

## **ARGAMASSA E CONCRETO COM BAIXO TEOR DE CIMENTO: UTILIZAÇÃO DE FÍLER CERÂMICO E SÍLICA ATIVA**

MARCO ANTONIO CAMPOS <sup>1\*</sup>, LUCIANO PASSOS <sup>2</sup>; ANDRÉ MUNHOZ DE ARGOLLO FERRÃO <sup>3</sup>;  
ARMANDO LOPES MORENO JUNIOR <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Civil, Engenheiro Civil, Pesquisador Colaborador Laboratório de Empreendimentos - Labore-FEC-UNICAMP, engenheiromarcoantonio@hotmail.com;

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Civil, Engenheiro Civil, Laboratório de Estruturas – FEC-UNICAMP, lupa@fec.unicamp.br;

<sup>3</sup> Professor Livre Docente, Doutor em Arquitetura e Urbanismo, Engenheiro Civil, Coordenador Labore-FEC-UNICAMP, argollo@fec.unicamp.br;

<sup>4</sup> Professor Livre Docente, Doutor em Engenharia de Estruturas e Fundações, Engenheiro Civil, Departamento de Estruturas – FEC-UNICAMP, almoreno@fec.unicamp.br.

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Os concretos e as argamassas são alguns dos materiais mais utilizados no mundo e nas últimas décadas houve a necessidade de aumento de sua resistência característica para se atingir as cargas de projeto, com isso, foi necessário aumentar o consumo de cimento. Como a indústria cimenteira representa uma das maiores fontes poluidoras do planeta busca-se atualmente concretos e argamassas com teores reduzidos de cimento, com as mesmas características, resistências e durabilidade. Assim, teores da ordem de 30% de cimento Portland têm sido substituídos por sílica ativa e fíler. A utilização de fíler cerâmico é recomendada pela sua atividade pozolânica e por ser um material possível de controlar suas qualidades. Portanto, este trabalho estudou as propriedades mecânicas e de resistência, nas idades iniciais, de concretos e argamassas com baixo teor de cimento adicionado de sílica ativa e fíler cerâmico proveniente de duas fontes diferentes: resíduos de cerâmica vermelha, telhas, e resíduos de isoladores elétricos de porcelana, moídos em granulometria similar ao cimento. Os resultados preliminares atestam a utilização da sílica ativa e do fíler cerâmico em substituição ao cimento Portland em concretos e argamassas, pois conferem resistência à compressão simples similar à referência, reduzindo assim a utilização de cimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto, Argamassa, Sílica ativa, Fíler cerâmico, Isolador de porcelana, Cerâmica, sustentabilidade.

### **LOW CEMENT CONTENT CONCRETE: THE USE OF CERAMIC FILLER AND ACTIVE SILICA**

**ABSTRACT:** Concretes and mortars are the most used material in the world, and over recent decades, the need to increase its strength to withstand greater loads has gone hand in hand with greater cement consumption. Because the cement industry is one of the largest sources of pollution on the planet, there is now a demand for concrete and mortar with lower cement content, but with the same characteristics, strength, and durability. Thus, as much as 30% of Portland cement content has been replaced by active silica and filler. The use of ceramic filler is recommended due to its pozzolanic activity and controllable material qualities. This study therefore examined the mechanical properties and strength in the early years of low cement content concrete and mortar with added active silica and ceramic filler from two different sources: red ceramic waste (tiles), and porcelain electrical insulator waste, both ground down to a similar texture as cement. Preliminary results show that active silica and ceramic filler can be effectively used as a substitute for Portland cement in concrete and mortar, providing the resistance to simple compression reducing the need for cement.

**KEYWORDS:** Concrete, Mortar, Active silica, Ceramic filler, Porcelain insulator, Ceramic, Sustainability.

## INTRODUÇÃO

A evolução da construção civil nas últimas décadas permitiu a construção de edifícios cada vez altos, pavimentos mais resistentes e obras mais duráveis, por exemplo. Na maioria das vezes o concreto foi o material estrutural escolhido para estas obras e a argamassa o material de revestimento.

Sabe-se que os fatores que impactam diretamente a resistência do concreto e argamassa são os teores de cimento Portland e a relação água/cimento, seguido da granulometria e tipos de agregados. Portanto, o aumento da quantidade de cimento em muitas vezes resulta em um concreto mais resistente, entretanto, deve-se atentar para que estes teores sejam suficientes para conferir resistência e durabilidade à estrutura.

