

## ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA ADIÇÃO DA SÍLICA ATIVA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS

MICAELA DOS SANTOS SEIDENSTUCKER<sup>1</sup>, CRISTIANO GOULART<sup>2</sup>, KAMILLE DA COSTA TOMIM<sup>3</sup> e VANESSA JONER<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduada em Eng. Civil pela UNIPAR, Palotina-PR, micaelaseidenstucker@gmail.com;

<sup>2</sup> Graduado em Eng. Civil, Mestre em Ciências Ambientais pela UNIC, Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável nível de Doutorado pela UNIOESTE, Coordenador do curso de Eng. Civil UNIPAR, Toledo-PR, goulart@prof.unipar.br;

<sup>3</sup> Graduada em Eng. Civil, Mestranda em Engenharia de Estruturas pela UEM, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela FAG, Prof, UNIPAR, Toledo-PR, kamilletomim@prof.unipar.br;

<sup>4</sup> Graduada em Eng. Civil pela UNIPAR, Quatro Pontes-PR, vanessajoner23@gmail.com;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC

Palmas/TO – Brasil

17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** As metalúrgicas que produzem ferro fundido, silício metálico e ligas de ferro silício são as principais geradoras dos subprodutos, dispendo milhões de toneladas de resíduos todos os anos. Esses subprodutos são liberados diretamente ao meio ambiente, causando sérios problemas ambientais. Sendo assim, procurou-se estudar a sílica ativa, um aditivo mineral. A fim de diminuir o desperdício desses resíduos e cooperar com o meio ambiente, o objetivo desta pesquisa é analisar a contribuição da sílica ativa na resistência à compressão de concretos. Foram confeccionados cento e vinte corpos de provas, sendo trinta para cada traço com adições de 5%, 10% e 15%, cujos moldes passaram pelo ensaio de compressão aos 7, 14 e 28 dias de idade. Após a coleta dos resultados, prosseguiu-se com a realização das análises estatísticas pelos métodos de *Chauvenet*, *ANOVA* e *Teste Tukey*, onde foi possível analisar e concluir que a utilização da SA em concretos é benéfica, pois a mesma altera as suas propriedades melhorando e aumentando a resistência a compressão axial, diminuindo a porosidade e permeabilidade e, conseqüentemente, produzindo concretos mais duráveis. Em relação ao custo benefício da utilização da SA em concretos com altos índices de resistência, a mesma se torna uma ótima opção para a substituição parcial do cimento Portland.

**PALAVRAS-CHAVE:** Subprodutos, aditivo mineral, propriedades, duráveis.

## ANALYSIS OF THE CONTRIBUTION OF THE ADDITION OF SILICA FUME ON COMPRESSION STRENGTH OF CONCRETES

**ABSTRACT:** The metallurgic which produce cast iron, metallic Silicon and iron Silicon alloys are the main generator of byproduct, producing millions of tons of residue every year. These byproducts are released directly to the environment, causing serious environmental problems. Therefore, it was necessary the study of the silica fume, a mineral additive. In order to reduce the dissipation of this residue and cooperate with the environment, the objective of this research is to analyze the contribution of silica fume on compressive strength of concrete. It was manufactured 120 bodies of evidence, being 30 for each trace with additions of 5%, 10% and 15%, whose casts passed through the compression test to 7, 14 and 28 days old. After collecting the results, the study continued with the realization of the statistical analysis by methods of *Chauvenet*, *ANOVA* and *Tukey Test*, where it was possible to analyze and conclude that the use of the SF in concretos is beneficial, because it changes its properties by improving and increasing resistance to axial compression, decreasing the porosity and permeability, and consequently, producing more durable concrete. In relation to the cost benefit of the use of SF in concretos with high rates of resistance, it makes a great option for the replacement part of the Portland cement.

**KEYWORDS:** By-products, mineral additive, properties, durable.

## INTRODUÇÃO

O concreto, de acordo com Vieira et al (s.d), é um dos materiais mais utilizados na construção civil. Sua conjugação com o aço e facilidade de ser moldado in loco, possibilita a realização de várias estruturas esbeltas das mais variadas formas em diversos ambientes, como: pontes, casas e edifícios de alvenaria, rodovias, plataformas, barragens de usinas hidrelétricas e nucleares. Contudo, devido às solicitações mecânicas e o ambiente em que estão expostas, essas devem ser projetadas e executadas para atender os requisitos mínimos de estabilidade, funcionalidade e segurança.

Entretanto, o concreto traz alguns problemas relacionados à sua durabilidade umas das causas mais estudadas atualmente, segundo Medeiros (2013). Devido à preocupação com sua vida útil e gastos para manutenção e recuperação de estruturas, busca-se melhorar suas propriedades, tornando-as mais duráveis, resistentes e econômicas.

