

## AUMENTO DE DURABILIDADE DE ARGAMASSAS PARA POCILGAS COM UTILIZAÇÃO DE SÍLICA ATIVA E NANOSSÍLICA

CLÓVIS SEFFRIN JÚNIOR<sup>1</sup>, JEFFERSON DE SANTANA JACOB<sup>2</sup>,  
TATIANE ISABEL HENTGES<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Contestado/UnC, Concórdia/SC, Fone: (0XX49)98883-2881, [clovis.junior@aluno.unc.br](mailto:clovis.junior@aluno.unc.br)

<sup>2</sup> Eng. Civil, Prof. MSc., Embrapa Suínos e Aves, Concórdia/SC; Curso de engenharia civil, Universidade do Contestado/UnC, Concórdia-SC;

<sup>3</sup> Eng. Civil, Prof. MSc., Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental, Universidade do Contestado/UnC, Concórdia-SC

Apresentado no  
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021  
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

**RESUMO:** Os materiais cimentícios são os mais utilizados em construções agrícolas, no entanto, não há uma recomendação estabelecida para concretos e argamassas em ambientes agrícolas no Brasil, e mais estudos ainda são necessários. Contudo, os dejetos suínos podem causar desgaste e danos às estruturas cimentícias de pocilgas, diminuindo sua durabilidade. Neste contexto, este estudo avaliou o comportamento de argamassas com sílica ativa e nanossílica a um ataque ácido, simulando os efeitos dos ácidos presentes nos dejetos suínos. Foi investigada a utilização de 15% de substituição do cimento por sílica ativa em argamassa, bem como a incorporação de nanossílica como aditivo. As amostras foram submetidas a ciclos de imersão em solução ácida e imersão em água com cal. A perda de massa foi medida ao longo dos ciclos e as resistências à compressão aos 28 dias e após os ciclos de ataque ácido também foram determinadas. Os resultados indicaram que o uso combinado de sílica ativa a 15% e nanossílica aumentou a resistência à compressão das argamassas em 20%. Após o ataque ácido, as argamassas com 15% de substituição de cimento por sílica ativa e uso de nanossílica apresentaram menor perda de resistência à compressão e menor perda de massa do que as argamassas de referência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pocilgas. Sílica Ativa. Nanossílica.

### ENHANCEMENT OF DURABILITY OF MORTARS FOR PIG HOUSES WITH THE USE OF SILICA FUME AND NANOSILICA

**ABSTRACT:** Cementitious materials are the most used ones in agricultural constructions, however there is no established recommendation for concretes and mortars for agricultural environment in Brazil, and further studies are still necessary. However, swine manure can cause loss of strength and damage to cementitious structures in pig houses, decreasing their durability. In this context, this study evaluated the behavior of mortars with silica fume and nanosilica to an acid attack, simulating the effects of acids present in swine manure. The use of 15% replacement of cement by silica fume in mortar was investigated, as well as the incorporation of nanosilica as an additive. The samples were submitted to immersion cycles in acidic solution and immersion in saturated limewater. The mass loss was measured along the cycles and the compressive strengths at 28 days and after the acid attack were also determined. The results indicated that the combined use of silica fume at 15% and nanosilica increased the compressive strength of mortars by 20%. After the acid attack, the mortars with 15% replacement of cement by silica fume and the use of nanosilica showed less loss of compressive strength and less mass loss than the reference mortars.

