



## Influência de aditivo compensador de retração nas resistências residuais de concretos reforçados com fibras

*Influence of shrinkage compensating admixtures on the residual strength of fiber-reinforced concretes*

Igor Donisete (1); Sergio David da Cruz (2); Dimas Alan Strauss Rambo (3); Ramoel Serafini (4); Renan Pícolo Salvador (4)

- (1) Mestrando em Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu / LPE Engenharia  
(2) Mestre em Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu / Diretor técnico Tec-Machine  
(3) Professor Doutor, PROLAB Engenharia de Construção  
(4) Professor Doutor, Mestrado Profissional em Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu

*prof.renansalvador@usjt.br*

### Resumo

A crescente demanda por pisos industriais de alta resistência e durabilidade impulsiona a pesquisa por materiais inovadores. Este estudo investiga o comportamento mecânico à flexão de concretos reforçados com fibras (CRF) poliméricas, utilizando o aditivo compensador de retração DRY D1 NG, com foco em pisos industriais. Corpos de prova prismáticos de concreto foram ensaiados conforme a norma NBR 16940. Observou-se que o aditivo compensador de retração contribui para um aumento nas resistências residuais  $f_{R,1}$  e  $f_{R,4}$  em 7% e 9%, respectivamente. Esses resultados indicam uma melhoria na capacidade do concreto em resistir a tensões residuais após fissuração, um fator crítico para a durabilidade de pisos industriais. Além disso, o uso do aditivo otimiza as dosagens de concreto reforçado com fibras, garantindo pisos mais resistentes e duráveis. Em conclusão, os achados fornecem uma base sólida para a utilização de aditivos compensadores de retração em concretos reforçados com fibras poliméricas, destacando seu potencial para aprimorar a qualidade e a durabilidade de pisos industriais.

*Palavra-Chave: CRF; aditivo compensador de retração; resistência residual*

### Abstract

The growing demand for high-strength and durable industrial floors drives research into innovative materials. This study investigates the flexural behavior of concrete reinforced with polymeric fibers (FRC), using the shrinkage-compensating admixture DRY D1 NG, focusing on slabs on ground. Concrete prismatic specimens were tested according to the NBR 16940 standard. It was observed that the shrinkage-compensating admixture resulted in an increase in residual strengths  $f_{R,1}$  and  $f_{R,4}$  by 7% and 9%, respectively. These results indicate an improvement in the concrete's ability to resist residual stresses after cracking, a critical factor for the durability of industrial floors. Additionally, the use of the additive optimizes the dosages of fiber-reinforced concrete, ensuring more resistant and durable floors. In conclusion, the findings provide a solid basis for the use of shrinkage-compensating additives in concrete reinforced with polymer fibers, highlighting their potential to improve the quality and durability of industrial floors.

*Keywords: FRC; shrinkage-compensating admixture; residual strength*



## 1 Introdução

O uso combinado de macrofibras e aditivos compensadores de retração em pisos industriais tem crescido continuamente devido aos benefícios significativos que proporcionam às propriedades mecânicas da matriz de concreto. As macrofibras são conhecidas por melhorar a tenacidade à flexão, a resistência à fadiga e ao impacto, promovendo um aumento substancial na capacidade de absorção de energia e na transferência de tensões através das fissuras, reduzindo sua propagação e expansão (SALVADOR, 2012; SERAFINI et al., 2022).

Aditivos compensadores de retração, especialmente aqueles compostos majoritariamente por óxido de cálcio supercalcinado, são amplamente aplicados na fabricação de pisos industriais (RUBIO, 2017). Esses aditivos apresentam uma expansão volumétrica de aproximadamente 100% quando hidratados, o que compensa a retração por secagem e a retração autógena da matriz cimentícia, reduzindo os riscos de fissuração associados a esses fenômenos (QUARCIONI, 2008). Além disso, as fases formadas pela hidratação desses aditivos podem preencher os poros da matriz, diminuindo sua porosidade e permeabilidade, o que contribui para melhorar a resistência mecânica e a vida útil do concreto (RUBIO, 2017). Esses benefícios destacam o potencial de uso desses aditivos em diversas aplicações de matrizes cimentícias (OLIVEIRA, 2021).

Neste contexto, o uso de aditivos compensadores de retração pode promover uma melhoria significativa no desempenho de concretos reforçados com fibras, devido à densificação da matriz pelo controle da retração. Isso permite que as fibras fiquem mais bem aderidas à matriz, aumentando as resistências residuais do compósito. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a influência do uso de aditivos compensadores de retração nas resistências residuais de concreto reforçado com macrofibras poliméricas.

