Efeito do resíduo de polimento de porcelanato na retração autógena de CADs e CUADs

Effect of Porcelain Polishing Residue on Autogenous Shrinkage in HPC and UHPC

Thiago Guesser Corrêa
UFSC | Florianópolis, SC | thiagocorea@gmail.com

Artur Spat Ruviaro
UFSC | Florianópolis, SC | arturspatruviaro@gmail.com

Fernando Pelisser
UFSC | Florianópolis, SC | pelisser@hotmail.com

Paulo Ricardo de Matos
UDESC | Joinville, SC | paulorm.matos@gmail.com

Resumo

O estudo teve como objetivo avaliar a influência do uso de um material cimentício suplementar, o resíduo de polimento de porcelanato (RPP), na mitigação da retração autógena de concretos de alto desempenho (CAD) e ultra-alto desempenho (CUAD). Ensaios de retração autógena foram realizados em concreto com diferentes níveis de substituição de cimento por RPP. Misturas de CAD - relação água/aglomerante (a/agl) 0,30 - com 10% e 20% de substituição de cimento apresentaram uma redução de 10% e 17%, respectivamente, na retração autógena em comparação com a composição de referência. Por outro lado, as misturas de CUAD - relação a/agl 0,20 - com 10% e 20% de substituição de cimento apresentaram efeitos negativos na retração autógena, aumentando os resultados em 29% e 61%, respectivamente.

Palavra-Chave: Concretos de Alto e Ultra-alto desempenho; Retração autógena; resíduo de polimento de Porcelanato.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the influence of using a supplementary cementitious material (porcelain polishing residue) on mitigating autogenous shrinkage of high-performance (HPC) and ultra-high-performance (UHPC) concretes. Autogenous shrinkage tests were conducted on concrete mixes with varying levels of cement substitution. The HPC mixes with 10% and 20% cement substitution showed a reduction of 10% and 17%, respectively, in autogenous shrinkage compared to the reference sample. On the other hand, the UHPC mixes with 10% and 20% cement substitution showed negative effects on autogenous shrinkage, increasing the results in 29% and 61%, respectively.

***Keywords**: High and ultra-high performance concrete; Autogenous shrinkage; Porcelain polishing residue.*

1 INTRODUÇÃO

Os concretos de alto desempenho (CAD) e ultra-alto desempenho (CUAD) têm alterado a concepção de grandes estruturas de concreto devido às suas propriedades mecânicas e durabilidades superiores, possibilitando estruturas mais esbeltas e seguras (LI et al., 2020). No entanto, para atingir essa eficiência, esses concretos possuem baixas relações a/c e alto consumo de cimento Portland, acarretando dois problemas: o impacto ambiental gerado pelo elevado consumo de cimento, e o intenso processo de autodessecação destas microestruturas cimentícias, resultando em tensões superficiais que aumentam a retração autógena (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Este estudo busca reduzir a quantidade de clínquer e a retração dos CADs e CUADs, avaliando o comportamento do resíduo de polimento de porcelanato (RPP). Esse resíduo, gerado pela remoção de cerca de 1 mm da superfície de peças cerâmicas, é produzido em grandes quantidades no Brasil, resultando em cerca de 200.000 toneladas anuais (ANFACER, 2024). Sendo um resíduo não inerte, o RPP não pode ser descartado em aterros comuns, aumentando seu custo de disposição (KUMMER et al., 2007; CABRAL JR. et al., 2010). Como material cimentício suplementar (MCS), o RPP gera aumentos na resistência mecânica e reduções na porosidade aberta dos compósitos, resultado de um efeito físico de preenchimento. Já em estágios avançados de cura (acima de 56 dias), o efeito pozolânico se torna significativo, influenciado pela

