR (2005). Segundo Serra (1997), declara que a sílica ativa em conjunto com os superplastificantes aumenta a compacidade, baixando a porosidade e aumentando a resistência, além de minimizar a ocorrência das microfissuras decorrentes da retração. Deve ser salientado que a redução da porosidade e das microfissuras de retração favorecem em muito a durabilidade do concreto. Almeida (1992), assegura que foi a incorporação conjunta destes materiais sílica ativa e superplastificantes que transformou os concretos correntes em verdadeiros super-concretos, com maior durabilidade e resistência superiores.

Nos anos 80, em diversas cidades dos Estados Unidos foram construídos edifícios com estruturas de concreto com resistências à compressão da ordem de 50 a 120 MPa (MEHTA & AİTCIN, 1990a), (Tabela 1). Segundo MALHOTRA (1998) *apud* RICHARD & CHEYREZ, pesquisas com concretos pós-reativos atingiram-se resistências à compressão de 200 MPa.

Na Tabela 1, é apresentada uma série de obras onde foram usados com o concreto de alta resistência, relacionando alguns dados da composição dos concretos, nela podemos observar à evolução do concreto e o resultado alcançado ao passar dos anos.

Tabela 1 - Edifícios executados com concreto de alta resistência.

EDIFÍCIO	LOCAL	ANO	Nº Pav	$f_{ck}$ MPa	Relação a/(c+ag)	C kg/m <sup>3</sup>	Adições kg/m <sup>3</sup>
MASP	São Paulo	1963		45	0,32	565	
Lake Point Tower	Chicago	1965	70	52			
Water Tower Place	Chicago	1975	79	62	0,35	505	CV-12%
River Plaza	Chicago	1976	56	62 <sup>+</sup>	0,35	505	CV-12%
Columbia Center	Seattle	1983	76	66	0,25	384	CV-20%
Interfirst Plaza	Dallas	1983	72	69			
311 South Wacker Drive Tower	Chicago	1989	79	83		272	SA
Grand Arche de la Défense	Paris	1988		65	0,40	425	SA-7%
Two Union Square	Seattle	1989	58	115	0,20	513	SA-8%
Pacific First Center	Seattle	1989	44	115		534	CV-11% SA-1%
Scotia Plaza Building	Toronto	1988		70	0,30	315	E-43% AS-11%
One Wacker Place	Chicago	1990	100	80			
CNEC	São Paulo		18	60	0,28	523	SA-12%
225 W. Wacker Drive	Chicago	1989	31	96 <sup>++</sup>			SA
Melbourne Central Tower	Melbourne	1990	55	80	0,33		SA
Cond. Emp. Previnor	Salvador		18	60	0,32	560	SA-10 a 12%
Suarez Trade	Salvador	1993	31	60	0,29	540	SA-11%
First Republic Bank Plaza	Dallas	1986	72	69	0,35	354	CV-42%
One Peachtree Center	Atlanta	1991	95	83	0,29		SA-8,7%
<p><b>LEGENDA:</b> CV - Cinza Volante; SA - sílica ativa ; E - Escória.  <b>NOTA:</b> + - dois pilares experimentais de 76 MPa;                  ++ - pilar experimental de 117 MPa.</p>							

Fonte: (FREITAS JR, 2005 p. 23)

Em São Paulo, recentemente, usou-se concretos com resistência característica à compressão de até 125 MPa no edifício E-Tower com 42 andares e 162 m de altura. Usando aditivos superplastificantes para obter um abatimento de 140 a 200 mm usando uma relação água/cimento de 0,19 e adições de sílica ativa e argila calcinada (HARTMAN & HELENE, 2004).

## **2.2. Principais Aplicações**

### **2.2.1. Edifícios**

As construções atuais estão investindo muito no concreto de alta resistência, pois ele reduz as seções dos pilares tornando mais esbeltos e gera uma viabilidade construtiva, pois seu uso faz com que gere uma economia em alta escala, como, por exemplo: o E-Tower localizado na zona sul da cidade de São Paulo, segundo a reportagem do site Mapa da Obra publicada em 19/04/2016; informa que o edifício foi construído com alguns pilares confeccionados com o concreto de alta resistência, o prédio hoje conta com 148m de altura e 107 mil m<sup>2</sup> de área construída, com heliponto, piscina semiolímpica, 800 vagas, escritórios. Inês (1995) cita que, concretos com resistências muito maiores que as usuais podem ser usadas em situações nas quais é importante uma redução do peso ou quando a arquitetura impõe o uso de peças esbeltas. Além disso, Nilton (1985) que o custo é menor para o aumento de resistência do concreto, do que mesmo o aumento de armadura.

### **2.2.2. Pontes**

Para as pontes com grandes vãos, a combinação do concreto de alta resistência, para reduzir a carga permanente, com a protensão, para controlar as deformações, estendeu os vãos das pontes para mais de 270m. (INÊS, 1995)

As pontes por ter uma necessidade de vencer grandes vãos, tornou-se viável a utilização do concreto de alta resistência, segundo Inês (1995), o concreto tem sido indicado com o objetivo de reduzir as dimensões das vigas e o peso próprio. MACININIS & THOMPSON (1970) citam, como exemplo, a ponte Willows Bridge, no Canadá, que obteve uma resistência de 69 Mpa aos 28 dias.

### **2.2.3. Túneis**

Na atualidade diversas construções de túneis são feitas com o concreto de alta resistência e com adição de fibras, com intuito de diminuir o risco de fissuras no concreto e de aumentar a capacidade de carga. Segundo a reportagem do site Mapa da obra (2015), as construções atuais trabalham com o revestimento de concreto projetado com adição de fibras, essa técnica surgiu no Brasil e tornou-se referência



mundial, como aponta o Engenheiro Cássio Luis Abeid Moura, diretor da Concreto Projetado do Brasil (CPB).