Assim, o teor de cimento deve ser controlado, para que somente resulte em benefício ao concreto, já que a indústria cimenteira é uma das maiores fontes poluidoras do mundo e devido ao seu elevado consumo contribui para problemas ambientais que o planeta vem sofrendo nos últimos anos e que são atribuídos aos gases de efeito estufa.

O concreto e a argamassa com alto teor de cimento não contribui apenas para a poluição ambiental, há outros tópicos referente a sua estrutura. A hidratação do cimento é de natureza exotérmica, isto é, libera grande quantidade de calor o que pode comprometer grandes peças de concreto como barragens, blocos de fundação, paredes e pilares, além de poder ocasionar fissuras nas argamassas, que além do efeito estético pode comprometer a alvenaria ou a estrutura com a infiltração, por exemplo.

Com o calor há a dilatação térmica, aumento do volume, seguido do resfriamento e retração, podendo causar fissuras, pois o concreto apresenta baixa resistência à tração. Estas fissuras podem ser o caminho preferencial a ser percorrido pela penetração de ar, água e agentes agressivos comprometendo toda a estrutura (REBMANN, 2011).

Com esta preocupação, inúmeras pesquisas surgiram em relação à utilização sílica ativa ou outro material com elevada atividade pozzolânica em substituição parcial ao cimento Portland em concretos e argamassas, mas que resultem nos mesmos padrões de qualidade, trabalhabilidade, resistência e durabilidade.

A sílica ativa é um resíduo da produção de silício ou ligas de ferro-silício, com o  $\text{SiO}_2$ , expelido na forma de fumaça, se condensando em finas partículas esféricas altamente reativas, acelerando a reação com o  $\text{Ca(OH)}_2$ . Por possuir grãos muito finos pode preencher o espaço entre os grãos de cimento, melhorando o empacotamento e conseqüente resistência (NEVILLE, 2013). Com todos estes pontos a sílica ativa é um material altamente pozzolânico, mas de difícil manuseio, pois aumenta a necessidade de água no concreto, que pode ser contornada com a adição de aditivos redutores de água (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Outro material finamente moído passível de incorporação em concretos e argamassas é o fíler, que resulta em benefícios nas propriedades de trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, exsudação capilar e tendência à fissuração (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Sua fonte pode ser de materiais de origem natural ou materiais processados inorgânicos. No Brasil o fíler pode ser utilizado na composição de cimentos Portland compostos, até o limite de 10% (DAL MOLIN, 2005). Assim como a sílica ativa o fíler também contribui para o aumento do teor de água no concreto, afetando negativamente a resistência do concreto ao intemperismo ou a proteção às armaduras. De natureza inerte o fíler não causa diminuição da resistência do concreto à longo prazo (NEVILLE, 2013).

Apesar destes pontos negativos em relação a utilização de sílica ativa e fílers, seu uso vem crescendo no Brasil nos últimos anos, sendo uma importante ferramenta para reaproveitamento destes resíduos. E com o avanço das pesquisas todos estes fatores deletérios são contornados com estudo de traço, incorporação de aditivos e melhores práticas nos canteiros de obras.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi elaborar traços de concretos e argamassas com baixo teor de cimento, substituindo este por uma combinação de sílica ativa e fíler cerâmico, comparando a um traço referência e em conformidade com as normas brasileiras. A quantidade de cimento foi fixada em 70%, com 10% de sílica ativa e 20% de fíler.

Dois foram os tipos de fílers cerâmicos utilizados, um resultante da moagem de isoladores elétricos de porcelana e outro de resíduos da indústria de telhas cerâmicas, ambos moídos em granulometria similar ao cimento. A escolha destes decorreu do fato de serem produzidos com matérias-primas similares a do cimento Portland, seu processo de produção envolver a queima em

altas temperaturas o que pode conferir atividade pozolânica, ser um resíduo com controle de procedência e não possuir material contaminante ou de outra natureza.