## 2 Metodologia experimental

### 2.1 Materiais, dosagem e preparação de concreto

Os materiais empregados e a dosagem do concreto estão apresentados na Tabela 1. Esse concreto foi dosado baseando-se em composições de pisos industriais. A relação água/cimento foi igual a 0,51, o teor de argamassa seca igual a 52% e o  $f_{ck,28}$  igual a 35 MPa. Os agregados foram utilizados na condição seca.

Tabela 1 – Materiais e dosagem do concreto.

Material	Descrição / tipo	Dosagem (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	CP V ARI RS	373,0
Agregado miúdo	Areia natural - quartzo	164,0
Agregado miúdo	Areia artificial - gnaisse	584,0
Agregado graúdo	Brita 0 - gnaisse	280,0
Agregado graúdo	Brita 1 - gnaisse	751,0
Água	Potável	190,0
Aditivo dispersante	Superplastificante	2,05
Aditivo dispersante	Dispersante <i>midrange</i>	2,24
Macrofibra	Polipropileno 50 mm	5,0 / 5,5
Microfibra	Polipropileno 12 mm	0,60
Aditivo compensador de retração	DRY D1 NG - Chimica Edile do Brasil	0,0 / 10,0



Os consumos de macrofibras foram de 5,0 e 5,5 kg/m<sup>3</sup> e o de microfibras de 0,60 kg/m<sup>3</sup>. O aditivo DRY D1 NG foi utilizado nos teores de 0 (referência) e 10,0 kg/m<sup>3</sup>. No total, foram preparados 3 concretos diferentes: 5,0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, sem DRY D1 NG; 5,5 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, sem DRY D1 NG; e 5,0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, com DRY D1 NG a 10,0 kg/m<sup>3</sup>. Para cada dosagem, um lote de 120 L de concreto foi produzido em uma betoneira estacionária de 400 L de capacidade. O processo de mistura consistiu em 4 passos, de acordo com a norma NBR 12655 (ABNT, 2015a), descritos subsequentemente.

- Adição dos agregados graúdos, miúdos e cimento (mistura por 1 min);
- Adição de água e aditivos dispersantes (mistura por 3 min);
- Raspagem da parede interna da betoneira durante 1 min;
- Adição das fibras e mistura por 5 min.

Após a mistura, as propriedades do concreto no estado fresco foram caracterizadas. Então, para cada dosagem, 8 corpos de prova prismáticos (altura: 150 mm; largura: 150 mm; comprimento: 550 mm) e 6 corpos de prova cilíndricos (altura: 200 mm; diâmetro: 100 mm) foram moldados e consolidados em mesa vibratória por 20 s, de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2015b). Os corpos de prova foram desmoldados 24 h após a sua preparação e destinados à cura em câmara úmida (UR ± 95%) na temperatura de (23 ± 1) °C.

## 2.2 Ensaios realizados

A Tabela 2 apresenta os ensaios realizados com o concreto produzido. A descrição de cada um deles está nos itens 2.3.1 ao 2.3.4.

Tabela 2 – Ensaios realizados.

Ensaio	Amostra	Idade	Referência
Abatimento	Concreto fresco, com e sem fibras	5 min após a mistura	NBR 16889 (ABNT, 2020)
Massa específica	Concreto fresco, com fibras	5 min após a mistura	NBR 9833 (ABNT, 2008)
Resistência à compressão	Corpos de prova cilíndricos	28 dias	NBR 5739 (ABNT, 2018)
Resistência à flexão e residual	Corpos de prova prismáticos	28 dias	NBR 16940 (ABNT, 2021b)

### 2.2.1 Abatimento

O abatimento foi determinado em concreto fresco com e sem fibras utilizando o cone de Abrams, seguindo o procedimento da norma NBR 16889 (ABNT, 2020).

### 2.2.2 Massa específica

A massa específica foi determinada em concreto fresco com fibras utilizando um recipiente cilíndrico (volume: 7,8 L), seguindo a norma NBR 9833 (ABNT, 2008).

### 2.2.3 Resistência à compressão

A resistência à compressão foi determinada por ensaios de compressão axial direta realizados em corpos de prova cilíndricos de concreto (altura: 200 mm; diâmetro: 100 mm). A face superior do corpo de prova foi retificada para evitar qualquer irregularidade onde a carga pudesse ser concentrada. Os testes foram realizados em uma máquina universal de ensaios acoplada a uma célula de carga de 1100 kN, com taxa de



carregamento igual a 0,45 MPa/min, conforme NBR 5739 (ABNT, 2018). Foram ensaiados 4 corpos de prova na idade de 28 dias. Todos os corpos de prova foram retirados da cura e retificados com 24 h de antecedência ao ensaio.

