

# ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA ESCÓRIA DE ALTO FORNO NO CONCRETO DE PÓS REATIVOS – CPR COM E SEM FIBRAS METÁLICAS

Jonas Carvalho José (1), Ângela Costa Piccinini (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)jocarjose@hotmail.com, (2) acp@unesc.net

## RESUMO

O concreto de pós reativos (CPR) é uma mistura composta por materiais de baixa granulometria, com isso, são eliminados os vazios da estrutura internamente, ganhando uma maior resistência e homogeneidade. A utilização do CPR em outros países já possibilitou construções mais leves, esbeltas, de baixo custo de manutenção e com maior vida útil. Este trabalho visa diminuir o custo da mistura de um CPR, além de presar pela parte ambiental, com a substituição em, aproximadamente, 35% de cimento pela escória de alto forno. A mistura foi composta de sílica ativa, cimento, escória de alto forno, areia e uma solução de água com superplastificante. Foram analisados 30 corpos de prova, sendo 15 de referência e 15 com adição de 3% de fibras metálicas. Os corpos de provas (CP) foram submetidos a ensaios de compressão axial aos 7 e aos 28 dias. E, também, aos 28 dias foram analisadas a resistência à tração por compressão diametral, tração na flexão e módulo de elasticidade. Nos corpos de prova sem fibra, obteve-se uma resistência à compressão, aos 7 dias, de 73,49 MPa e 84,70 MPa, aos 28 dias. Comparando-se com as misturas com fibras, aos 7 dias houve uma redução de 3,8% e aos 28 dias um aumento de 5,25% na resistência, diferenças não significativas. A resistência à tração, nas misturas com fibras, aos 28 dias, chegou a 10,7% da resistência à compressão. O módulo de elasticidade aos 28 dias, sem fibras, foi de 43,19 GPa, resultado 4,6% maior que nos corpos com fibras. Por ser um concreto ecoeficiente, com menor consumo de cimento, os resultados encontrados foram satisfatórios, ficando acima da média para um concreto comum, e com maior durabilidade por possuir menos vazios.

Palavras-chave: concreto, pós reativos, escória de alto forno, resistência, fibras metálicas.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido às demandas do mercado da construção civil, novos materiais precisam ser desenvolvidos, seja em função da necessidade de maior capacidade de carga, de menor permeabilidade, de maior durabilidade, ou de quaisquer características necessárias para sua aplicação. (MALLMANN, 2014).

Segundo Soto (2014), após o concreto convencional, já houve o desenvolvimento do concreto de alta resistência, o concreto de alto desempenho e, mais recentemente, o concreto de ultra alto desempenho. O concreto de pós reativos ou somente CPR pode atingir resistências de um concreto de ultra alto desempenho. São concretos

formados de partículas com diâmetro máximo menor que 2mm, que estão aplicados em elementos estruturais. O material oferece grandes resistências à compressão e, também, à tração e à flexão, quando adicionadas fibras metálicas na sua composição. (VANDERLEI, 2004).

Este concreto pode ser utilizado em construções que comportam substâncias radioativas por possuir alta ductilidade, impermeabilidade à água e a gases. Para garantir as propriedades provenientes do mesmo, deve-se obter uma mistura homogênea, eliminando os agregados graúdos, aumentando a densidade através da boa distribuição granulométrica dos grãos, tendo a possibilidade de aplicar pressão no preparo, provocando assim redução do ar presente na moldagem (SERAFIM, LICETTI, 2012).

É composto basicamente de pós - areia de quartzo, cimento comum, pó de quartzo e sílica ativa (microssílica) -, fibras de aço de pequenas dimensões, superplastificante e água. Os CPRs são fabricados em condições semelhantes aos concretos convencionais, porém com baixíssima relação água/cimento - cerca de 0,15. (BINA, 1999).

As fibras metálicas também têm grande influência no composto. Conforme Vanderlei e Giongo (2006), elas atuam redistribuindo as tensões internas e, desse modo, combatem o aparecimento das primeiras fissuras, aumentam sua resistência e tornam o material mais dúctil.