Devido a essa busca constante por melhorias, procurou-se estudar os “materiais pozolânicos”, dedicando-se o trabalho a um estudo comparativo entre concretos com a adição de sílica ativa (SA) e o concreto convencional.

Os materiais pozolânicos podem ser definidos como:

Materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes. ((ABNT) NBR 12.653:2012. p.1)

Mehta e Monteiro (2014) classificam os materiais pozolânicos em naturais que consiste em produzir uma pozolana a partir do processo de britagem, moagem e separação. E os subprodutos provenientes das indústrias, que podem ou não requerer algum tratamento antes de serem utilizados.

De acordo com Moraes (2010), as pesquisas sobre as propriedades e vantagens dos materiais pozolânicos iniciaram no final do século XVIII. O emprego das pozolanas nos concretos, substituindo parcialmente o cimento, trouxe benefícios às suas propriedades tanto na resistência à compressão, quanto na durabilidade, permeabilidade e porosidade. Porém, por serem materiais escassos, pararam de ser utilizados até que se notou a sua presença nos subprodutos industriais, dentre os quais destacamos a SA

A SA é um material cimentício oriundo da produção de silício ou ligas de ferrosilício. Sua formação se dá a partir de quartzo com alto grau de pureza e carvão em forno elétrico a arco submerso. O dióxido de silício é liberado em seu estado gasoso, sofre oxidação e se condensa em partículas de sílica vítrea em que é altamente reativa. Esta, por ser extremamente fina, acelera a reação com o hidróxido de cálcio provocado pela hidratação do cimento Portland, proporcionando assim benefícios a suas propriedades. (Neville, 2016).

As metalúrgicas são as principais geradoras dos subprodutos, essa atividade produz milhões de toneladas de resíduos todos os anos e, lançá-los em aterros e córregos, resultaria em desperdício de material, desencadeando sérios problemas ambientais. Nesta perspectiva, aproveitar o potencial pozolânico destes subprodutos na construção civil, como a SA, um aditivo mineral, resultaria em uma considerável economia de energia e de custo. (Mehta; Monteiro, 2014).

Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo, analisar a contribuição da adição da SA na resistência à compressão de concretos, comparando-as ao concreto convencional. Determinar que a aplicação da SA torna as estruturas de concreto mais duráveis e, com o aproveitamento da SA, estaremos consequentemente contribuindo ao meio ambiente.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho embasou-se a partir de referências bibliográficas e pesquisas experimentais e exploratórias. De acordo com Prodanov; Freitas (2013), a pesquisa experimental é muito utilizada nas ciências tecnológicas, devido à manipulação direta das variáveis relacionadas como objeto de estudo. Para tanto, é necessária a utilização de um local apropriado, aparelhos e instrumentos de precisão, de modo a comprovar suas causas e efeitos. Já a pesquisa exploratória, se caracteriza pelo seu planejamento flexível; é a fase preliminar do objeto investigado, na qual possibilita a delimitação do tema e levantamento de hipóteses.

Desta forma desenvolveu-se um traço em massa com Fck 25 MPa por meio do método do ABCP com teor de argamassa de 55%. O traço base ficou expresso da seguinte forma: 1:2:2,5:0,5 (cimento: areia: brita: água).

Para os concretos com adição mineral, a porcentagem estabelecida será 5%, 10% e 15% da massa total de cimento que, segundo Neville (2016), uma adição inferior a 5% não resultaria em elevada resistência, devido à adição ser insuficiente para propiciar o fortalecimento da interface e dosagens superiores a 15%, acabariam em menores ganhos de resistência.

Para o concreto convencional sem adição de SA, fixou-se a relação água/aglomerante conforme o traço sem fazer o uso de superplastificante. Entretanto, para os demais traços com adição de SA, careceu a utilização de aditivo superplastificante para atribuir uma certa consistência ao concreto, reduzindo assim a relação água/aglomerante.

Estabelecido o traço base, a relação água/aglomerante e determinado as porcentagens de adição, a pesquisa experimental se desenvolveu no laboratório de Estruturas da Universidade Paranaense na cidade de Toledo/PR. Os materiais utilizados para a pesquisa estão expostos no Quadro 1.

**Quadro 1** – Materiais utilizados

<b>MATERIAIS</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO</b>
Aglomerante principal	Cimento Portland (CP II-Z-32)
Aglomerante secundário	Sílica ativa (SA)
Agregado miúdo	Areia média
Agregado graúdo	Brita 1
Amassamento principal	Água potável
Amassamento secundário	Superplastificante (FORT FLOW)

**Fonte:** O autor, 2018

Os corpos de prova adotados segundo a NBR 5.738:2003/Emd.1:2008, foram os cilíndricos com diâmetro de 100mm e altura 200mm. O adensamento aconteceu de forma manual com haste e para a preparação do concreto se utilizou a betoneira. Durante as primeiras 24 horas, esses permaneceram armazenados em locais protegidos contra intempéries e cobertos por material não reativo e absorvente. Após as 24 horas da moldagem, deu início ao processo de desmoldagem e identificação, nas quais os corpos de prova foram imersos em solução saturada de hidróxido de cálcio (cal hidratada) até a idade de rompimento.