**KEYWORDS:** Pig houses. Silica fume. Nanosilica.

**INTRODUÇÃO:** A criação de suínos é uma demanda crescente e no ano de 2020 o Brasil foi o quarto maior produtor e o quarto maior exportador de carne suína no mundo (ABPA, 2021). O Brasil possui um papel de protagonista neste cenário de criação de suínos, em específico na região sul do país, fato que gera preocupações com as consequências oriundas da produção, citando-se fatores como durabilidade das construções, métodos construtivos, impactos ambientais e bem-estar dos animais, devido à falta de padronização na elaboração de projetos e execução de construções destinadas à suinocultura (SARTOR *et al.*, 2004). O ambiente da suinocultura é considerado um meio agressivo aos materiais cimentícios, e este, portanto precisa ser projetado para resistir aos vários agentes agressivos deste meio. Os dejetos suínos tem uma composição muito heterogênea (BORTOLI, 2014), que pode variar de acordo com a idade, fisiologia, raça e métodos de criação (MASSANA *et al.*, 2013). Os valores de pH dos dejetos, que podem variar de 5,30 a 7,72 (TAVARES, 2012), não são um problema para os materiais cimentícios. No entanto, os ácidos orgânicos, bem como os sais de sulfato presentes nos dejetos podem ser agressivos às estruturas de concreto e argamassa. Os ácidos orgânicos podem se combinar com o  $\text{Ca(OH)}_2$  presente em materiais cimentícios e produzir sais de cálcio solúveis. A dissolução do cálcio aumenta a porosidade do concreto, facilitando a entrada de outros agentes agressivos provenientes da ração, da urina e dejetos dos animais. Grandes quantidades de ácido láctico e acético, bem como os íons agressivos  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{NH}_4^+$  já foram observados em pisos para suínos (DE BELIE *et al.*, 2000). Todos esses agentes também podem diminuir o pH do concreto, levando à corrosão e reduzindo a área da seção transversal das barras de aço, tanto de pisos quanto de estruturas diversas em concreto como pilares, comedouros e muretas. A lixiviação da pasta de cimento pode provocar ainda a exposição dos agregados, aumentando a rugosidade do piso. Estudos mostram que pisos ásperos podem afetar a saúde animal e, portanto, a produção (OLSSON *et al.*, 2016; KRAMER; ALBERTON, 2014). Muitos são os fatores que podem afetar a resistência do concreto, tais como relação água/cimento, consumo de cimento por volume de material, o tipo de cimento, adição de polímeros, aplicação de hidrofugantes, entre outros revestimentos impermeabilizantes. Vários países como França, Irlanda e Espanha recomendam o uso de materiais cimentícios suplementares como escória de alto forno, sílica ativa, cinza volante e cimentos resistentes a sulfatos em concretos para edificações agrícolas (JACOB *et al.*, 2020). Entretanto, no Brasil nenhuma recomendação específica está estabelecida e mais estudos ainda são necessários. Uma vez que o ataque químico nos materiais cimentícios é regido principalmente por sua porosidade, a sua durabilidade pode ser aumentada pela incorporação de adições minerais como sílica ativa e nanossílica (MARAVEAS, 2020). A sílica ativa é um pó extremamente fino, sendo um subproduto da produção do silício metálico ou ferro silício o qual pode produzir refinamento dos poros, além de aumentar a resistência mecânica dos materiais cimentícios (SENFF *et al.*, 2010). Deste modo, este trabalho teve como objetivo avaliar argamassas com uso da sílica ativa, na forma isolada e na forma combinada à nanossílica, quando expostas a um ataque ácido, simulando os efeitos dos ácidos presentes nos dejetos suínos.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram estudados três traços de argamassa. O traço de referência (REF) foi composto pela relação 1:3 de cimento e areia média, 0,10% de aditivo plastificante polifuncional (nome comercial ADVA CAST 525), relação a/c 0,6. O segundo, com adição de sílica ativa (SA), com relação 1:3 de cimento e areia média, substituindo-se 15% da massa de cimento por sílica ativa, 0,10% de aditivo plastificante polifuncional e relação a/c 0,6. O terceiro, com sílica ativa e nanossílica(SA+NS), com relação 1:3 de cimento e areia média, substituindo 15% da massa de cimento por sílica ativa e 0,10% de aditivo com adição de nanossílica (nome comercial Silicon NS 200), e relação a/c 0,6. Para a realização dos ensaios de laboratório foram moldados 27 (vinte e sete) corpos de prova cilíndricos com dimensões de