#### 2.2.4 Resistência à flexão e residual

As resistências à flexão e residuais foram determinadas por ensaios de flexão em 3 pontos realizados em corpos de prova de concreto prismáticos (altura: 150 mm; largura: 150 mm; comprimento: 550 mm), de acordo com a norma NBR 16940 (ABNT, 2021b). Os ensaios foram realizados em um atuador servo-hidráulico dinâmico com sistema fechado de controle de deformação (*closed-loop*) acoplado a uma célula de carga de 70 kN de capacidade e com vão de ensaio de 500 mm. Um medidor de deformação (*clip-gage*, precisão:  $1,0 \times 10^{-4}$  mm) foi instalado no entalhe (largura: 5 mm; profundidade: 25 mm) dos corpos de prova antes do ensaio.

A taxa de carregamento foi controlada pela taxa de aumento da abertura do entalhe (CMOD) do corpo de prova, que foi definida como 0,05 mm/min até 0,10 mm e 0,20 mm/min além de 0,10 mm. A carga foi aplicada perpendicularmente à superfície de acabamento. Foram ensaiados 8 corpos de prova na idade de 28 dias. Todos os corpos de prova foram retirados da cura e entalhados com 24 h de antecedência ao ensaio.

A partir deste ensaio, uma curva de tensão-abertura de entalhe para cada corpo de prova foi obtida. A resistência à flexão ( $f_{LOP}$ , pico de resistência) e as resistências residuais para aberturas do entalhe iguais a 0,50, 1,50, 2,50 e 3,50 mm ( $f_{R,1}$ ,  $f_{R,2}$ ,  $f_{R,3}$ , e  $f_{R,4}$ , respectivamente) foram determinadas usando a Equação 1.

$$f = \frac{3PL}{2bh_{sp}^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

f: Resistência à flexão ou residual.

P: Carga de pico ou residual para aberturas de entalhe iguais a 0,50, 1,50, 2,50 e 3,50 mm.

L: Vão de ensaio (500 mm).

b: Largura média do corpo de prova na região de fratura (150 mm).

$h_{sp}$ : Distância média entre o topo do entalhe e a superfície do corpo de prova (125 mm).

### 3 Resultados

#### 3.1 Abatimento e massa específica

Os resultados do abatimento e da massa específica estão apresentados na Tabela 3. Ocorreu uma redução do abatimento com o aumento do teor de fibra, pois a fibra diminui a mobilidade dos agregados e adsorve água em sua superfície. Consequentemente, a fluidez do compósito diminui em condições com baixas taxas de cisalhamento. Entretanto, quando a vibração é empregada, se recupera boa parte da mobilidade e da capacidade de compactação do material quando baixos teores de fibras (abaixo de 1% em volume) são utilizados.



Não foi observada influência do aditivo compensador de retração nas medidas de abatimento. Entretanto, a massa específica ficou maior, indicando melhor consolidação do concreto.

Tabela 3 – Resultados de abatimento e massa específica.

Consumo de macrofibras (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo de DRY D1 NG (kg/m <sup>3</sup> )	Abatimento sem fibras (mm)	Abatimento com fibras (mm)	Massa específica com fibras (kg/m <sup>3</sup> )
5,0	0,0	220	95	2257
5,5	0,0	210	80	2268
5,0	10,0	220	90	2315

### 3.2 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias estão na Tabela 4. Nos concretos analisados, não é observada influência estatisticamente significativa do consumo de fibra ou do uso do aditivo compensador de retração na resistência à compressão do concreto. Em todos os casos, foi atingido o valor médio de resistência à compressão previsto no projeto.

Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão aos 28 dias.

Consumo de macrofibras (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo de DRY D1 NG (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>c,28</sub> (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
5,0	0,0	38,1	1,7	4,3
5,5	0,0	38,3	1,6	4,3
5,0	10,0	38,6	1,5	3,8

### 3.3 Resistência à flexão e residual

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam as curvas tensão-abertura de fissura para os 8 corpos de prova ensaiados com cada dosagem (5,0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, sem DRY D1 NG; 5,5 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, sem DRY D1 NG; e 5,0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, com DRY D1 NG a 10,0 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente). A Figura 4 apresenta as curvas médias de cada concreto. Os resultados da análise das curvas estão na Tabela 5.