**Figura 2 – Concreto auto-cicatrizante ganha espaço na construção civil.**



Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/> , acesso em 13/04/2020.

## **2.3. Composição e Produção**

A produção exige uma boa seleção dos materiais, para que possa garantir a resistência esperada e a boa trabalhabilidade. O concreto é produzido com uma variedade de materiais, sempre baseando em resultados de ensaios em laboratórios com diversas misturas.

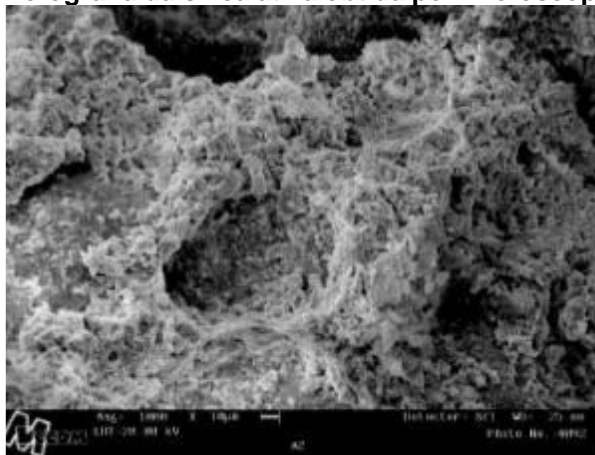
### **2.3.1. Cimento Portland CPV- ARI**

O cimento portland de alta resistência inicial (CPV-ARI) tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade.

### 2.3.2. Sílica Ativa

A sílica ativa é uma das adições minerais mais utilizadas em concretos, principalmente em concreto de alto desempenho, onde além de buscar altas resistências mecânicas, busca-se também diminuir a porosidade e a permeabilidade, melhorando e aumentando a durabilidade do material. Utilizada como adição mineral a sílica ativa pode agir de duas maneiras, sendo elas através da ação química com efeito pozolânico, e ação física pelo efeito fíler (HERMANN *et al.*, 2016). Suas partículas ( $\text{SiO}_2$ ) são esféricas, e em comparação com a granulometria do cimento pode ser 50 a 100 vezes menor (ACI 234R-96, *et al.*, 2001, *apud* MENDES *et al.*, 2002). Por ser tão fina, preenche todos os vazios existentes entre as partículas maiores de cimento, colaborando para a densificação tanto da pasta de cimento como da zona de transição, produzindo uma microestrutura mais densa, e com um menor índice de vazios no concreto (HERMANN *et al.*, 2016)

**Figura 3 – Micrografia da sílica ativa obtida por microscopia eletrônica**



Fonte: (SANDRO MENDES, 2018, p..4)

A sílica ativa pode ser utilizada em teores que variam de 5% a 15% sobre a massa de cimento, nesta proporção a sílica ativa pode contribuir para melhorar a trabalhabilidade da mistura em estado fresco, pois suas partículas ocupam os vazios entre as partículas de cimento, entretanto quando adicionada com teores superiores a 15%, a sílica ativa aumenta o consumo de água e pode ocorrer o chamado efeito de afastamento, onde as partículas maiores são afastadas pelas menores, colaborando para o aumento do volume de vazios e necessitando de aumento no consumo da água (HERMANN, *et al.*, 2016).

**Figura 4 – Características Físicas e Químicas**

<b>Características Físicas e químicas</b>	
Massa Específica .....	2.220 kg/m <sup>3</sup>
Teor de SiO <sub>2</sub> .....	> 90%
Superfície Específica (B.E.T) .....	~ 19.000 m <sup>2</sup> /kg
Formato da partícula .....	Esférico
Diâmetro médio da partícula .....	0,20 $\mu$ m
<b>Massa unitária</b>	
Não Densificado .....	< 350 kg/m <sup>3</sup>
Densificado .....	> 350 kg/m <sup>3</sup>
<b>Comparativo de finura de alguns materiais</b>	
Sílica ativa .....	~19.000 m <sup>2</sup> /kg
Fumaça do cigarros .....	~10.000 m <sup>2</sup> /kg
Fly Ash (Pozolana) .....	400 a 700m <sup>2</sup> /kg
Cimento Portland .....	.300 a 500m <sup>2</sup> /kg

Fonte - Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/> acesso em 29/03/2020)

### 2.3.3. Fibra de Polipropileno

As fibras de polipropileno são compostas por filamentos extremamente finos, produzidos através de processo de extrusão. Seu uso é indicado em concretos e argamassas, pois reduzem o índice de fissuras provocadas pela retração e assentamento. Isto se deve a sua capacidade de retenção de água no interior destes. Além disso, propiciam um controle sobre os fenômenos de exsudação e segregação.

As fibras de polipropileno também melhoram o desempenho do concreto endurecido, aumentando sua resistência quanto:

Ao desgaste, pois através do controle da exsudação, evita-se o aumento na relação água/cimento responsável pela diminuição da resistência do concreto.

Ao impacto, uma vez que controlam o índice e profundidade das fissuras, ajudando a preservar a integralidade da estrutura.

Ao fogo, já que na fundição das fibras a altas temperaturas (>160°C), são criados micro-canais que aliviam a pressão gerada pelos vapores d'água causadores do fenômeno "spalling", aumentando o tempo de degradação das estruturas em casa de incêndios.

(Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/> acesso em 23/11/2019)

### 2.3.4. Fibras de Aço

As fibras de aço são utilizadas para reforço de concreto, ela é produzida a partir de fios de aço de baixo teor de carbono, que quando adicionadas ao concreto, atuam como uma armadura tridimensional, restringindo a propagação de fissuras e aumentando a resistência pós-fissuração do elemento estrutural.