A escória de alto forno é um subproduto do processo metalúrgico (com geração estimada entre 70 a 170 kg/t aço bruto), obtido durante a fundição dos metais, quando as impurezas são separadas e removidas em diversas faixas granulométricas. (ROSSA, 2012).

A abordagem das relações entre produção, ambiente e saúde fica enfatizada em casos específicos de saúde coletiva, como o que apresenta a produção industrial do cimento. (MAURY, 2012).

Yang *et al* (2009), para redução de custo e de impacto ambiental, analisaram uma mistura com substituição de parte do cimento por escória de alto forno (GGBS- *ground granulated blast-furnace slag*) e sílica fume (SF). Hassan (2013) também utilizou GGBS substituindo parte do cimento para análise de um concreto de ultra alto desempenho para aplicação em pontes rodoviárias.

Segundo Silva *et al* (2013), mesmo já existindo algumas estruturas construídas com esse material, principalmente na Europa e nos EUA, este ainda necessita de muitos

estudos acerca de sua caracterização e aplicação, podendo ser um tema potencial de novas pesquisas e de desenvolvimento de tecnologias para sua aplicação prática no ramo da construção civil, principalmente no Brasil, onde o CPR ainda é pouco conhecido e explorado, não sendo utilizado comercialmente.

Nesta linha, pretende-se analisar o comportamento do concreto de pós reativos com substituição de 35% de cimento Portland por escória de alto forno, reduzindo custo e impacto ambiental. Serão analisados corpos de prova com e sem adição de fibras metálicas. Desta forma serão moldados corpos de prova de 5 x 10 cm (cilíndricos) e corpos de prova de 4x4x16 cm (prismáticos), submetidos a ensaios de compressão, tração e módulo de elasticidade, além da análise por MEV (microscópio eletrônico de varredura) que nos evidenciará a disposição molecular dos agregados miúdos que compõe o traço.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 MATERIAIS UTILIZADOS**

#### **2.1.1 Cimento Portland**

O cimento utilizado foi o CP-V- ARI, que atinge altas resistências já nos primeiros dias da aplicação.

#### **2.1.2 Areia**

A areia utilizada foi a média fina n.50 normal brasileira, fornecida pelo IPT (Instituto de Pesquisa e Tecnologia), de acordo com a NBR 7214:2015.

#### **2.1.3 Sílica Ativa**

A sílica ativa utilizada na pesquisa apresenta diâmetro médio das partículas de 0,20  $\mu\text{m}$  e massa específica de 2,22  $\text{g}/\text{cm}^3$  e foi disponibilizada pelo Iparque (Parque Científico e Tecnológico da Unesc).

#### **2.1.4 Escória de alto forno**

A escória de alto forno, disponibilizada pela UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) foi moída e peneirada na peneira de nº 30 de 600  $\mu\text{m}$ , tendo como

principais componentes, identificados por análise química, o óxido de cálcio (CaO) e o óxido de silício (SiO<sub>2</sub>).

#### 2.1.5 Superplastificante

O aditivo utilizado foi da marca SIKA, da linha Viscocrete® 3535 cb, o líquido possui uma cor castanho e um pH de 5.00 - 10.00.

#### 2.1.6 Fibras Metálicas

As fibras metálicas utilizadas têm nome comercial de DRAMIX OL TYPES, uma fibra importada da China, que tem dimensões de 13 mm de comprimento e 0,15 mm de espessura.

Figura 1 – Fibras Metálicas.



## 2.2 MÉTODO

A moldagem foi realizada de acordo com a norma 5738:2015 em corpos de provas (CP) cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, para análise de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade e corpos de provas (CP) prismáticos com 4x4x16 cm, para análise da tração por flexão.

No estudo, foi analisada a resistência do concreto de pós reativos com 35% de substituição do cimento Portland por escória de alto forno. Foram analisados 30 corpos de prova, sendo 15 de referência e 15 com adição de 3% de fibras metálicas. Os corpos de provas (CP) foram submetidos a ensaios de compressão axial aos 7 e

aos 28 dias, compressão diametral, flexão e módulo de elasticidade aos 28 dias. Os testes foram realizados no laboratório LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil) localizado no IPARQUE (Parque Científico e Tecnológico) da UNESC.

