

## O EFEITO DA PROPORÇÃO ENTRE SUPERPLASTICANTE E ÓLEO DE TUNGUE EM UHPC: ESTUDOS ESPECTROSCÓPICOS E CALORIMÉTRICOS

LAURA ANTONIO SANTOS<sup>1</sup>, ROSANGEL ROJAS AGUERO<sup>2</sup>, JOSÉ RAFAEL YEPEZ<sup>2</sup>, ROSILENE MARIA CLEMENTIN<sup>2</sup>, DIEGO CABRERA<sup>2</sup>, VANIA RODRIGUES DE LIMA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Química e Alimentos - [llaaurasantos.furg@gmail.com](mailto:llaaurasantos.furg@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Engenharia, Núcleo de Estruturas.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Química e Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Química Tecnológica e Ambiental - [vrlima23@hotmail.com](mailto:vrlima23@hotmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

Existe alta demanda por tecnologias que minimizem processos de deterioração do concreto armado, que pode ser originada tanto por causas antrópicas quanto por problemas ambientais, sendo que esses últimos são os responsáveis pela maioria das patologias existentes nas obras civis (CASTRO-BORGES e HELENE, 2018). Para que estas tecnologias se tornem viáveis economicamente, é fundamental caracterizar interações moleculares entre associações de concretos tais como os de Ultra Alto Desempenho (UHPC) e componentes de fácil acesso que possam aumentar a sua hidratação, resistência e durabilidade. Dentre os componentes promissores para tal finalidade tem-se o óleo de tungue. O óleo de tungue, usado em vernizes e impermeabilizantes, tem capacidade para polimerizar em um filme sólido resistente, aumentando a resistência e capacidade de auto-regeneração do concreto frente a patologias. A substituição parcial de superplastificante do UHPC, usado para minimizar a água evaporável do material, por óleo de tungue, pode ser promissor para planejar e obter novos UHPC de alta durabilidade e de menor custo. Para isto é importante conhecer as interações moleculares entre tais componentes e o UHPC, assim como sua influência em parâmetros associados à resistência e durabilidade. Dentre os parâmetros influenciados pelas interações moleculares estão a cinética de hidratação, flutuações de força, estado de fases e outras propriedades mecânicas. A caracterização do UHPC e influência da sua associação com componentes foram realizadas técnicas instrumentais não destrutivas e invasivas, como as Espectroscopias de Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN de <sup>1</sup>H), o Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e a técnica de Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC).

### 2. METODOLOGIA

**1. Experimentos de Resistência a Compressão:** Foram realizados 12 experimentos com quatro repetições para determinar a resistência à compressão uniaxial do CAD, utilizando uma prensa mecânica de 300 kN a 0,5 MPa/s. As variáveis testadas foram: (i) percentual de cimento com superplastificante (SP); (ii) percentual de TO;

**2. Ensaios RMN de <sup>1</sup>H/ Cinética de Hidratação:** Medidas de tempo de relaxação longitudinal (T<sub>1</sub>) foram obtidas pela metodologia segundo Jin e colaboradores (2019).

**3. Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier:** Os espectros FTIR em modo de transmissão foram realizados de acordo com o trabalho de Horgnies e colaboradores (2013).

**4. Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC):** Os experimentos de DSC das amostras de UHPC moídas foram feitos segundo Abbas e colaboradores (2020).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos da força de compressão (fcm) nos UHPC com 4% de Superplastificante sem óleo de tungue foi de 121,5 Mpa. Com a adição de 2 gramas do óleo de tungue a fcm aumentou para 136,04 Mpa. Entretanto, com a diminuição de 1% de Superplastificante e mantendo a massa de OT em 2 gramas, a fcm ficou em 118,18 Mpa. Após os testes referentes a força de compressão foram analisados os dados de relaxometria/cinéticas de hidratação de UHPC por meio da RMN de  $^1\text{H}$ , demonstrados na Figura 1.