O uso das fibras de aço no concreto proporciona um melhor comportamento dos elementos estruturais, devido à redução da formação de fissuras, resultando em melhor qualidade e maior durabilidade da obra.

Outras vantagens em relação ao seu uso é que substitui, em algumas situações, a armadura convencional, e elimina ou diminui custos com mão-de-obra para armação e praticamente não gera desperdício de material, não exige grandes investimentos para transporte e estocagem e seu manuseio e aplicação são simples.

Em resumo, além de tornar o concreto reforçado com fibras metálicas, a utilização das fibras aumenta a resistência do concreto à:

- ✓ Fissuração;
- ✓ Impacto;
- ✓ Puncionamento;
- ✓ Cargas variáveis;
- ✓ Variações térmicas;

Além de tornar o concreto fibro- reforçado, mais dúctil e menos permeável.

Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/> acesso em 23/11/2019.

### 2.3.5. Aditivo Superplastificante Silicon AD NS 400

O aditivo Silicon ns ad 400 é um aditivo líquido superplastificante à base de policarboxilato modificado com nanosílica estabilizada. A nanosílica estabilizada dispersa homogêaneamente no concreto fresco gera uma rede de produtos de reação similares aos do cimento Portland, mas com propriedades físico-mecânicas e químicas melhoradas. Esta rede inicial induz o crescimento dos outros produtos com melhores propriedades, traduzindo em um concreto de maior qualidade e durabilidade do que sem a nanosílica estabilizada. A nanosílica influi nas propriedades do concreto de forma permanente. Este aditivo é de última geração com diferente atividade e tempo de manutenção de abatimento (até 4 horas), atendendo todos os tipos de concretos para: indústria de pré-moldado, para pavimentos, de alta resistência inicial, auto-adensável (CAA), de alto desempenho (CAD), bombeável e arquitetônico e outros tipos de concretos especiais (ex: concreto para reparos, microconcreto, grouts, etc).

✓ **Benefícios:**

A ação conjunta da nanosílica e dos policarboxilatos da última geração (tecnologia exclusiva da Silicon), sempre que

os aditivos sejam dosados corretamente, confere ao concreto as seguintes propriedades:

✓ **Estado fresco:**

Melhora da reologia do concreto com maior coesão sem perda de abatimento, possibilita fabricar concretos fluidos com relações a/c extremamente baixas, menor segregação e exsudação, maior área de contato entre a pasta de cimento e os agregados, o que refina a estrutura do material desde a escala nanométrica (10-9 m), preenchendo assim os vazios.

✓ **Estado endurecido:**

Maior resistência mecânica inicial e final, especialmente a tração e flexo-tração, maior módulo de elasticidade, na indústria de pré-moldado permite a redução do tempo de cura a vapor ou sua eliminação, maior estabilidade volumétrica, menor fissuração por retração, menor liberação de calor, melhor textura superficial das partes externas do concreto, menor porosidade e permeabilidade, tanto à água como aos gases, no caso do concreto armado, maior aderência entre a massa do concreto e o aço e menor velocidade de carbonatação.

(Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/> acesso em 02/06/2020)

## 3. ESTUDO DE CASO

### 3.1. Estudo da dosagem dos agregados

Adotamos a resistência inicial de 45 Mpa, de acordo com o seguinte traço abaixo fornecido pelo aplicativo Construcalc e seguimos a base para o nosso trabalho.

As dosagens dos agregados:

- **Para concreto sem a Sílica Ativa:**
  - 10 kg de Cimento Portland CPV-ARI
  - 18,84 kg de Areia Média Lavada
  - 16,97 kg de Brita 1
  - 2,912 L de Água (foi retirada a porcentagem de 10% de umidade betoneira+20% da areia)
  - 0,12 L de Aditivo Superplastificante Silicon
  
- **Para concreto com Sílica Ativa:**
  - 10 kg de Cimento Portland CPV-ARI
  - 18,84 kg de Areia Media Lavada
  - 16,97 kg de Brita 01
  - 2,912 L de Água (foi retirada a porcentagem de 10% de umidade betoneira+20% da areia)
  - 0,12 L de Aditivo Superplastificante Silicon
  - 1 kg de Sílica Ativa (considerado 10% para cada kg de cimento)

### **3.2. Moldagem dos corpos de prova**

Seguimos todos os parâmetros estabelecidos pela NBR 5738:2015 que relaciona todos os procedimentos para moldagem, tais como o adensamento do material, processo de cura e sua amostragem final de resistência com o auxílio da prensa hidráulica.

A NBR 5738:2015 pede que a para corpos de prova com dimensão de diâmetro de 100mm e altura de 20 cm, o número de golpes é de 12 por camada, sendo moldado em 2 camadas. De acordo com a norma NBR 5738:2015, a primeira camada deve ser atravessada em toda a sua espessura quando adensada com a haste, evitando-se golpear a base do molde. Os golpes devem ser distribuídos uniformemente em toda a seção transversal do molde. Cada uma das camadas seguintes também deve ser adensada em toda sua espessura, fazendo com que a haste penetre aproximadamente 20 mm na camada anterior.

### **3.3. Processo de Cura**

De acordo com a norma NBR 5738:2015, os corpos de prova devem ficar durante às suas primeiras 24 horas armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar perda de água do concreto. Após esse processo deve-se imediatamente deixar os corpos de prova submersos durante 28 dias para poder ser feita à análise laboratorial.

### **3.4. Confeção dos corpos de prova**

Com a ajuda de uma balança, pesamos todos os agregados e separamos, em seguida fizemos a mistura com o auxílio de uma betoneira de 400 litros.