Tanto os traços de concreto como de argamassa foram ensaiados na idade de 7 dias, que é uma idade usual em obras para a liberação da estrutura ou revestimento para continuidade dos serviços. Comparou-se estes valores de concretos e argamassas com teores reduzidos de cimento aos traços referência, isto é, com 100% de Cimento Portland obtendo valores similares e comprovando a eficácia da substituição de 30% do cimento Portland por sílica ativa, 10%, e fílers cerâmicos, 20%.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste trabalho foram: cimento Portland CPV-ARI – Alta Resistência Inicial, Agregado miúdo comum, areia média, Agregado graúdo, brita 1, Sílica ativa, Fíler de cerâmica vermelha, telha cerâmica moída, Fíler de cerâmica branca, isolador elétrico de porcelana moído. A sílica ativa utilizada neste trabalho tem suas características apresentadas na Tabela 1. Os agregados, miúdos e graúdos, têm suas propriedades e características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1. Propriedades da sílica ativa.

Características	Valor	Unidade de Medida	Limite Inferior	Limite Superior
Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O	0,9	%	-	-
% SiO <sub>2</sub>	95	%	85	-
Umidade	0,3	%	-	3,0
Perda ao fogo	1,5	%	-	6,0
% Retido 45 µm (325 mesh)	2,1	%	-	10,0
Densidade	0,57	g/cm <sup>3</sup>	0,20	1,00
pH	8,1	%	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,1	%	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	%	-	-
CaO	0,6	%	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	%	-	-
MgO	0,4	%	-	-
K <sub>2</sub> O	0,1	%	-	-

Tabela 2. Propriedades agregados miúdo e graúdo.

Ensaio	Agregado miúdo - Areia média	Agregado graúdo - Brita 01
<b>Módulo de Finura</b>	2,7	7,34
<b>Dimensão Máxima (mm) – NBR 7211 (2009)</b>	1,2	19
<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>) – NBR NM 52 (2009) e NBR NM 53 (2009)</b>	2,6	2,95
<b>Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>) - NBR NM 45 (2006)</b>	1,48	2,89
<b>Absorção de Água (%) - NBR NM 30 (2001) e NBR NM 53 (2009)</b>	0,19	0,65
<b>Torrões de Argila e Materiais Friáveis (%) - NBR 7218 (2010)</b>	0	0
<b>Teor de Material Passante na Peneira 75 µm (%) - NBR NM 46 (2003)</b>	2,85	0

A partir destes dados foi determinado um traço de concreto padrão utilizado em obras no Brasil, de 1:2:3:0,55 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água), que confere um abatimento de 6,0 ± 1,0 cm e consumo de cimento de 375,00 kg/m<sup>3</sup>.

O traço com 100% de cimento Portland foi denominado Traço Referência. Como o objetivo principal deste trabalho é elaborar concretos com baixo teor de cimento, foi fixado um limite de 70% de cimento, em relação a referência, completando o teor de material pozolânico com 10% de sílica

ativa e 20% de fíler cerâmico de isoladores elétricos de porcelana, Traço Fíler Porcelana, e 10% de sílica ativa e 20% de fíler cerâmicos de telhas vermelhas, Traço Fíler Cerâmica.

A Tabela 3 ilustra as quantidades de materiais necessárias para moldar 1,0 m<sup>3</sup> de concreto. Todo o processo de moldagem foi realizado em atendimento a NBR 5738 (2015). Já o processo de cura foi realizado ao ar livre, que é um tipo de cura habitual em obras nacionais. Entretanto, os corpos-de-prova foram mantidos ao abrigo do sol e intempéries, após sua desmoldagem até a idade de ensaio.

Tabela 3. Quantidade de materiais traços de concreto - Traço 1:2:3:0,55 (kg/m<sup>3</sup> de concreto).

Traço	Cimento Portland	Sílica Ativa	Fíler de porcelana	Fíler cerâmica	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água
Referência	375,00	-	-	-	750,00	1125,00	206,25
Fíler Porcelana	262,50	37,50	75,00	-	750,00	1125,00	206,25
Fíler Cerâmica	262,50	37,50	-	75,00	750,00	1125,00	206,25

Os traços de argamassa foram determinados em acordo com a NBR 7215 (1996), com o traço referencia com 100% de cimento Portland e os demais traços com a substituição de 30% do cimento por sílica ativa, 10%, e fíler, 20%. A cura dos traços de argamassa foi submersa, sendo retirados da água 24 horas antes do ensaio.