O traço utilizado foi baseado no estudo experimental de Yang *et al* (2009). A Tabela 1 mostra o traço utilizado neste estudo.

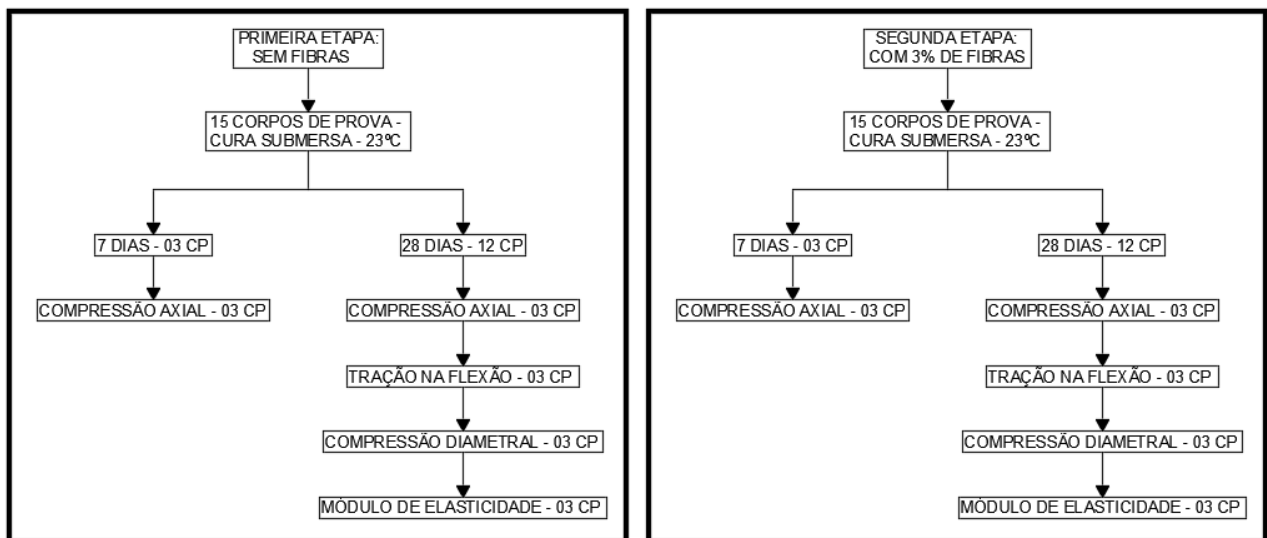
Tabela 1: TRAÇO DO ESTUDO EXPERIMENTAL CPR

Material	Dosagem – Sem fibras	kg/m <sup>3</sup>
<b>Cimento CP V – Ari</b>	1	657
<b>Areia</b>	1,6	1051
<b>Sílica Ativa</b>	0,182	119
<b>GGBS</b>	0,65	430
<b>Superplastificante</b>	0,027	18
<b>Relação água cimento</b>	0,293	181

As misturas se diferem somente na adição das fibras, onde utilizou-se na dosagem 3% de fibras em relação ao cimento utilizado na mistura.

A partir do traço, o trabalho consistiu na moldagem de 30 corpos de prova, sendo realizado compressão axial aos 7 e aos 28 dias, compressão diametral, flexão e módulo de elasticidade aos 28 dias.

Figura 2 – Fluxograma das etapas do trabalho.



### 2.2.1 PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa foi a confecção dos corpos de provas sem fibras metálicas, conforme a dosagem da tabela 1. Os materiais foram pesados previamente e separados em bandejas, para serem misturados posteriormente.

O misturador utilizado foi de 5 litros do LMCC (laboratório de Materiais de Construção) da UNESC.

Com o misturador mecânico ainda desligado foram adicionados os materiais, sílica, cimento, GGBS e areia, respectivamente, exceto água e aglomerante. Foi deixado por 5 minutos em velocidade baixa.

Após esse período, com o misturador ligado, foi acrescentado água e aglomerante em uma solução única e mais 5 minutos em velocidade baixa, logo após colocou-se na velocidade alta por mais 5 minutos. Observou-se que, a partir de 8 minutos, com a adição da solução, a mistura começa a se homogeneizar e com possibilidade de ser moldada. Foram confeccionados 15 corpos de provas.