**Figura 5 –Mistura dos agregados**



Conforme o traço calculado, separamos os materiais e antes da mistura dos agregados conforme Figura 5, fizemos a limpeza da betoneira para retirar sujeiras que possam interferir nos resultados. Seguimos à ordem de mistura conforme:

- 1º. Brita 1
- 2º. Cimento CPV ARI
- 3º. 70% da água
- 4º. Areia Média Lavada
- 5º. 30% da água restante
- 6º. Aditivo
- 7º. Deixamos a mistura bater por aproximadamente 5 minutos para obter uma boa homogeneidade do material.



**Figura 6 – Confeção dos Corpos de Prova**



**Figura 7 – Identificação dos Moldes**



Figura 8 – Amostragem com 7 dias, concreto com sílica



Figura 9 - Amostragem com 7 dias, concreto com sílica



A figura 6 e 7 relata a confecção dos corpos de prova, no qual seguimos o padrão adotado de acordo com a norma NBR 5738:2015. E as figuras 8 e 9 compõe o teste feito na concreteira POLIMIX em Campo Limpo Paulista, que sedeu o espaço para realização do teste. A unidade de medida da prensa é em KG e logo por meio de cálculo podemos obter a característica à compressão, que logo abaixo as fórmulas nos ajudam à converter o resultado.

A área do corpo de prova é calculada pela seguinte equação:

$$A_c = \pi r^2$$
$$A_c = \pi * 5^2 = 78,54 \text{ cm}^2$$

Temos o cálculo da tensão que é dada em (kg/cm<sup>2</sup>)

$$\tau = \frac{F}{A_c}$$
$$\tau = \frac{38.000 \text{ kg}}{78,54 \text{ cm}^2} = 483,83 \text{ kg/cm}^2$$

Onde F é a força de compressão.

O resultado obtido acima, transformamos em MPa para obter a resistência característica do concreto, que é:

$$MPa = \frac{1}{10} * \frac{Kg}{Cm^2}$$

$$MPa = \frac{1}{10} * 483,83 = 48,38 \text{ MPa}$$

**Figura 10 - Amostragem com 7 dias, concreto com ruptura correta em cone**



### **3.5. Cálculo para o traço com fibra de aço e polipropileno**

O traço à ser adotado será o mesmo que fizemos acima, porém iremos adicionar:

- Fibra de aço Wirand, fabricada pela Maccaferri.
- Fibra de Polipropileno Fibromac 12, fabricada pela Maccaferri.

A porcentagem de dosagem, o fabricante orienta que:

- Para 1 m<sup>3</sup> de concreto, utilizar 600g de Fibromac 12.
- Para 1 m<sup>3</sup> de concreto, utilizar no mínimo 20 kg de fibra de aço Wirand.

Dentro desse padrão iremos adotar o seguinte traço:

10 corpos de prova para concreto com sílica+fibra de polipropileno:

- 10 kg de Cimento Portland CPV-ARI
- 18,84 kg de Areia Media Lavada
- 16,97 kg de Brita 01
- 2,912 L de Água (foi retirada a porcentagem de 10% de umidade betoneira+20% da areia)
- 0,12 L de Aditivo Superplastificante Silicon
- 1 kg de Sílica Ativa (considerado 10% para cada kg de cimento)
- 10g de fibra de polipropileno

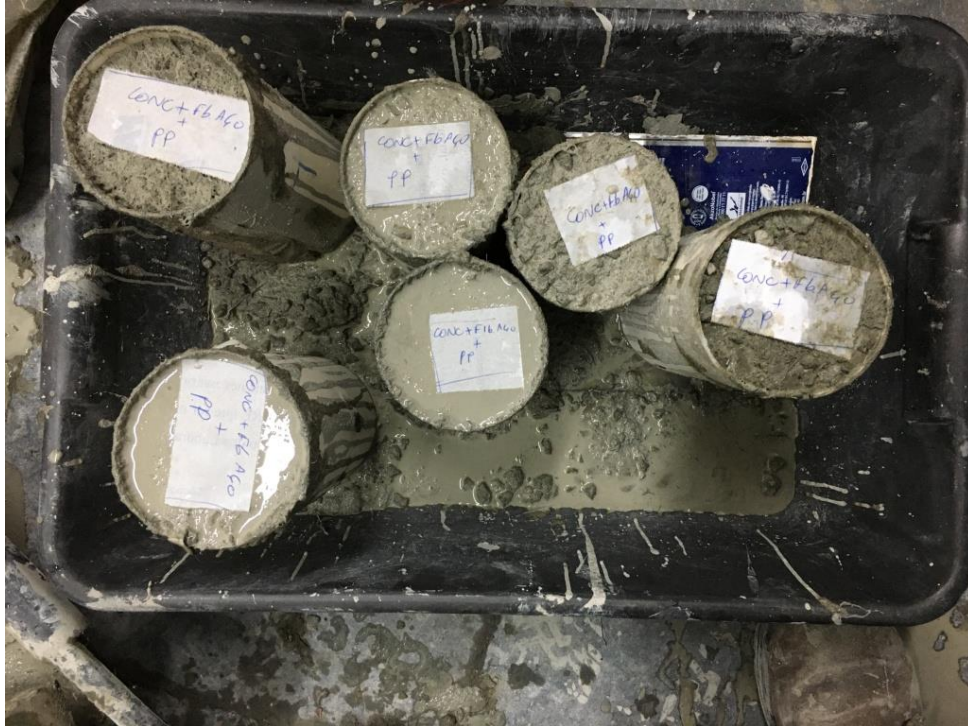
10 corpos de prova de concreto com sílica+fibra de aço:

- 10 kg de Cimento Portland CPV-ARI
- 18,84 kg de Areia Media Lavada
- 16,97 kg de Brita 01
- 2,912 L de Água (foi retirada a porcentagem de 10% de umidade betoneira+20% da areia)
- 0,12 L de Aditivo Superplastificante Silicon
- 1 kg de Sílica Ativa (considerado 10% para cada kg de cimento)
- 0,340g de fibra de aço.