finura do resíduo e pelos altos teores de sílica amorfa e alumina (XU, et al., 2021; LI, et al., 2020; LI, et al., 2019; KANNAN, et al., 2017; RASHID, et al., 2017; JACOBI, et al., 2015; PELISSER, et al. 2012).
Poucos estudos analisaram a retração autógena de compósitos cimentícios com RPP. Steiner et al. (2015) investigaram a substituição de cimento por MCS em pastas de cimento com a/c de 0,40, enquanto Ferrara et al. (2019) avaliaram o impacto do tamanho das partículas de RPP na retração autógena. Ambos observaram redução da retração com o aumento da substituição do cimento por RPP. Steiner et al. (2015) identificaram três efeitos influentes: (i) a diluição do cimento, reduzindo o calor de hidratação e, consequentemente, a retração autógena; (ii) a nucleação de hidratos, acelerando a hidratação e aumentando a retração; (iii) a reação pozolânica do RPP com o hidróxido de cálcio (CH). Assim, enquanto a diluição do calor de hidratação diminui a retração, os outros efeitos tendem a aumentá-la.
Este estudo investiga se a substituição de cimento por RPP em CADs e CUADs resulta em comportamentos semelhantes ou distintos entre diferentes composições.

2 MATERIAIS E METODOLOGIA

O cimento Portland CP V ARI e três frações granulométricas 30, 50 e 100 da areia padrão brasileira (definida na NBR 7214) foram utilizados para compor todos os concretos nesse estudo. Um superplastificante a base de policarboxilato foi adotado na preparação dos concretos (com massa específica de 1120kg/m³ e teor de sólidos de 40%).
O RPP adotado como MCS foi coletado em uma indústria cerâmica de Criciúma/SC. A amostra foi coletada úmida, passando, então, pelo processo de secagem em estufa sob temperatura de 60ºC até a obtenção de constância de massa, sendo então destorroado manualmente e peneirado em peneira de abertura 0,15 mm para obtenção de uma melhor homogeneidade do material. As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente as características físicas e químicas do cimento e RPP:

Tabela 1 - Propriedades Físicas dos materiais aglomerantes

Material	Massa específica (kg/m³)	Blaine (m²/kg)	B.E.T. (m²/kg)	D_{50} (µm)
Cimento	3100	430	-	14,94
RPP	2480	-	2990	10,82

Fonte: Autores (2025)

Tabela 2 - Composição química dos materiais aglomerantes (%)

Material	Si_2O	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	ZnO	ZrO_2+HfO_2	LOI
Cimento	19,78	-	4,27	1,80	2,44	64,29	0,12	0,91	-	2,19	-	-	4,20
RPP	66,64	0,69	20,36	1,68	1,14	3,03	2,45	2,17	-	-	0,32	0,67	0,85

Fonte: Autores (2025)

As composições dos concretos para os ensaios de retração autógena e os respectivos resultados de resistência à compressão estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Proporcionamento das misturas e resistências à compressão médias das composições de concreto

Mistura	Proporcionamento dos Concretos (kg/m³)					Resistência à Compressão (MPa)		Índice de Intensidade do Cimento (kg/m³.MPa)	
	Cimento	RPP	Areia	Água	SP (g)	28 dias	91 dias	28 dias	91 dias
0,20 REF	970	-	1213	194	27,2	99,7	108,2	9,8	9,0
0,20 RPP 10	873	97	1213	194	27,2	95,6	108,2	9,1	8,0
0,20 RPP 20	776	194	1213	194	27,2	97,7	119,2	7,9	6,4
0,30 REF	902	0	1127	271	4,51	76,0	85,6	11,9	10,6
0,30 RPP 10	812	90	1127	271	4,51	71,9	80,0	11,2	10,1
0,30 RPP 20	722	180	1127	271	4,51	76,4	88,9	9,3	8,0