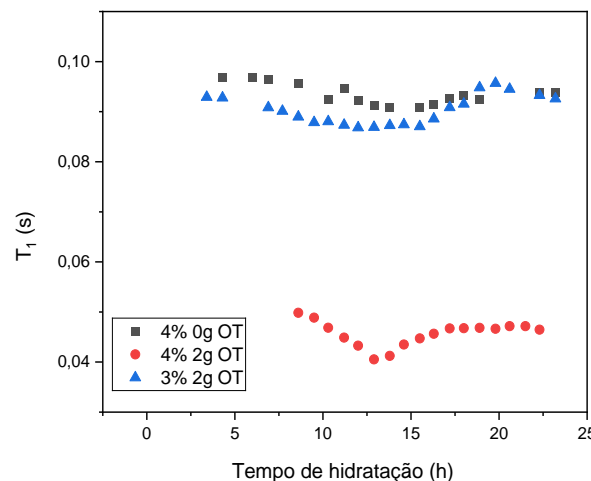


Figura 1 – Relaxometria por RMN  $^1\text{H}$  das amostras de UHPC

Os resultados de 4% SP sem OT, comparados com os referentes à amostra contendo 3% SP com 2g de OT, demonstraram uma redução discreta dos valores de  $T_1$ , corroborando com o aumento da razão gel/espaco no material. A relação entre o desenvolvimento da resistência e a relação gel/espaco é definida como a relação entre o volume da pasta de cimento hidratada e a soma dos volumes do cimento hidratado e dos poros capilares (POWERS, 1947). Ou seja, tal relação depende do grau de hidratação em uma determinada idade dos materiais cimentícios (NEVILLE, 2016).

Entretanto, o UHPC na concentração de 4% de SP com adicional de 2 gramas de OT, comparado com o UHPC na concentração de 3% de SP com 2 g OT, obteve uma redução do  $T_1$  pela metade, demonstrando que o material com 4% SP com 2g OT tem uma maior dispersão e menos água evaporável e, portanto, possui uma cinética de hidratação mais favorável ao preenchimento de poros com OT (JIN, 2019), que é referente ao preenchimento de poros com a água ao longo do tempo. Isto indica que a adição de 2 g de OT em UHPC com 4% de SP influencia aumentando a fcm e a razão gel/espaco material.

A partir da técnica de FTIR, foram analisados os picos referentes a vibrações de cálcio-sílica, C-S-H,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  da hidroxila (OH) e do silicatos (Si-O), demonstrados nas Figuras 2 e 3.

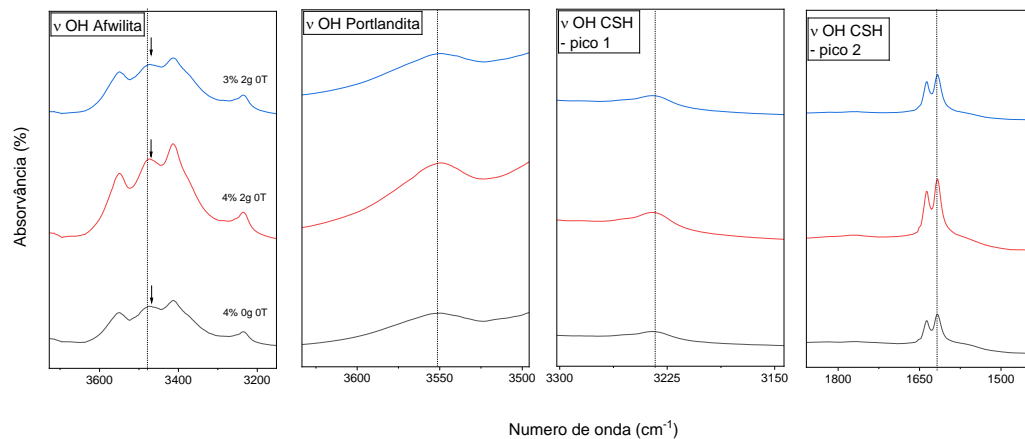


Figura 2 – Espectro FTIR das amostras de UHPC, referentes ao pico de estiramento do OH

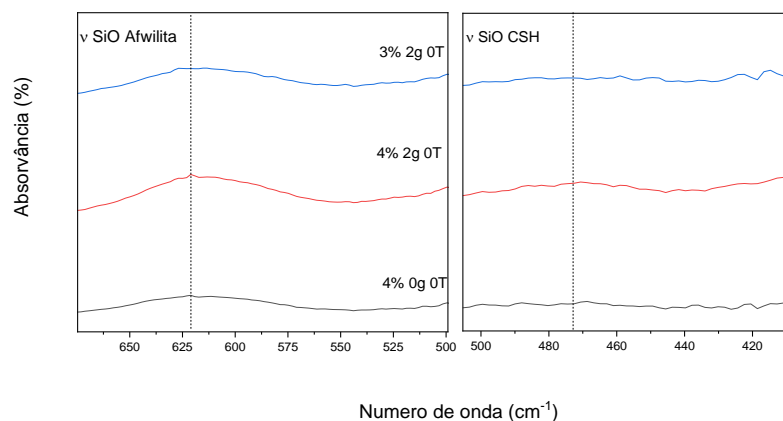


Figura 3 – Espectro de FTIR das amostras de UHPC, referentes ao pico de estiramento do SiO.