### 3.6. Ensaio em laboratório

O ensaio foi realizado no próprio laboratório da faculdade e com auxílio de uma balança, foi feito todo o controle de pesagem dos agregados.

**Figura 11 Confeção dos corpos de prova**



**Figura 12 Uso da mesa vibratória para o adensamento do concreto**



Figura 13 - Resultado do ensaio à compressão com 3 dias, concreto com fibra de aço

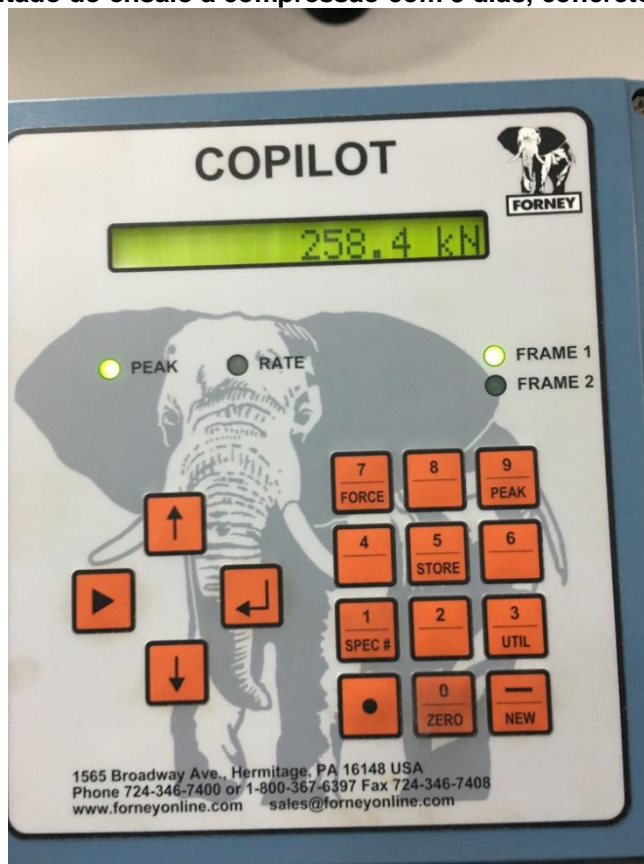


Figura 14 - Ruptura do corpo de prova com fibra de aço

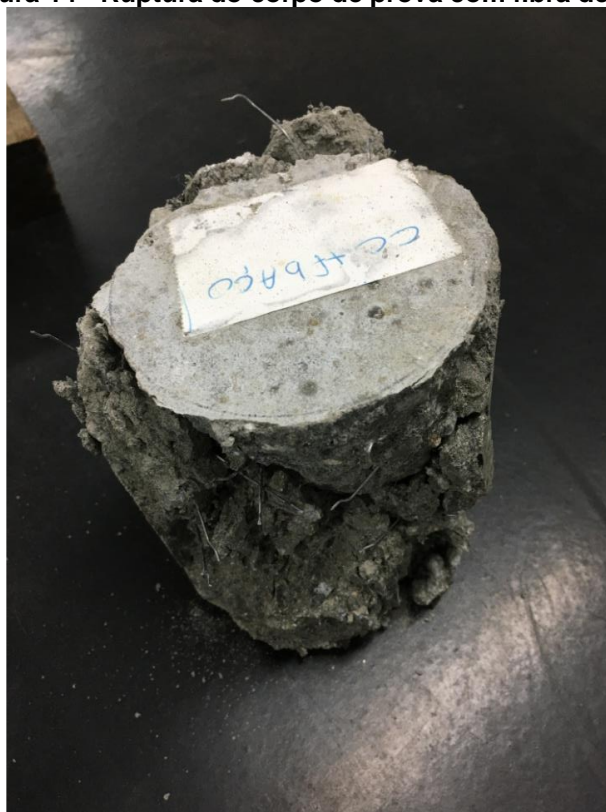


Figura 15 - Amostragem com 12 dias, concreto com fibra de aço



Figura 16 - Resultado do ensaio à compressão com 12 dias, concreto com fibra de aço