A mistura pronta foi moldada segundo a NBR 7215:1996 em corpos de prova cilíndricos com medida 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e corpos de provas prismáticos com 4x4x16 cm.

Após 48 horas, os corpos de provas foram retirados dos moldes e colocados em um tanque com água a 23° C, em que permaneceram até o dia de sua ruptura.

### 2.2.1 SEGUNDA ETAPA

Para a segunda etapa, foi adicionado na mistura 3% de fibras com relação ao cimento. A mistura realizada seguiu a mesma linha da primeira etapa, porém as fibras foram adicionadas somente aos 13 minutos de mistura e colocada em partes para que se distribuíssem bem no composto, sendo confeccionados outros 15 corpos de provas.

A moldagem seguiu o procedimento descrito na primeira etapa. Também, após as 48 horas, os corpos de prova foram retirados dos moldes e colocados em um tanque com água a 23° C, em que permaneceram até o dia de sua ruptura.

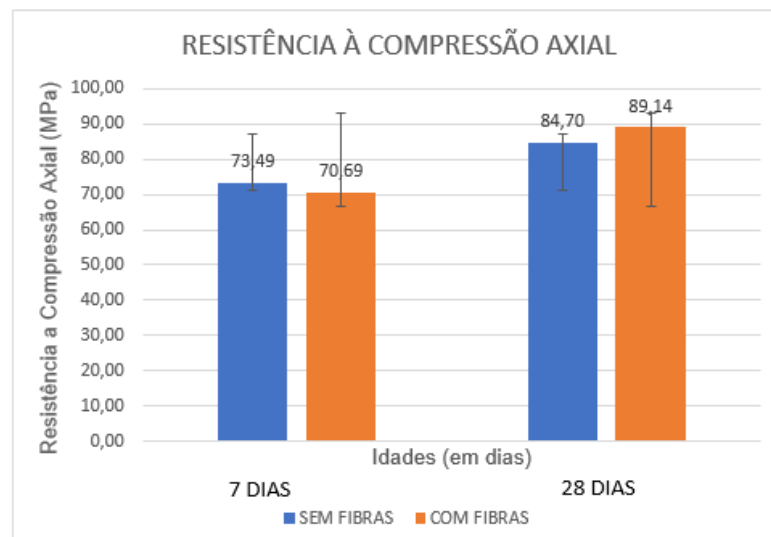


### 3 RESULTADOS

#### 3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão axial seguiu a NBR 5739:2007. Foram ensaiados 6 corpos de prova aos 7 dias, e 6 cps aos 28 dias, sendo 3 com fibras, e 3 sem fibras, ambos com cura submersa em temperatura ambiente. Os resultados encontrados estão na Figura 2, onde estão as resistências médias.

Figura 3 – Gráfico de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias



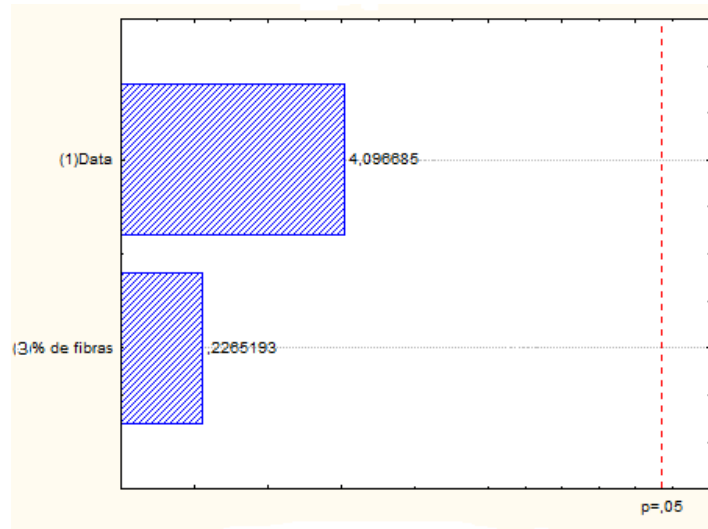
Com a utilização de 35% a mais de cimento na mistura, Machado (2017) obteve resultados inferiores aos encontrados nesta pesquisa, onde nos 7 dias sem fibras obteve 43,18 MPa, e com fibras 58,77 MPa, e aos 28 dias sem fibras, Machado (2017) obteve 65,89 MPa, e com fibras 76,66 MPa. Através disso, verifica-se a relevância dos resultados obtidos, que com a substituição de parte do cimento, conseguiu-se maiores resistências promovendo a redução de impacto ambiental.