Definido estes traços foi realizado o ensaio de caracterização das misturas de sílica e fíler comparando-as a referência (100% de cimento). Estes ensaios de caracterização foram em relação massa específica, NBR 16605 (2017), finura por meio da peneira 75 µm, NBR 11579 (2012) e determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Blaine) NBR 16372 (2015). Todos estes resultados são apresentados na Tabela 4, onde tem-se uma similaridade entre os resultados, apenas o teor de material passante na peneira 75 m foi maior para as misturas, mas isso já era esperado pois tanto a sílica ativa como os tipos de fíler possuem um grau de moagem superior ao cimento Portland.

Tabela 4. Caracterização misturas sílica e fíler.

Caracterização	Cimento Portland CPV - ARI	Sílica Ativa e Fíler Porcelana	Sílica Ativa e Fíler Cerâmico
Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /kg)	4.306	4.488	4.061
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,11	2,84	3,01
Finura Peneira 75 µm (%)	0,4	16,8	22,4

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os corpos-de-prova foram ensaiados à resistência à compressão simples na idade de 7 dias para a argamassa, NBR 7215 (1996) e concreto, NBR 5739 (2018), sendo que na Tabela 5 e Figura 1 constam os valores médios destas rupturas.

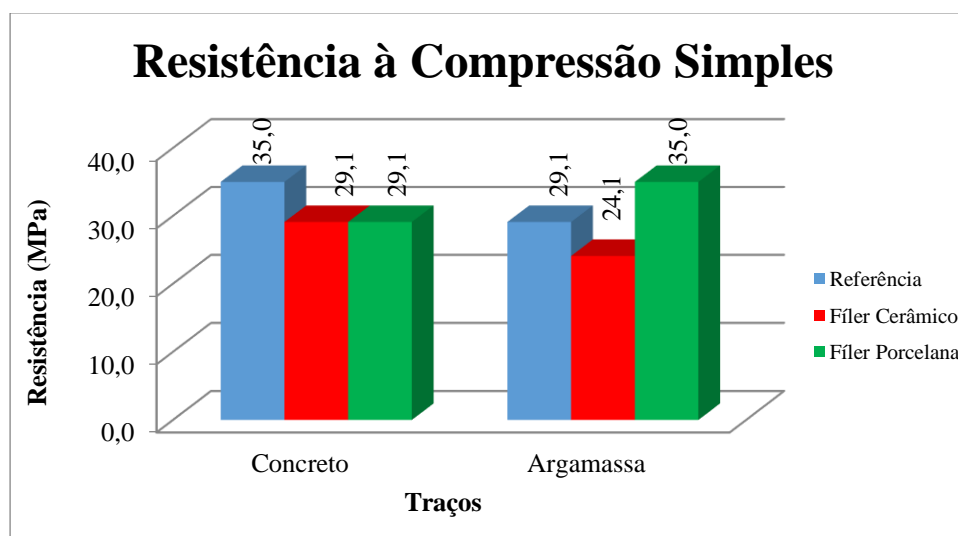


Figura 1. Resistencia à compressão simples.

Tabela 5. Resistência à compressão simples.

<b>Resistência à Compressão Simples (MPa)</b>		
<b>Traços</b>	<b>Concreto</b>	<b>Argamassa</b>
<b>Referência</b>	35,0	29,1
<b>Fíler Cerâmico</b>	29,1	24,1
<b>Fíler Porcelana</b>	29,1	35,0

Observa-se que para a idade de 7 dias não há uma relação direta entre os valores de ensaios dos concretos e argamassas e os teores de substituição do cimento. Para os concretos os traços com fíler cerâmico e de porcelana apresentaram resistência inferior ao traço referência de 16%. Estes valores inferiores indica que os fílers cerâmicos utilizados possuem uma atividade pozolânica tardia o que poder ser confirmado com a realização de ensaios em idades mais avançadas.

Para as argamassas os valores de resistência à compressão simples também não seguiram uma tendência em relação ao teor de substituição do cimento Portland, pois o traço com fíler cerâmico apresentou resistência 17% inferior a referência, ao passo que o traço de argamassa com fíler de porcelana a resistência foi 20% superior ao traço referência.

Este comportamento de aumento de resistência à compressão simples para a argamassa com fíler de porcelana é atribuído ao tipo de cura, submersa, assim a água da cura contribui para aumento do índice de atividade pozolânica da porcelana. Este fato não foi observado para o fíler cerâmico, pois conforme relatos bibliográficos a porcelana possui um índice de atividade pozolânica maior que a cerâmica vermelha, principalmente pela sua temperatura de queima e controle das matérias-primas e do processo fabril mais mecanizado.