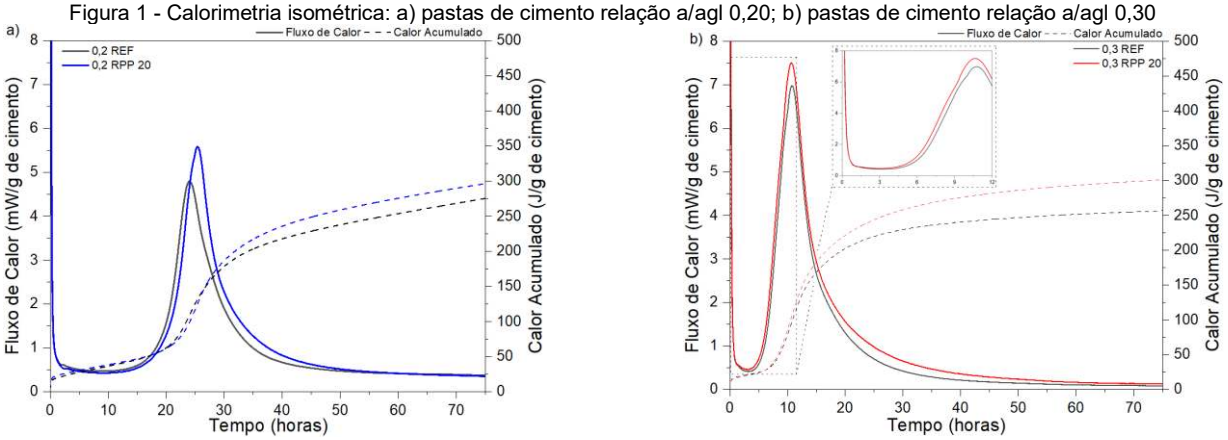
Fonte: Autores (2025)

As pastas de cimento foram confeccionadas em um misturador de eixo vertical por 2 minutos. Após a mistura, 10 gramas de cada pasta foram colocadas em um calorímetro isotérmico para avaliar a hidratação. Já os concretos foram preparados em um misturador de eixo planetário, seguindo os seguintes passos: a) homogeneização dos materiais secos por 1 minuto; b) adição de água por 1 minuto; c) adição de superplastificante após 5 minutos para atingir a consistência alvo (280±30 mm no flow-table). Foram moldados prismas de 25×25×285 mm para o ensaio de retração autógena que foram iniciados imediatamente após a moldagem, utilizando sensores LVDT's colocados nas extremidades das barras. As amostras foram isoladas e mantidas em uma sala a 23±3 ºC, com medições realizadas a cada 50 segundos, e registradas por um sistema de aquisição de dados. A duração dos ensaios de retração autógena foi 28 dias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 1a e 1b mostram as curvas de fluxo de calor e calor acumulado das pastas de cimento. Observa-se que a pasta com relação a/agl 0,3 apresentou um período de indução mais curto e picos de fluxo de calor mais elevados em comparação com a pasta de relação a/agl 0,2, devido aos teores de superplastificante superiores das pastas de relação a/agl 0,20, o que aumentou o período de indução (Li, Yu e Brouwers, 2017). Ao comparar as pastas de cimento com e sem RPP, observou-se que os períodos de indução foram semelhantes, com um aumento do fluxo de calor máximo (8% e 17% para as pastas com RPP nas relações a/agl 0,2 e 0,3, respectivamente). Estes resultados sugerem melhorias na cinética de hidratação, com melhor empacotamento das partículas e ocorrência de nucleação heterogênea (Matos et al., 2020).

Figura 1 - Calorimetria isométrica: a) pastas de cimento relação a/agl 0,20; b) pastas de cimento relação a/agl 0,30