#### 3.1.2 ANÁLISE FATORIAL

A análise fatorial foi realizada com o auxílio do *software* Statistica 7. A Figura 3 apresenta o diagrama de Pareto, onde observa-se que a data de ensaio teve maior

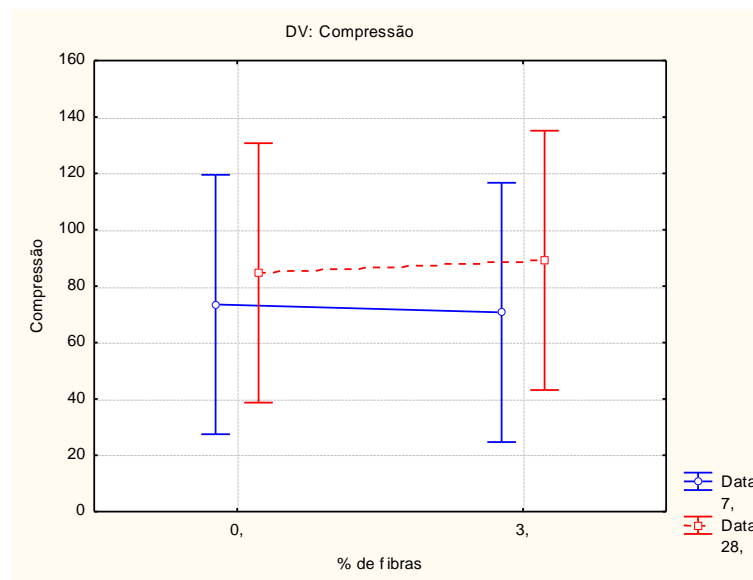
influência na resistência à compressão que a adição de fibras. Mesmo assim, nenhum dos fatores apresentou significância na resistência à compressão.

Figura 4 – Diagrama de Pareto



A Figura 5 apresenta o diagrama das médias das resistências aos 7 e os 28 dias.

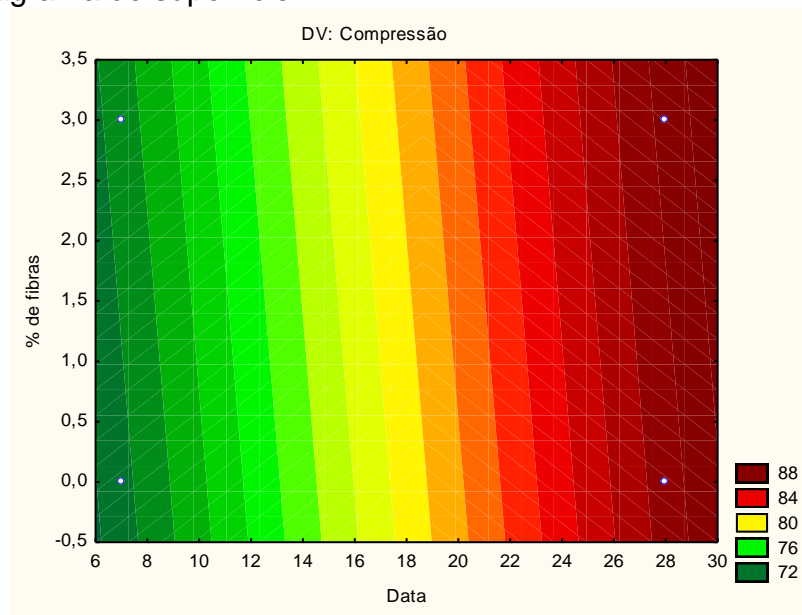
Figura 5 – Diagrama das resistências médias à compressão



Pelo diagrama de superfície, na Figura 6, observa-se, novamente, a não significância da adição de fibras no resultado. Quando se compara aos 7 e aos 28 dias, observa-se o aumento na resistência com a idade, conforme Figuras 5 e 6, mas, não foi significativa, conforme Figura 4.