5x10cm, sendo 9 (nove) de cada traço. Após o tempo de cura de 28 dias, três exemplares de cada traço passaram pelo ensaio de resistência à compressão de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018). Com intuito de simular o ataque ácido ocasionado pelos dejetos suínos que ocorrem em estruturas cimentícias na suinocultura, foram executados três ciclos de ataques em solução de ácidos orgânicos nos corpos de prova em 9 exemplares, 3 de cada traço. A solução ácida utilizada foi composta por 70% de ácido acético, 20% de ácido propiônico e 10% de ácido butírico, as mesmas obtidas por Bortoli (2014) em um estudo sobre armazenamento de dejetos suínos. O pH da solução foi de 3,3 e a razão líquido/sólido foi de 1:15, a mesma utilizada por Bertron *et al.* (2004). Foram medidas as massas dos corpos de prova antes e após o fim de cada ciclo de modo a avaliar a perda de massa ocorrida em cada amostra. Cada ciclo de ataque químico e de cura com água e cal teve a duração de 7 dias (Figura 1). Após este período, os mesmos foram submetidos à pesagem e posterior secagem em estufa durante 24 horas com temperatura constante de 105°C. Após secos em estufa, pesaram-se novamente os corpos de prova para obter a variação de massa de cada amostra. Após realizado o último ciclo de ataque da solução ácida, mediu-se a massa dos mesmos quando úmidos e após secagem em estufa. Em seguida, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Além dos ciclos de ataque químico, outros 9 corpos de prova, 3 de cada traço, logo após os 28 dias de moldagem, foram imersos em solução de água e cal e assim permaneceram os 21 dias (Figura 2). Após os 21 dias de imersão, estes corpos de prova também foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão.



Figura 1. Corpo de prova de argamassa com sílica ativa (SA) em solução ácida



Figura 2. Corpo de prova de argamassa com sílica ativa (SA) em solução de água e cal

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** No ensaio de resistência à compressão aos 28 dias, o traço com sílica ativa e nanossílica (SA+NS) obteve o maior valor, apresentando média de 32,0 MPa (Figura 3). Em seguida, a amostra contendo apenas SA, apresentou valor médio de 30,9 MPa e a amostra de referência, apenas com cimento Portland, 26,4 MPa. Nas amostras submetidas à cura em solução de água e cal, pode-se notar um aumento de resistência à compressão nos três traços estudados, após os 21 dias de imersão. Vale ressaltar que o maior ganho percentual de resistência aconteceu na amostra com SA+NS (2,1%) contra 1,3% na amostra de referência. Tal fato pode ser explicado pela sílica ativa e a nanossílica serem pozolanas, as quais são materiais que consomem o  $\text{Ca(OH)}_2$ , material solúvel, para produzir silicato de cálcio hidratado (C-S-H), o qual é um dos principais responsáveis pela resistência mecânica dos materiais cimentícios (NEVILLE, 2016). Além disso, as pozolanas proporcionam melhoramento da microestrutura dos compostos hidratados, assim como uma melhor aderência entre a pasta de cimento e os agregados. Por outro lado, após os 3 ciclos de ataque ácido, pôde-se notar considerável perda de resistência em todos os 3 traços. A amostra que perdeu menos resistência foi a com uso combinado de sílica e nanossílica (SA+NS), denotando uma tendência de maior resistência aos ácidos utilizados do que a referência. A amostra com sílica ativa e a amostra de referência tiveram uma perda de resistência de aproximadamente 15% em relação às amostras que ficaram na solução com cal, enquanto a amostra com uso de sílica ativa combinada com nanossílica apresentou perda de 10%. Deste modo, denotando uma melhoria de propriedades quando utilizado de forma conjunta à sílica ativa. O uso combinado de SA e nanossílica pode trazer benefício aos materiais cimentícios, pois eles possuem tamanhos de partícula muito diferentes, o que pode aumentar o empacotamento de partículas, permitindo um material mais compacto (MENDES *et al.*, 2017; HENDI *et al.*, 2017).