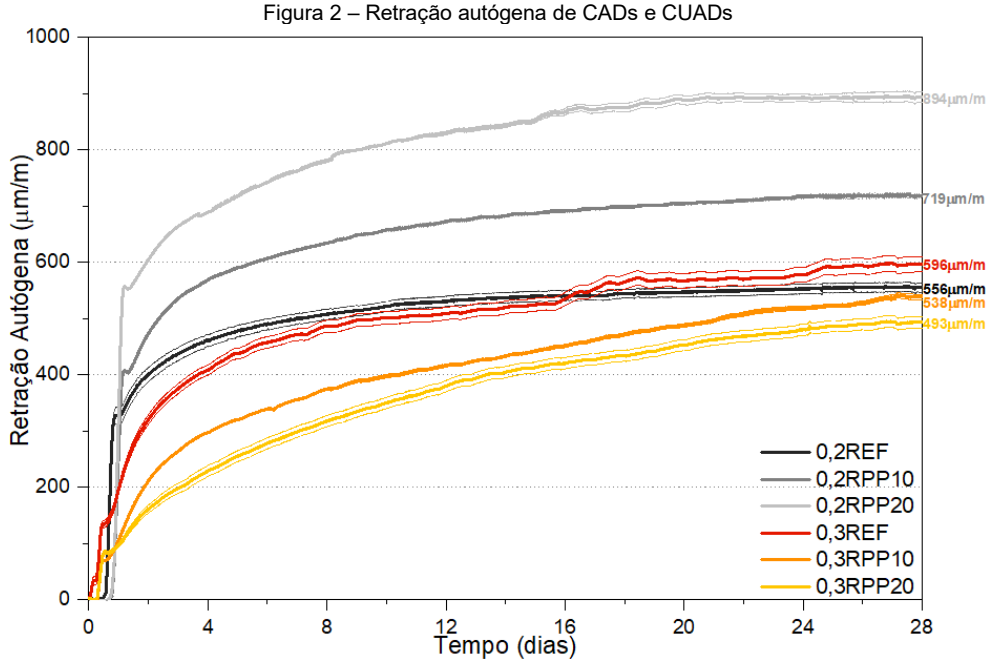


Fonte: Autores (2025)

3.1 INFLUÊNCIA DO RPP NA RETRAÇÃO AUTÓGENA

Entre os CADs foram verificadas reduções contínuas na retração autógena a partir da substituição parcial de cimento por RPP – 0,30RPP10 e 0,30RPP20 apresentaram reduções de 9,7% e 17,3% na retração autógena frente ao resultado referência. Esse comportamento, que pode ser observado na Figura 2, também foi observado nos estudos de Steiner *et al*. (2015) e Ferrara *et al.* (2019). Entende-se que a diluição do calor de hidratação foi determinante, entre os CADs para a diminuição da autodessecação dos poros nas primeiras idades, resultando em menores níveis de retração autógena.

Figura 2 – Retração autógena de CADs e CUADs



Fonte: Autores (2025)

Por outro lado, entre os CUADs a substituição de cimento por RPP resultou em aumentos expressivos nos valores de retração autógena. Esse comportamento pode ser atribuído a várias razões. Os CUADs não apresentam em sua composição água suficiente para hidratar 100% de suas partículas de cimento; além de sofrerem intenso processo de autodessecação, apresentam porosidade totais e tamanho médio dos poros muito reduzidos, elevando em muito a pressão capilar. A partir deste cenário, a substituição, em massa, do

cimento por um resíduo com massa específica inferior (3,10 g/cm³ e 2,48 g/cm³, respectivamente), resultou em composições com um maior volume de partículas. Com isso, características físicas do resíduo, como o tamanho de partículas inferior (D_{50} 28% inferior) e a área superficial específica 172% superior à do cimento adotado, podem ter melhorado o empacotamento das partículas e contribuído para a ocorrência da nucleação heterogênea gerando novos locais para a precipitação de produtos hidratados. Além disso, o aumento da relação água/cimento nos CUADs, devido à substituição de cimento por RPP, reduziu a absorção de água e o volume de vazios permeáveis, resultando em matrizes cimentícias com maior grau de hidratação e, consequentemente, maior pressão capilar. Esses fatores, combinados com o refinamento dos poros justificaram o aumento crescente da retração autógena nos CUADs contendo RPP, conforme observado por Ghafari *et al.* (2016).

4 CONCLUSÕES

O estudo revelou que a utilização de RPP como MCS apresentou efeitos distintos em CADs e CUADs quanto à retração autógena. Nos CADs, a substituição de cimento por RPP reduziu o calor de hidratação e aumentou os vazios permeáveis, resultando em diminuições de 10% e 17% na retração autógena aos 28 dias para as substituições de 10% e 20%, respectivamente. Nos CUADs, a substituição gerou maior autodessecação e aumento da pressão capilar, com aumentos de 29% e 61% na retração autógena para teores de 10 e 20%, respectivamente. Este efeito se deve em função das características físicas do resíduo como o tamanho de partículas inferior (D_{50} 28% inferior) e a área superficial específica (172% superior à do cimento), resultando em maior empacotamento, refinando ainda mais a microestrutura porosa e assim aumentando a autodessecação do sistema. Portanto, embora o RPP tenha melhorado as propriedades mecânicas dos CUADs, prejudicou sua eficiência quanto à sua retração autógena, apresentando efeitos diferentes sobre a referida propriedade em função da classe de resistência analisada.