Para cada um dos quatro traços foram confeccionados dez corpos de prova totalizando 120 moldes, sendo que, segundo Vanderlei (2004), é ideal que o ensaio de compressão axial ocorra em 7,14 e 28 dias de idade, seguindo os critérios de rompimento da NBR 5.739:2007.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após o levantamento dos dados de todos os corpos de prova confeccionados, iniciou-se uma avaliação crítica a partir da análise estatística, onde serão demonstradas as médias de resistência à compressão e o nível de significância entre as amostras.

O primeiro procedimento adotado foi o critério de *Chauvenet* que, segundo Callegaro (2014), consiste em um método estatístico desenvolvido para a detecção de *outliers* das amostras. De acordo com o método, é necessário fazer uma relação em que a resistência subtraída pela média das amostras e o resultado dividido pelo desvio padrão, nos dê um valor máximo, este é comparado com a tabela *Chauvenet* onde procedemos com a aceitação ou rejeição das amostras. O Quadro 2 ilustra o número de aceitação das amostras de acordo com cada traço, número de corpos de prova e idade de rompimento.

**Quadro 2** – Número de aceitação das amostras

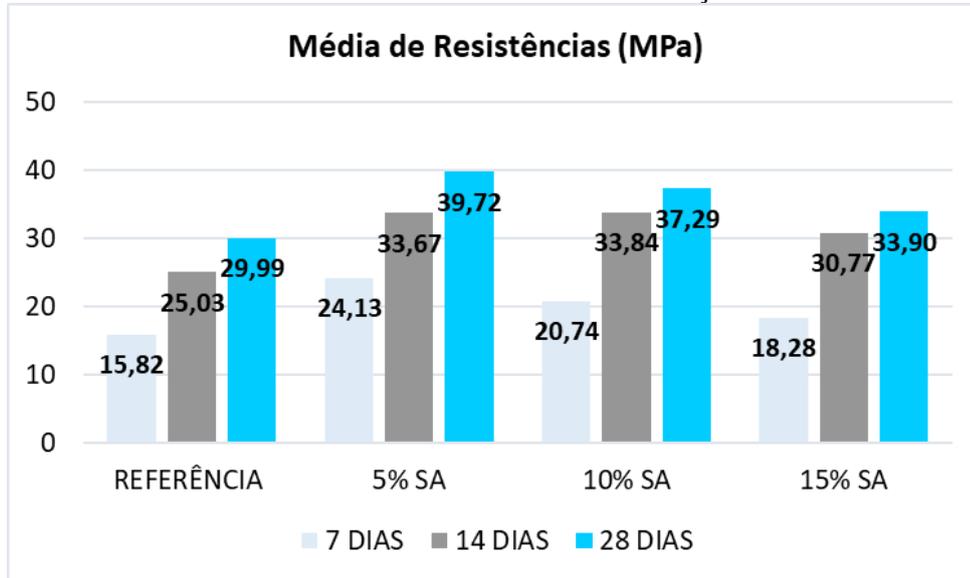
<b>IDADE</b>	<b>0%</b>	<b>5% SA</b>	<b>10% AS</b>	<b>15% AS</b>
7	10	10	10	10
14	10	9	9	10

28	10	10	10	10
----	----	----	----	----

Fonte: O autor, 2018

O Gráfico 1 apresenta as médias das resistências a compressão após o tratamento dos dados obtidos.

**Gráfico 1:** Gráfico das Médias das Resistências em relação aos dias de idade.



Fonte: O autor, 2018

Ainda confrontando os resultados das amostras, utilizar-se á a análise de variância, mais conhecida como ANOVA que, segundo Silva et al (2011), consiste em uma técnica que realiza a comparação das médias para duas ou mais variáveis, baseado em um conjunto de variáveis independentes que busca avaliar se há diferenças entre os grupos apurados.

Pelo fato da ANOVA informar apenas se há diferença significativa a um nível de significância estabelecido (5%), e não disponibilizar quais os grupos que sofrem essa alteração, será necessário realizar o Teste Tukey após a medição da análise de variância.

De acordo com Sousa et al (2012), o Teste Tukey detém um grande controle da taxa de ocorrência de erros sobre a distribuição normal em que, quando aplicado corretamente, fornece especificadamente quais amostras diferem entre si ou não, estatisticamente.