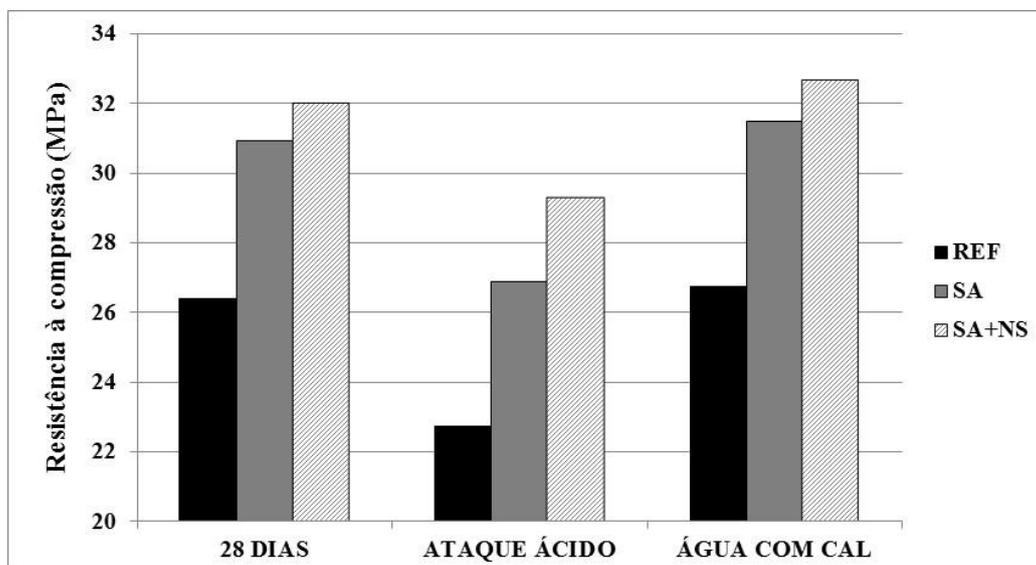


Figura 3. Resistência à compressão das argamassas estudadas aos 28 dias, após 21 dias de ataque ácido e após 21 de imersão em água com cal.

Após o primeiro ciclo de ataque químico, a maior perda de massa foi registrada no traço referencial, com 0,87%, porém após o segundo e terceiro ciclo houve um crescimento considerável de perda de massa, principalmente no traço referencial, que obteve resultados mais acentuados (Tabela 1). O traço com adição de sílica ativa e nanossílica apresentou as menores perdas de massas após os três ciclos (5,03%) em comparação a 6,18% na amostra de referência. Adições minerais como a sílica ativa e a nanossílica podem causar refinamento dos poros, aumento de resistência à compressão e melhor resistência química aos materiais cimentícios (LI *et al.*, 2017). Na Figura 4, pode ser observado o aspecto superficial das amostras com sílica

ativa (SA) após os ensaios. Em (A) se encontra uma amostra do tratamento com SA após os 21 dias de imersão em água com cal e em (B) pode-se observar o aspecto da amostra após 3 ciclos em solução ácida. Pode-se notar em (B) um desgaste superficial da argamassa, com exposição de grãos de areia, enquanto na argamassa em água e cal o aspecto é íntegro, sem aspecto rugoso. A alta pureza e alta porcentagem de sílica amorfa na sílica ativa e na nanossílica assim como suas grandes superfícies específicas podem gerar mais reações pozolânicas do que outras adições minerais (KHAN & SIDDIQUE, 2011). Deste modo, podem proporcionar mais resistência aos ataques químicos.

Tabela 1. Perda de massa das argamassas ao longo do ensaio de ataque ácido (%)

AMOSTRA	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3
REF	0,87	3,72	6,18
SA	0,56	3,12	5,15
SA+NS	0,51	2,99	5,03



Figura 4. (A). Aspecto superficial da amostra com sílica ativa (SA) após 21 dias em solução de água e cal. (B) Aspecto superficial da amostra com sílica ativa (SA) após os 3 ciclos em solução ácida.

**CONCLUSÕES:** O uso de sílica ativa e nanossílica produziu aprimoramento nas propriedades das argamassas, elevando a resistência à compressão e reduzindo sua perda de massa em ambiente ácido. O uso combinado de sílica ativa e nanossílica tendeu a apresentar melhores resultados do que o uso isolado de sílica ativa. Deste modo, o uso de sílica ativa e uso de aditivo com nanossílica podem aumentar a durabilidade de materiais cimentícios quando estes estão em contato com dejetos suínos.