Figura 6 – Diagrama de superfície



### 3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

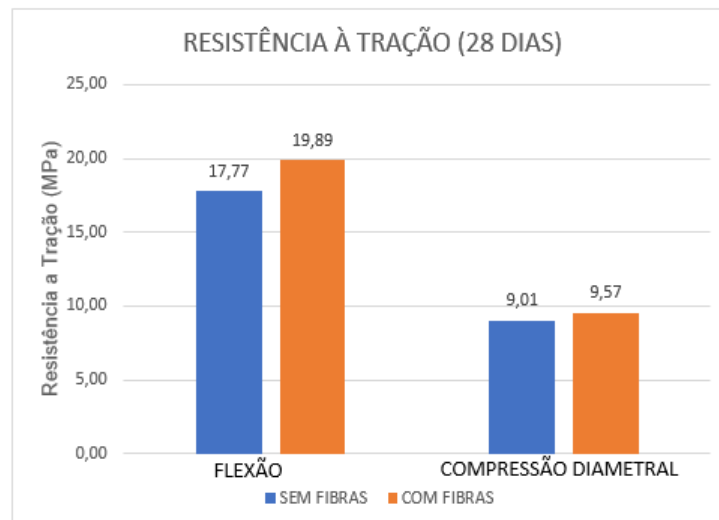
A resistência à tração foi analisada por compressão diametral e por flexão. Para cada análise, foram ensaiados 6 corpos de prova aos 28 dias, sendo 3 com fibras, e 3 sem fibras, ambos com cura submersa em temperatura ambiente.

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7222:1994 e o ensaio de resistência à tração na flexão seguiu a ABNT NBR 12142:2010. Os resultados encontrados estão na Figura 6.

De acordo com a figura 6, obteve-se maiores resistências na flexão que na compressão diametral, chegando ao dobro nas misturas com fibras. Segundo Matos et al (2016) é possível constatar que, quanto maior a classe do concreto, maior essa diferença entre os métodos, podendo chegar a mais de 35%.

Os resultados indicam que a mistura com adição de fibras teve uma resistência superior a de sem fibras nas duas metodologias, entretanto estas não interferem significativamente nos resultados, tendo uma diferença de aproximadamente 12% e 6%, para flexão e compressão diametral, respectivamente.

Figura 7 – Gráfico de resistência à tração aos 28 dias



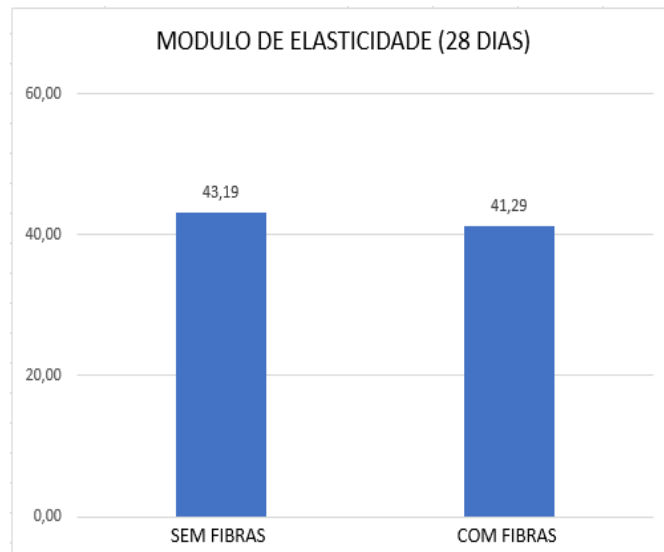
Yang et al (2009), com o mesmo traço, atingiu resultados de 24 MPa e de 130 MPa, na resistência à tração na flexão e na resistência à compressão, respectivamente, estando 20,66% e 44,44% superiores aos obtidos neste trabalho.