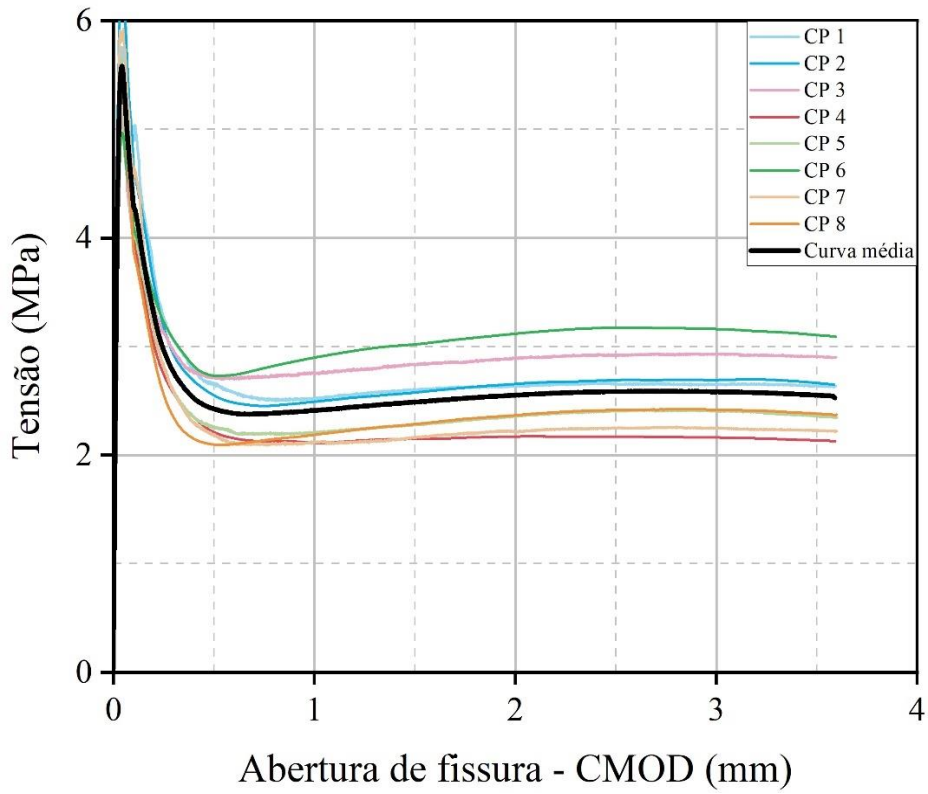


Figura 1 – Curvas tensão-abertura de fissura - 5,0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, sem DRY D1 NG.