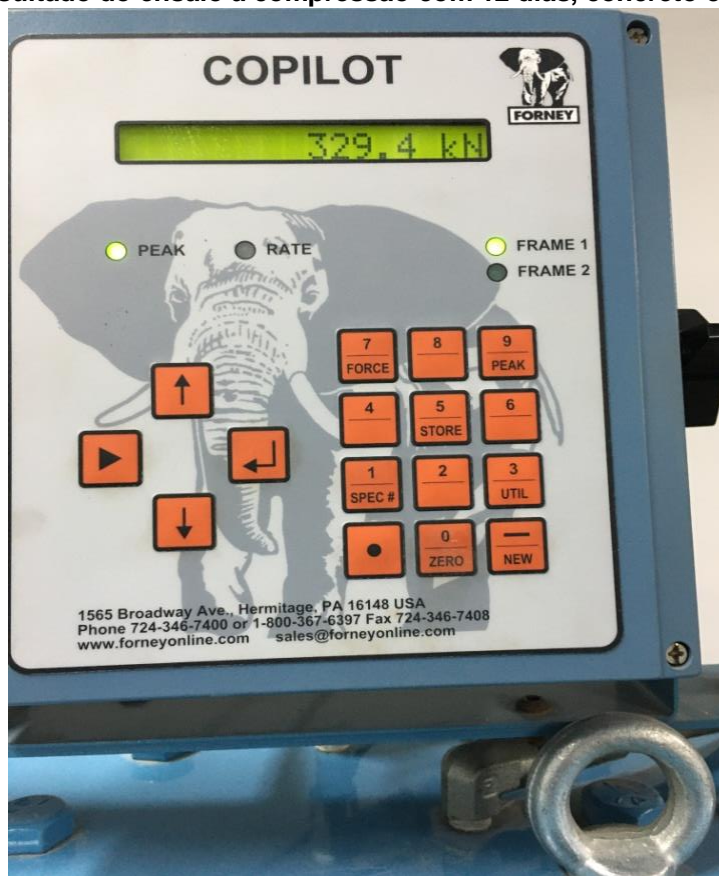




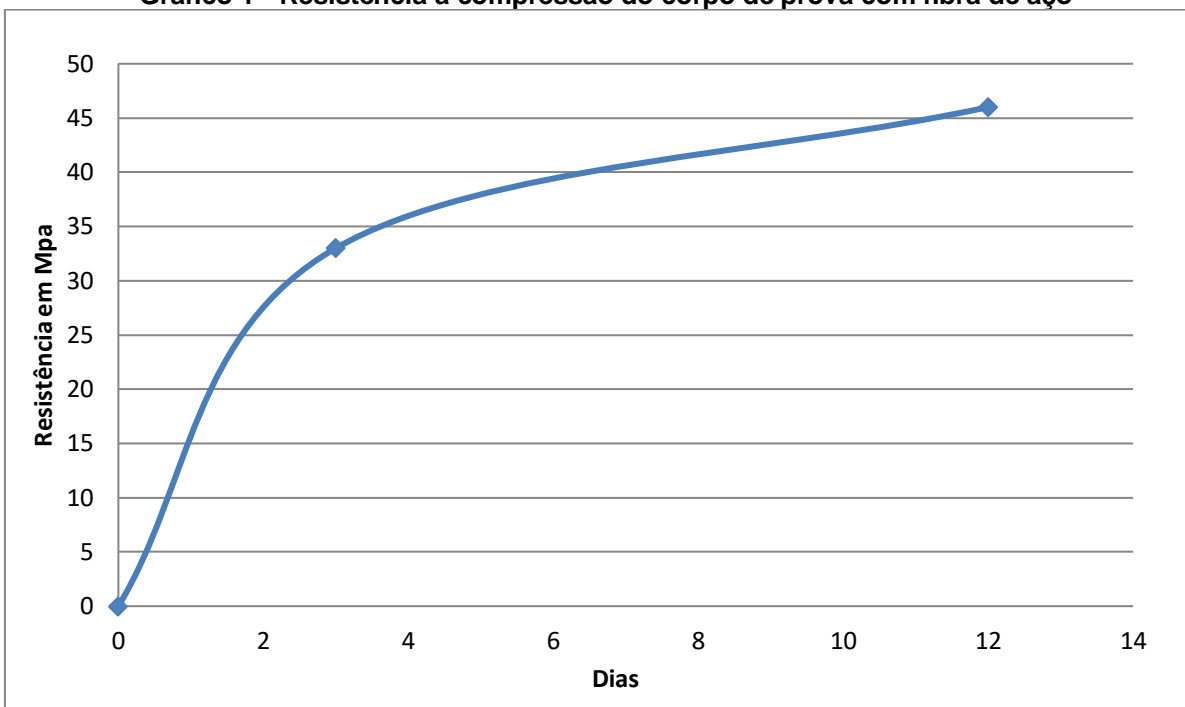
Figura 17 - Ruptura com 3 dias do corpo de prova com fibra de polipropileno



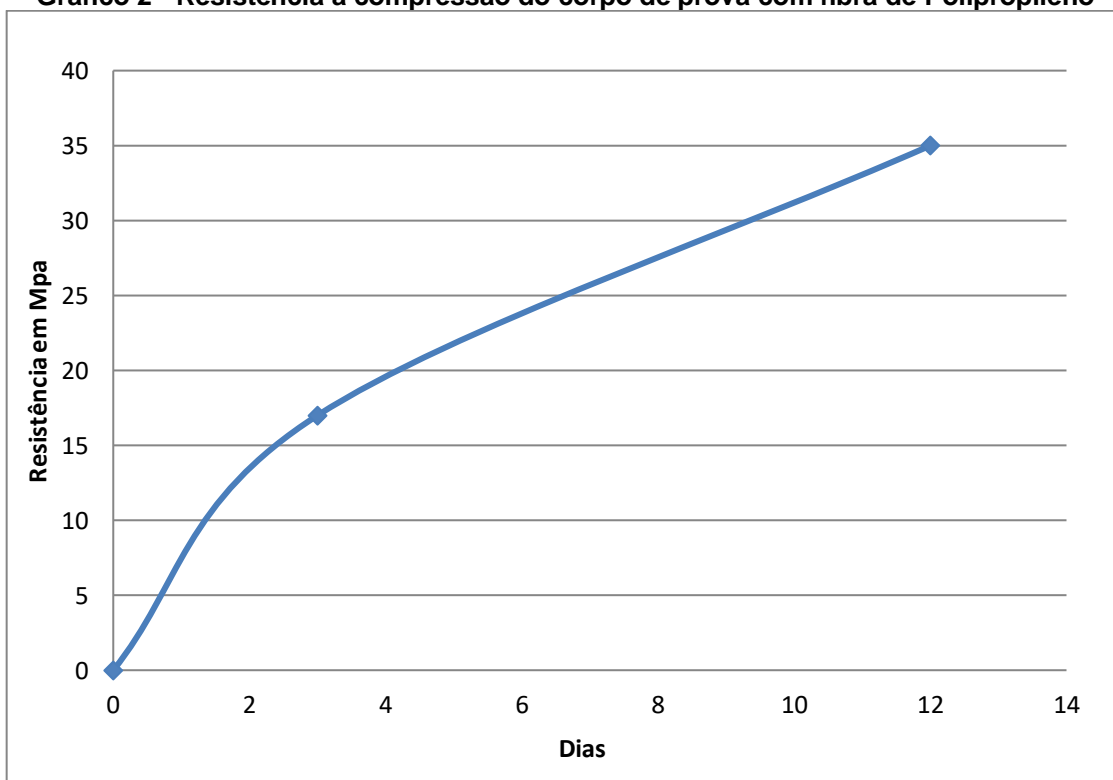
### 3.7. Comparativos em relação ao uso de fibras no concreto