REFERÊNCIAS

ANFACER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, **Números do setor cerâmico do ano de 2021.** Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>. Acessado em: 20/11/2021.

CABRAL JR., M; BOSCHI, A.L.O; MOTTA, J.M.M; TANNO, L.C; SINTONI, A; COELHO, J.N; CARIDADE, M. **Panorama e perspectiva da indústria de revestimento cerâmico no Brasil.** Cerâmica Industrial, V. 15 (3), 2010, P. 7-18

FERRARA, L.; DEEGAN, P.; PATTARINI, A.; SONEBI, M.; TAYLOR, S. **Recycling ceramic waste powder: effects its grain-size distribution on fresh and hardened properties of cement pastes/mortars formulated from SCC mixes**. J. Sustain. Cem. Mater. 8 (3), 145–160 (2019). Disponível em: https://doi.org/10.1080/21650373.2018.1564396.

GHAFARI, E.; GHAHARI, S.A.; COSTA, H.; JÚLIO, E., PORTUGAL, A., DURÃES, L., **Effect of supplementary cementitious materials on autogenous shrinkage of ultra-high performance concrete**, Constr. Build. Mater. 127, 2016, P. 43–48.

JACOBY, P.C.; PELISSER, F. **Pozzolanic effect of porcelain polishing residue in Portland cement**. J. Clean. Prod. 100, 84–88 (2015). Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.096.

KANNAN, D.M.; ABOUBAKR, S.H.; EL-DIEB, A.S.; REDA TAHA, M.M. **High performance concrete incorporating ceramic waste powder as large partial replacement of Portland cement**. Constr. Build. Mater. 144, 35–41 (2017). Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.115.

KUMMER, L; BASSETTI, F.J; RIELLA; H.G; AZEVEDO, J.C.R**. Reutilização dos resíduos de polimento de porcelanato e feldspato na fabricação de novos produtos cerâmicos**. Cerâmica Industrial, Volume 12 (3), Maio/Junho 2007, p. 34–38

LI, L.; LIU, W.; YOU, Q.; CHEN, M.; ZENG, Q. **Waste ceramic powder as a pozzolanic supplementary filler of cement for developing sustainable building materials**. J. Clean. Prod. 259, 120853 (2020). Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120853.

LI, J.; WU, Z.; SHI, C.; YUAN, Q.; ZHANG, Z. **Durability of ultra-high performance concrete – A Review**. In: Construction and Building Materials, v. 255, p. 1-13 (2020).

LI, P.; YU, Q.; BROUWERS, H. **Effect of PCE-type superplasticizer on early-age behaviour of ultra-high performance concrete (UHPC)**. Construct Build Mater, v.153, p. 740-750 (2017).

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MATOS, P. R.; JIAO, D.; ROBERTI, F.; PELISSER, F.; GLEIZE, P.J.P., **Rheological and hydration behaviour of cement pastes containing porcelain polishing residue and different water-reducing admixtures.** Construction and Building Materials, v. 262, 2020.

PELISSER, F., STEINER, LR., BERNARDIN, A.M., **Recycling of Porcelain Tile Polishing Residue in Portland Cement: Hydration Efficiency.** Environmental Science & Technology, v. 46, 2012, P.2368-2374.

RASHID, K.; RAZZAQ, A.; AHMAD, M.; RASHID, T.; Tariq, S. **Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate**. Constr. Build. Mater. 154, 829–840 (2017).

REIG, L.; SORIANO, L.; VICTORIA, M.; MARÍA, J. **Potential use of ceramic sanitary ware waste as pozzolanic material**. Boletín La Soc, Española Cerámica y Vidr. (2021), 1–11. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2021.05.006.

STEINER, L.R.; BERNARDIN, A. M.; PELISSER, F. **Effectiveness of ceramic tile polishing residues as supplementary cementitious materials for cement mortars**. Sustainable Materials and Technologies. v. 4, p. 30-35, 2015.

XU, K.; HUANG, W.; ZHANG, L.; FU, S.; CHEN, M.; DING, S.; HAN, B. **Mechanical properties of low-carbon ultrahigh-performance concrete with ceramic tile waste powder**. Constr. Build. Mater. 287, 123036 (2021).