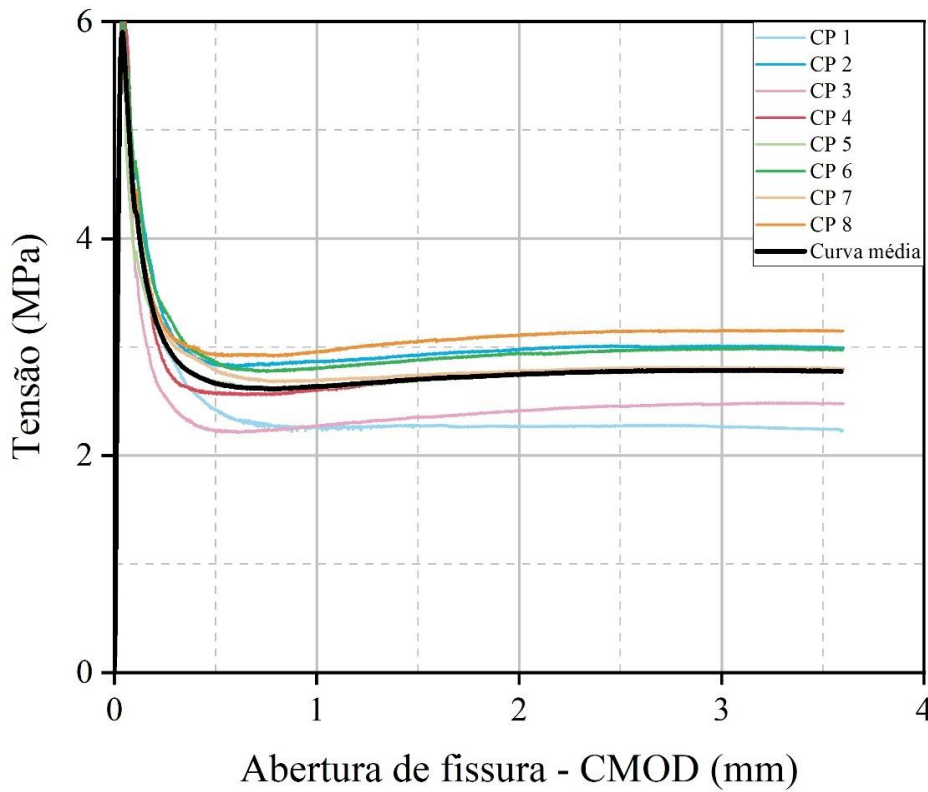


Figura 2 – Curvas tensão-abertura de fissura - 5,5 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, sem DRY D1 NG.

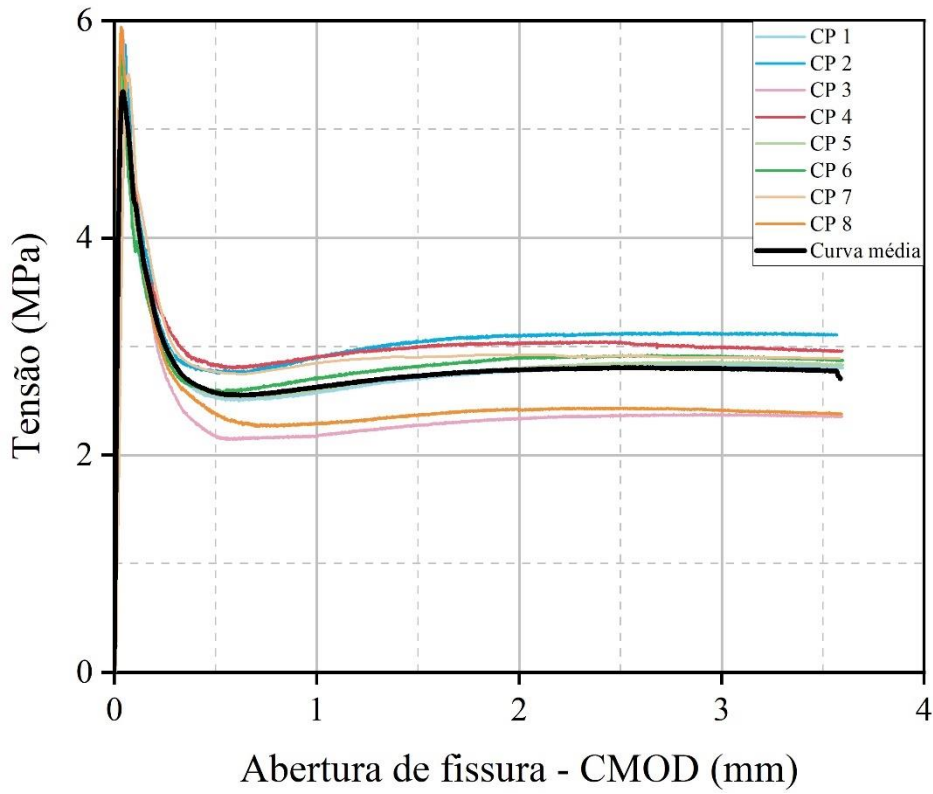


Figura 3 – Curvas tensão-abertura de fissura - 5,0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra, com DRY D1 NG a 10,0 kg/m<sup>3</sup>.