Realizada a conferência dos resultados das amostras pelos métodos aplicados, foi possível constatar se houve diferença significativa entre o concreto convencional, comparados aos concretos com adições de SA. Considerando os resultados em relação à idade das amostras, obtemos as seguintes informações:

- 7 dias de idade: Comparando o concreto convencional com o concreto com adição de 5% e 10%, houve diferenças significativas. Entretanto, o concreto com adição de 15% não apresentou diferenças comparado ao concreto convencional.
- 14 dias de idade: Verificou-se que o concreto convencional comparado ao concreto com adição de 5%, 10% e 15%, resultou em diferenças significativas.
- 28 dias de idade: Confrontando o concreto convencional com o concreto com adições de 5%, 10% e 15% de SA, certificou-se que houve diferenças significativas.

## CONCLUSÃO

De modo geral, as adições de 5%, 10% e 15% proporcionaram grandes benefícios ao concreto. Contudo, é notório que a utilização de 5% se destacou diante das demais, logo nos 7 dias de idade com um aumento de 52,5% comparado ao concreto convencional. Isto ocorreu devido à concentração adicionada ao concreto produzir dois efeitos positivos: o químico e físico. O químico ocorre no momento que se faz a adição desta pozolana no concreto, a mesma sofre reação com o hidróxido de

cálcio, formando mais silicato de cálcio hidratado e aumentando a resistência mecânica do concreto, dado que o silicato de cálcio hidratado é mais resistente aos agentes agressivos, esse aumenta a resistência química do concreto. O efeito físico ou microfíler se dá devido à SA ser em torno de 100 a 150 vezes mais fina que o cimento. Ela preenche os espaços vazios da zona de transição agregados/pasta, tornando-o mais impermeável, reduzindo assim o número e tamanho dos poros capilares e evitando a infiltração dos agentes agressivos, tornando o concreto mais durável.

Em relação ao custo benefício dos insumos para a fabricação de 1m<sup>3</sup> de concreto, constatou-se que para concretos com resistências características à compressão axial baixas, não é viável a utilização da SA devido a seu custo. Entretanto, quando se trata de um concreto com resistência característica com Fck 30MPa esta adição, passa a ser economicamente vantajosa, ou seja, para concretos com alta resistência, o custo pode ser reduzido consideravelmente quando utilizada corretamente

Com base nas pesquisas e estudos podemos concluir que a utilização de adições minerais como a SA, substituindo parcialmente o cimento Portland em concretos, é uma solução futura para os problemas enfrentados pelas indústrias metalúrgicas, as quais ainda não possuem um destino aos resíduos produzidos. A utilização destes materiais pozolânicos em concretos, além de diminuir o volume de resíduos tóxicos, também contribui na área da construção civil, em especial nos concretos aumentando a sua resistência à compressão axial, levando a fabricação de concretos menos permeáveis e muito mais duráveis.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5.738: concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio Janeiro,2003/Emd.1:2008
- \_\_\_\_\_. ABNT NBR 5.739: concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio Janeiro,2007
- \_\_\_\_\_. ABNT NBR 12.653: materiais pozolânicos. Rio Janeiro, 2012.
- Callegaro Frizzo Rafael. Uma arquitetura para fusão de dados de sensores de baixo custo em redes de sensores sem fio. Florianópolis, 2014.
- Medeiros. M.H.F; Gobbi. A; Groenwold. J.A; Helene. P. Previsão da vida útil de concreto armado de alta resistência com adição de metacaulim e sílica ativa em ambientes marinhos. Ouro Preto, Minas Gerais, 2013.
- Mehta. P. Kumar; Monteiro Paulo. J. M. Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais. 2 edições. São Paulo, 2014.
- Moraes. M.Q; Lopes. R.R. Análise da contribuição das adições de microssílica e nanossílica na resistência à compressão de concretos convencionais. Goiânia, 2010.
- Neville. A.M. Propriedades do concreto. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- Prodanov. C.C; Freitas. E.C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2.ed. Novo Hamburgo- Feevale, 2013.
- Silva. C.A; Wanderley. N. A.C. Santos. R (in memorian). Utilização de ferramentas estatísticas em artigos sobre contabilidade financeira – um estudo quantitativo em três congressos realizados no país. Florianópolis, 2011.
- Souza. A. C. (1); Junior. L. A. M. (2); Ferreira. C. L.R (3). Avaliação de testes estatísticos de comparações múltiplas de médias. Pernambuco, 2012.
- Vandereli. R.D. Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas / Romel Dias Vanderlei. São Carlos, 2004
- Vieira, Fernanda P. (1); Kulakowski, Marlova. P (2); Dal Molin, Denise (3); Vilela, Antonio C.F(4). Durabilidade e resistência mecânica de concretos e argamassas com adição de sílica ativa. Porto Alegre, “s.d”.