Conforme os dados descritos nas figuras acima e os que anotamos em laboratório, podemos elaborar o seguinte gráfico e analisarmos como foi o ganho de resistência ao passar dos dias. No eixo x está descrito a quantidade de dias e no eixo y o ganho de resistência em Mpa.

**Gráfico 1 - Resistência à compressão do corpo de prova com fibra de aço**



**Gráfico 2 - Resistência à compressão do corpo de prova com fibra de Polipropileno**

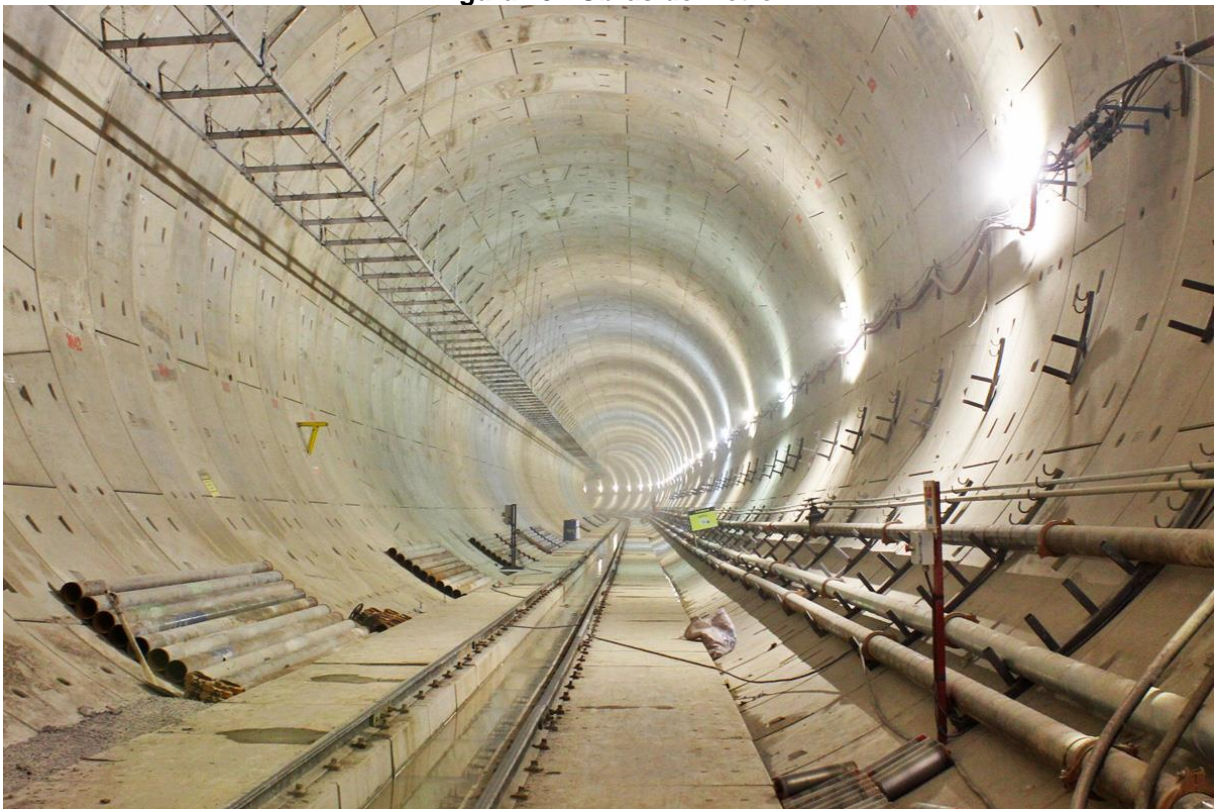


## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o trabalho realizado, podemos concluir que o concreto de alta resistência com adição de fibras, pode-se chegar a grandes resistências, sendo que elas podem ser superiores a 45 Mpa. Porém, podemos perceber que quando usamos a fibra de polipropileno, o concreto torna-se mais resistente a fissuras e a retração pode observar na figura 17 que ao obter o estado limite último do concreto, o corpo de prova com a fibra de aço temos o concreto mais resistente à compressão.

O maior uso do concreto com fibra de aço e polipropileno é o segmento de obras metroviárias e galpões onde existe o maior passeio de carga. As figuras abaixo demonstram os principais segmentos do concreto na construção civil:

**Figura 18 - Obras do Metrô**



Fonte - Disponível em: <https://www.metrocptm.com.br> e acessado em 15/07/2020

**Figura 19 - Obras do Metrô**



Fonte - Disponível em: [www.sao-paulo.estadao.com.br](http://www.sao-paulo.estadao.com.br) e acesso em 15/07/2020

Como vimos acima, as obras que empregam esse tipo de material conseguem alcançar altas cargas e também o FCK que podem ser superiores a 80 Mpa. Isso gera um custo muito viável para a obra, pois se fosse um concreto usual iria ter um gasto excessivo com aço para suportar a carga.