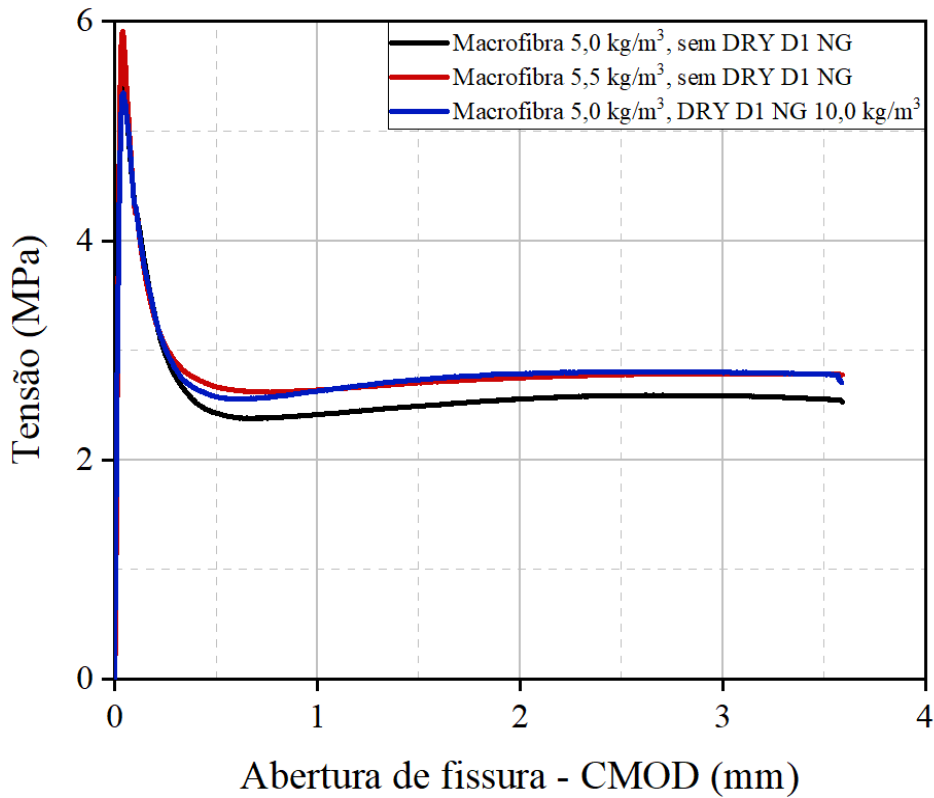


Figura 4 – Curvas tensão-abertura de fissura - curvas médias.



Tabela 5 – Resultados de resistência à compressão aos 28 dias.

Consumo de macrofibras (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo de DRY D1 NG (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>LOP</sub> (MPa)	f <sub>R,1</sub> (MPa)	f <sub>R,4</sub> (MPa)
5,0	0,0	5,80 ± 0,45	2,42 ± 0,26	2,55 ± 0,34
5,5	0,0	6,01 ± 0,20	2,67 ± 0,24	2,78 ± 0,29
5,0	10,0	5,70 ± 0,22	2,58 ± 0,23	2,78 ± 0,27

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o aumento no consumo de fibra de 5,0 para 5,5 kg/m<sup>3</sup> proporcionou aumento de f<sub>R,1</sub> e f<sub>R,4</sub> de 10 e 9%, respectivamente. Comparando-se os concretos com macrofibra a 5,0 kg/m<sup>3</sup>, produzidos com e sem DRY D1 NG, observa-se que o uso do aditivo compensador de retração promoveu aumento de 7% em f<sub>R,1</sub> e de 9% em f<sub>R,4</sub>.

Com o uso de DRY D1 NG, as resistências residuais tendem a aumentar, principalmente f<sub>R,4</sub>. Os resultados do concreto com 5,0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra e 10,0 kg/m<sup>3</sup> de DRY D1 NG foram equivalentes ao do concreto com 5,5 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra e sem DRY D1 NG. Tal fato pode ser atribuído à melhor ancoragem da fibra na matriz, visto que o aditivo contribui para diminuir a porosidade do concreto.

## 4 Conclusões

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

- O aditivo DRY D1 NG não apresentou influência significativa nas propriedades do concreto no estado fresco, nem na resistência à compressão.
- Em todos os ensaios de flexão, as curvas obtidas foram contínuas, sem apresentar sinais de instabilidade pós-pico, indicando um desempenho consistente do material.
- O aumento no consumo de fibras promoveu um aumento nas resistências residuais, confirmando a eficácia das macrofibras em melhorar as propriedades mecânicas do concreto.
- O uso de DRY D1 NG contribuiu para aumentar as resistências residuais, especialmente em maiores níveis de aberturas de fissura, sugerindo que o aditivo melhora a durabilidade e o desempenho do concreto reforçado com fibras, tornando-o uma opção viável para aplicações em pisos industriais e que contribuem positivamente para as resistências pós-fissuração.

## 5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.





\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16940**: Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

OLIVEIRA, C. U. **Análise de desempenho físico e mecânico de tubos de concreto produzidos com aditivo baseado em óxido de cálcio supercalcinado**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2021.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland: estudo em pasta**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

RUBIO, C. F. **Desarrollo de materiales con retracción compensada a partir del óxido de calcio (CaO)**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2017.

SALVADOR, R. P. **Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SERAFINI, R. et al. Design-oriented assessment of the residual post-fire bearing capacity of precast fiber-reinforced concrete tunnel linings. **Fire Safety Journal**, v. 127, p. 103503, 2022.