**AGRADECIMENTOS:** Primeiramente gostaria de agradecer ao UNIEDU, que foi o órgão que tornou possível a execução e desenvolvimento desta pesquisa e também agradecer à Empresa Suínos e Aves e à Universidade do Contestado, Campus Concórdia, pelo auxílio no desenvolvimento dos ensaios e da pesquisa.

## REFERÊNCIAS:

- ABNT. NBR 5739: ensaio de compressão de corpo-de-prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2018.
- ABPA. Relatório anual 2021. Disponível em: [http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA\\_Relatorio\\_Anual\\_2021\\_web.pdf](http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf). Acessado em: 25 de agosto de 2021.
- BERTRON, A., ESCADEILLAS, G., DUCHESNE, J. Cement pastes alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical characterization. *Cement and Concrete Research*, v.34, p.1823-1835, 2004.
- BORTOLI, M. Desnitrificação em dejetos frescos de suínos com vistas ao reuso de efluentes da suinocultura. 127p. Tese Doutorado. Florianópolis: UFSC, 2014
- DE BELIE, N.J.J. LENCHAN, C. R. BRAAM, B. SVENNERSTEDT, M. RICHARDSON, SONCK. Durability of Building materials and components in the agricultural environment, Part III: Concrete Structures *J. Agric. Engng Res.* 76, 3-16, 2000.
- GERVÁSIO, E. W. Suinocultura – Análise da conjuntura agropecuária. SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 2013.
- JACOB, J.S.; MASCELANI, A.G.; DALLA COSTA, F.A.; DALLA COSTA, O.A. Qualidade de piso de concreto para a suinocultura. Comunicado Técnico 574. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2020.
- HENDI, A.; RAHMANI, H.; MOSTOFINEJAD, D.; TAVAKOLINIA, A.; KHOSRAVI, M. Simultaneous effects of microsilica and nanosilica on self-consolidating concrete in a sulfuric acid medium. *Construction and Building Materials*, v.152, p.192-205, 2017.
- KHAN, M. I.; SIDDIQUE, R. Utilization of silica fume in concrete: review of hardened properties. *Resources, Conservation and Recycling*, v.55, p.923–932, 2011.
- KRAMER, T.; ALBERTON, G.C. Prevalência de claudicação de porcas e condições das gaiolas de gestação em granjas no sul e sudeste do Brasil. VII Fórum Internacional de Suinocultura. Pork Expo 2014.
- LI, L.G.; HUANG, Z. H.; ZHU, J.; KWAN, A.K.H.; CHEN, H.Y. Synergistic effects of microsilica and nano-silica on strength and microstructure of mortar. *Construction and Building Materials*, v.140, p.229-238, 2017.
- MARAVEAS, C. Durability issues and corrosion of structural materials and systems in farm environment. *Applied Sciences*, v.10, n.3, p.990, 2020.
- MASSANA, J.; GUERRERO, A.; ANTÓN, R.; GARCIMARTÍN, M. A.; SÁNCHEZ, E. The aggressiveness of pig slurry to cement mortars. *Biosystems Engineering*, v.114, p.124-134, 2013.
- MENDES, T. M.; REPETTE, W. L.; REIS, P. J. Effects of nano-silica on mechanical performance and microstructure of ultra-high performance concrete. *Cerâmica*, v. 63, n.367, p. 387-394, 2017.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto; tradução: Ruy Alberto Cremonini – 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLSSON, A, SVENDSEN, J, BOTERMANS, J, BERGSTEN, C. An experimental model for studying claw lesions in growing female pigs. *Livestock Science* 184, 58–63, 2016.

SARTOR, V.; SOUZA, S. F.; TINOCO, I. F. F. Informações Básicas para Projetos de Construções Rurais. Unidade 2: Instalações para Suínos. Viçosa, 2004.

SEFFF, L.; HOTZA, D.; REPETTE, W. L.; FERREIRA, V. M.; LABRINCHA, J. A. Effect of nanosilica and microsilica on microstructure and hardened properties of cement pastes and mortars. *Advances in applied ceramics*, v.109, n.2, p.104-110, 2010.

TAVARES, J. M. R. Consumo de água e produção de dejetos na suinocultura. 230 p. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC, 2012.