Esse experimento nos trouxe uma capacidade de entender mais sobre os materiais do concreto e suas composições, tais como controle de pesagem, ruptura, adensamento e manuseio.

Futuramente aprimoraremos nosso conhecimento com esse material para que possamos acrescentar mais experimentos para que assim possamos agregar na nossa carreira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**GIL**, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social / Antônio Carlos Gil. 6. Ed. – 5. Reimpr. - São Paulo: Atlas, 2012.

**GODOY**, ARILDA S.; Refletindo Sobre Critérios de Qualidade da Pesquisa Qualitativa. Gestão.Org, v. 3, n. 2, p. 10. Mai. / Ago. 2005. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br>>. Acesso em: 05 Maio 2018. ISSN 1679-1827

**LAKATOS**, EVA M.; Fundamentos da Metodologia Científica. 5 Ed. – São Paulo: Atlas, 2003.

**HERMANN**, E. A. LANGARO, S. H. LOPES DA SILVA, N. S. KLEIN.

Empacotamento de partículas de cimento e sílica ativa em pastas pelo uso de modelo analítico. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. (Volume 9, fevereiro de 2016) Curitiba- PR, p. 48 - 65 • ISSN 1983-4195

**AMERICAN CONCRETE INSTITUTE**. 212.4R-93 (Reapproved 1998), Guide for the Use of High-Range Water-Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete. ACI Manual of Practice 2001. ACI, Detroit (USA), 2001. 10 p.

**AMERICAN CONCRETE INSTITUTE**. ACI 209R-92 (Reapproved 1997). Prediction of creep, shrinkage and temperature effects in concrete structures. ACI 'Manual of Practice 2001. ACI, Detroit (USA), 2001. 47 p.

**AMERICAN CONCRETE INSTITUTE**. ACI 211.1-91 (Reapproved 1997). Standard practice for selecting proportions for normal, heavy-weight, and mass concrete. ACI Manual of Concrete Practice 2001. ACI, Detroit (USA), 2001. 38 p.

**AMERICAN CONCRETE INSTITUTE**. ACI 234R-96. Guide for the use of silica fume in concrete. ACI Manual of Concrete Practice 2001. ACI, Detroit (USA), 2001. 51 p.

**AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.** ACI 318R-99. Building code for structural concrete. ACI Manual of Concrete Practice 2001. ACI, Detroit (USA), 2001. 392 p.

**AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.** ACI 363R-92 (Reapproved 1997) State-of-the-art report on highstrength concrete. ACI Manual of Concrete Practice 2001. ACI, Detroit (USA), 2001. 55 p.

**HARTMAN, C. T.; HELENE, P. R. L.,** Pilares com 125 MPa: Recorde Mundial em Concreto de Alto Desempenho Colorido, 2004.

**AİTCIN, P.-C.** Concreto de Alto Desempenho, tradução de Geraldo G. Serra – São Paulo – Editora Pini, 2000

**ALMEIDA, I. R.,** Concretos de Alto Desempenho. A Evolução Tecnológica dos Concretos Tradicionais, ANAIS DO 1º SEMINÁRIO FLUMINENSE DE ENGENHARIA, Editados pela Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ), novembro de 1992, p. 113-116.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 8953: Concretos para fins estruturais - classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 1992.

**GARZON, L.** Las Torres Petronas – Los edificios, mas altos del mundo alcanzan los 451.9 metros sobre Kuala Lumpur, In: II Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais, Sobral-CE, setembro de 2004. 26p.

**MALHOTRA, V. M.,** Aplicações inovadoras de superplastificantes para produção de concreto de alto desempenho, revista Técnica set/out. 1998. São Paulo, PINI. 8p.

**MEHTA, P.K; AİTCIN, P.-C.,** Microstructural Basis of Selection of Materials and Mix Proportions for High Strength Concrete. In: HSC INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON UTILIZATION ON HIGH STRENGTH CONCRETE, 2, Berkeley, (CA). ACI SP-121. Berkeley, (CA): W.T.Hester, 1990a. p. 265-286.

**MEHTA, P.K; AİTCIN, P-C.**, Principles Underlying Production for High Strenght Performance Concrete. Cement, Concrete & Aggregates v. 12, n.2, p. 70-78. 1990b.

**SERRA, G. G.**, Concreto de Alto Desempenho e a Nova Arquitetura, Universidade de São Paulo, CD-ROM: Concreto de Alto Desempenho, Versão 1.0. Produzido por NUTAU/USP.1997.

**FREITAS, JOSÉ DE ALMEIDA JR.**, Estudo comparativo de métodos de dosagem para concretos de alta resistência com o uso de materiais disponíveis na região metropolitana de Curitiba. UFPR, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, 2005.

**MACCAFERRI.**, Fibras de polipropileno, acessado em 23/11/2019 e disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/produtos/fibras/fibras-fibromac/>

**MACAFFERRI.**, Fibras de Aço, acessado em 23/11/2019 e disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/produtos/fibras/fibras-wirand/>

**TECNOSIL.**, Silica Ativa, acessado em 29/03/2020 e disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa/>

**MAPA DA OBRA.**, E-tower recebe concreto com resistência média de 125 mpa, acessado em 13/04/2020 e disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/e-tower-recebe-concreto-com-resistencia-media-de-125-mpa/>

**TECNOSIL.**, Aditivos para concreto, acessado em 02/06/2020 e disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/aditivos-para-concreto/>

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 5738: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova; Segunda edição, 2015.

**OBRAS DO METRÔ:** <https://www.metrocptm.com.br/video-viaje-pelos-tuneis-da-expansao-da-linha-5-lilas-do-metro>

**OBRAS DO METRÔ:** <https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,solo-fragil-dificulta-obra-da-estacao-higienopolis-da-linha-6-do-metro,1773009>