Mesmo com estes fatores em benefício ao fíler de porcelana o traço de concreto não teve uma melhora de resistência que pode ser atribuído ao tipo de cura, ao ar livre, que é um processo de cura comum em obras brasileiras. Assim, em um primeiro instante não houve contribuição da água de cura para o desenvolvimento das atividades pozolânicas, que poderão se desenvolver ao com o aumento da idade de ensaio.

Portanto, estes resultados preliminares, isto é, de idades de ensaios de 7 dias, observa-se que há possibilidade de substituição de 30% do cimento Portland em concretos e argamassas pela mistura combinada de 10% de sílica ativa e 20% de fíler de fonte cerâmica ou de cerâmica vermelha ou de isoladores elétricos de porcelana, já que até o momento estes materiais cerâmicos não possuem uma metodologia difundida nacionalmente que permita seu uso.

A incorporação destes resíduos cerâmicos em concretos e argamassas é uma alternativa passível de utilização na construção civil, porém deve ser mais bem estudada, seja através da realização de ensaios de resistência e durabilidade em idades avançadas ou em estudos de novos teores de combinação de sílica ativa e fílers cerâmicos, contribuindo com isso na redução do descarte destes resíduos cerâmicos e conferindo ganhos ambientais, com sua destinação correta, e econômicos ao setor produtivo destes materiais.

## **CONCLUSÕES**

O processo de moagem a que os resíduos cerâmicos são submetidos para sua reutilização na construção civil permite de início obter um material alternativo, que quando finamente moído, pode ser incorporado em concretos, atuando como fíler pozolânico, pois seu processo de produção envolve a queima em altas temperaturas e suas matérias-primas são similares as do cimento Portland.

Por ser um setor que engloba inúmeros tipos de cerâmica os resíduos de telhas cerâmicas e de isoladores elétricos de porcelana atendem estes quesitos iniciais de serem utilizados como fíler em concretos com baixo teor de cimento Portland. Assim, o controle da granulometria destes tipos de fíler permite seu uso em concretos, entretanto, recomenda-se a incorporação em conjunto com a sílica ativa, outro material com propriedade pozolânica.

A incorporação destes fílers nos concretos e argamassas com baixo teor de cimento mostrou ser benéfica, pois com apenas 7 dias de idades os traços com fíler atingiram valores de resistência à compressão simples similares aos traços de referência, resistências estas que tende a aumentar em idades mais avançadas.

Portanto, a metodologia apresentada neste trabalho será um legado para próximas pesquisas visando a utilização de resíduos de isoladores elétricos de porcelana e telhas cerâmicas em concretos e

argamassas. Estes dois tipos de resíduos cerâmicos devem se somar a outros materiais alternativos com o intuito de reduzir o teor de cimento Portland em concretos e argamassas, beneficiando não apenas o setor da construção civil, mas toda a cadeia produtiva, pois há a utilização de resíduos antes descartados e principalmente a diminuição da poluição da indústria cimenteira e com a extração de materiais da natureza e seu beneficiamento industrial.

## **AGRADECIMENTOS**

Para este trabalho os autores agradecem as seguintes empresas: TecnosilBr pela doação da Sílica Ativa e Cerâmica Santa Terezinha pela doação dos isoladores elétricos de porcelana moídos, e ao Laboratório de Estruturas da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas pela realização dos ensaios.

## **REFERÊNCIAS**

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.
- \_\_\_\_\_. NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- \_\_\_\_\_. NBR 7211 – Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. NBR 7218 – Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.
- \_\_\_\_\_. NBR 7222 - Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- \_\_\_\_\_. NBR 8522 - Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.
- \_\_\_\_\_. NBR 11579 - Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 $\mu$ m (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.
- \_\_\_\_\_. NBR 16372 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.
- \_\_\_\_\_. NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 30 – Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75  $\mu$ m, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- Dal Molin, D. C. C. Adições minerais para concreto estrutural, In: ISAIA, G. C. Concreto Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, IBRACON, 2005.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo, IBRACON, 2008.
- Neville, A. M.; Brooks, J. J. Tecnologia do Concreto. Porto Alegre, Bookman, 2013.
- Rebmann, M. S., 2011. Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e lata resistência. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.