A diferença nos resultados de Yang et al (2009) pode ter se dado em função da composição química e da granulometria dos materiais. O cimento utilizado por Yang et al (2009) possui baixo teor de aluminato tricálcico e, conforme Christ (2011), este teor deve ser menor que 3%, para se obter resistências mais elevadas. O cimento utilizado neste trabalho foi o CPV- ARI e, segundo Scheffer (2018), por análise química, contém aproximadamente 30% de Aluminato Tricálcico na composição.

### 3.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE

O ensaio do modulo de elasticidade seguiu a ABNT NBR 8522:2008. Foram ensaiados 6 corpos de prova aos 28 dias, sendo 3 com fibras, e 3 sem fibras, ambos com cura submersa em temperatura ambiente. Os resultados encontrados estão na Figuras 8.

Figura 8 – Gráfico do módulo de elasticidade aos 28 dias



Observa-se que a mistura com fibras apresentou redução de 4,6% no módulo de elasticidade. Essa diferença não é significativa.

### 3.4 MEV

A análise microscópica foi realizada com microscópio eletrônico de varredura, da marca Zeiss, modelo EVO MAIO do laboratório CERTEC, no Iparque da Unesc.

As figuras 9 e 10 apresentam a microestrutura do concreto de pós reativos aos 28 dias, com e sem fibras.

Figura 9 – Microestrutura do CPR aos 28 dias com fibras

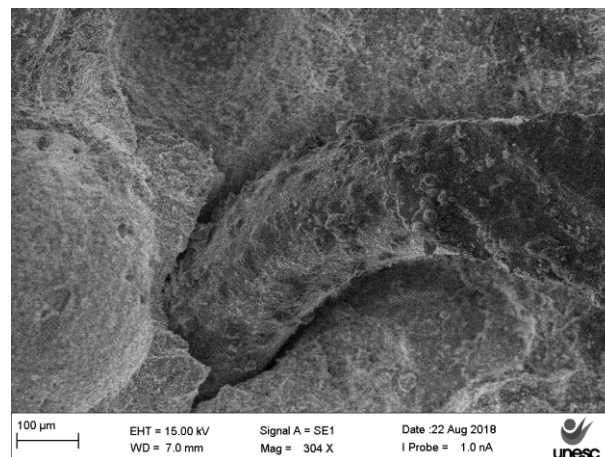
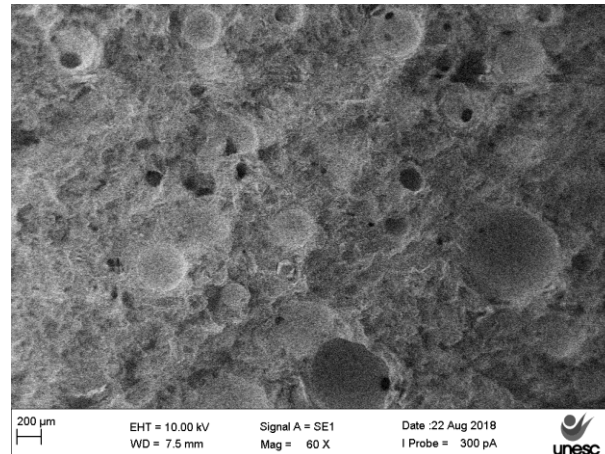


Figura 10 – Microestrutura do CPR aos 28 dias sem fibras



Verifica-se poucos poros na estrutura, sendo que a escória e a areia apresentam um formato mais arredondado.

#### 4 CONCLUSÕES

Os estudos experimentais realizados neste trabalho permitem concluir que:

- A adição de fibras na mistura não influenciou nas primeiras idades. A resistência à compressão aos 7 dias, sem fibras, foi de 73,49 MPa, e com fibras foi de 70,69 MPa, tendo uma diferença de 4%.
- A resistência à compressão aos 28 dias com fibras foi superior em 5,24%, enquanto o sem fibras ficou em 84,70 MPa, o com fibras ficou com 89,14 MPa. Mas, essa diferença estatisticamente não é significativa.
- Comparando-se a resistência à compressão, aos 7 e aos 28 dias, verifica-se um acréscimo de 26,10% nos corpos de prova com fibras, e 15,25% nos sem fibras.
- As resistências à tração apresentaram bons resultados. A resistência por flexão e a resistência por compressão diametral, aos 28 dias, apresentaram resultados de 22,31% e 10,70%, respectivamente, da resistência à compressão.
- As fibras não interferiram nos resultados do módulo de elasticidade, aos 28 dias, ocorrendo uma redução de 4,6% nos corpos de prova com fibras.
- Na análise microscópica, observou-se poucos vazios na mistura, mostrando que diferentemente do concreto convencional, o concreto de pós reativos é mais denso e com baixa porosidade.