Analisando as Figuras 2 e 3, o óleo de tungue tem um efeito direto na Portlandita em pelo menos 6x, aumentando as forças de interação das ligações de hidrogênio. Entretanto, o Superplastificante afeta o CSH, demonstrando que a redução de SP influencia na redução das forças de interação das ligações de hidrogênio. Por outro lado, a Aftwilita não afetada por nenhum dos dois.

Por fim, a partir da técnica de DSC foram analisados os valores da  $\Delta H$  que está associada a processos exotérmicos e endotérmicos que podem acontecer na amostra e a temperatura de transição ( $T_m$ ). A figura 3, demonstra o gráfico do fluxo de calor sob a temperatura.

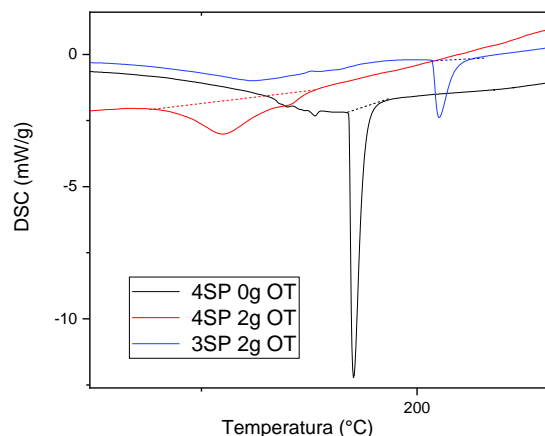


Figura 3 – Espectro Calorimétrico das amostras de UHPC

Em relação a 4% SP com 0g OT com a 4% SP com 2g OT, a variação das duas amostras tem uma redução do  $\Delta\Delta H$  em 6,2 °C e o  $\Delta T_m$  em 60,51 °C, representando que na transição de fase o óleo de tungue deixa o sistema mais fluido. Porém, a redução de 1% SP mantendo a massa de OT, reduziu do  $\Delta\Delta H$  em 18,48 °C e o  $\Delta T_m$  em 47,19 °C, tornando o sistema mais instável, e demonstrando que o Superplastificante teve um efeito fluidificante.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram correlacionar o efeito do óleo de tungue no sistema de UHPC, podendo substituir parcialmente o Superplastificante. A mudança apenas da quantidade do óleo de tungue favorece o material a partir de estudos de interações intermoleculares pelas técnicas espectroscópicas e calorimétricas. Isto contribui para o planejamento e geração de materiais competitivos de alta durabilidade e qualidade, de baixo custo de manutenção.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, S.; ARSHAD, U., ABBASS, W., NEHDI, M. L., & AHMED, A. Recycling untreated coal bottom ash with added value for mitigating alkali–silica reaction in concrete: A sustainable approach. **Sustainability**, v. 12, n. 24, p. 10631, 2020.

A.M. Neville. Properties of Concrete, 5rd edn. **ELBS with Longman**, London, 2015.

Castro-Borges P, Helene P. Un enfoque conceptual holístico para la vida de servicio del concreto: división en diferentes etapas de tiempo. **Revista ALCONPAT**, setembro-dezembro de 2018.

Jin D, Lang Z, Yao W. Analysis of Early Performance of Cement Paste by Low Field NMR. **Applied Sciences**, março 2019.

HORGNIES, M.; CHEN, J. J.; BOUILLON, C. Overview about the use of Fourier Transform Infrared spectroscopy to study cementitious materials. Materials Characterisation VI. Southampton, UK: **WIT Press**, 2013.

T. C. Powers and T. L. Brownyard. Studies of the physical properties of hardened portland cement paste (Nine parts), **J. Amer. Concr. Inst.** 43, abril 1947.

#### 6. AGRADECIMENTOS

CNPq/PIBIC – FURG