Com base nos resultados obtidos neste estudo, fica evidente que este concreto de pós reativos, com redução de cimento, por substituição de escória de alto forno, reduzindo custo e impacto ambiental, é uma mistura que apresentou resultados

satisfatórios, com resistência superior ao concreto convencional e com a vantagem de ser um concreto com menos vazios. Apresenta potencial para atingir grandes resistências, como o Concreto de Alto Desempenho (CAD). Mediante a maior caracterização dos materiais utilizados, com aplicação de pressão e fibras metálicas que mostra ser um fator importante, esta mistura pode atingir boa trabalhabilidade, alta resistência à compressão e à tração, maior durabilidade e ductilidade.

Alemanha, França e Japão são países que já possuem manuais de instruções específicos de utilização do CPR. Contudo, no Brasil, ainda faltam estudos para esse material, logo, são necessárias pesquisas para aproveitar o máximo potencial e alcançar excelentes durabilidades e propriedades mecânicas.

### 3 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214:** Areia normal para ensaios de cimento - Especificações. Rio de Janeiro, 2015. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:** Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:** Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142:** Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010. 5 p.

BINA, Paulo. **Concreto de pós reativos: uma revolução no conceito do concreto.** Revista techne, Sao Paulo: Pini, n° 8, p.50-51, jan/fev, 1999.

CHRIST, Roberto; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO CONCRETO DE PÓS REATIVOS.** 2011. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

HASSAN, A. M. T. **Ultra high performance fibre reinforced concrete for highway bridge applications**. Ph. D. Tese. University of Liverpool, Inglaterra, 2013.

MACHADO, Gabrieli Formentin; PICCININI, Ângela Costa. **Análise experimental do comportamento do concreto pós reativos - cpr**. 2017. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

MALLMANN, Patrícia Fiegenbaum. **Concreto de Pós Reativos: Adição de Nanosílica**. 2013. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MATOS, Larissa Alves et al. **Tração do Concreto: Comparação entre os Métodos de Ensaio de Tração por Compressão Diametral e Tração por Flexão**. 2016. 8 f. Fórum das Engenharias, Montes Claros, out. 2016.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**. 2012. 21 f. Sustentabilidade em Debate, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

ROSSA JUNIOR, J.; PORTELLA, K. F.. **Adição de escória de alto forno em argamassas colantes tipo AC-I**. 2012. 7 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCHEFFER, Mariana Matos; PICCININI, Ângela Costa. **Concreto de Pós Reativos com a Utilização de Escória de alto forno e Pó de Mármore**. 2018. 10 f. Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018.

SERAFIM, Diego; LICETTI, Juliana do Carmo. **Análise do desempenho de três tipos de cimento no concreto de pós-reativos**. 2012. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA, Brudo do Vale et al. Experimental investigation on the use of steel-concrete bond tests for estimating axial compressive strength of concrete: part 1. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [s.l.], v. 6, n. 5, p.715-736, out. 2013.

SOTO, Nicolle Talyta Arriagada. **Avaliação das propriedades do concreto de pós reativos: um estudo de durabilidade**. 2014. 58 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Patologias das Construções, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

VANDERLEI, Romel Dias. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. 2004. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

VANDERLEI, Romel Dias; GIONGO, José Samuel. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. 2006. Universidade Estadual de Maringá, São Carlos, 2006. 34 p.



YANG, S.L., Millard, S.G., Soutsos, M.N., Barnett, T.T. **Influence of aggregate and curing regime on the mechanical properties of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC)**. 2009. Construction and Building Materials-Elsevier, v. 23, n. 6, p. 2291 -2298.