

Cimentos supersulfatados (CSS) sob o ataque de sulfato de sódio: Análise da variação dimensional, de massa e de resistência à compressão

Supersulfated cement (CSS) under sodium sulfate attack: Analysis about expansion, mass and compression resistance variation.

RESUMO

Isabel Cristina Magro
isabelmagro@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Caroline Angulski da Luz
angulski@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Priscila Ongaratto Trentin
priscila-trentin@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Janaina Sartori Bonini
janatoribon@yahoo.com.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

A durabilidade é uma propriedade essencial para a construção civil, entretanto, agentes agressivos podem comprometer a acarretando em consequências negativas principalmente para as estruturas. O ataque por sulfatos tem sido uma das principais ações estudadas na questão da durabilidade por estar presente em ambientes marítimos que são locais onde a construção civil também se encontra. Estudar essas propriedades e suas variações em novos produtos que estão ganhando atenção é de extrema importância para seu desenvolvimento, pois assim podem ser mais explorados, como é o caso do cimento supersulfatado (CSS) em que estudos estão sendo retomados por incentivo de uma de suas principais características, o baixo impacto ambiental. Este trabalho tem como objetivo comparar o comportamento de pastas de CSS e de pastas de CPV ARI RS, quanto à variação de massa e variação dimensional de corpos de prova, quando exposto ao ataque por sulfato de sódio, utilizando da metodologia NIST Test e avaliar a variação de resistência das mesmas num período de 91 dias. Os resultados são favoráveis ao CSS porque apresentam estabilidade nas variações em idades mais avançadas e a resistência em geral é crescente mesmo que em taxas menores, indicando um bom comportamento quanto ao ataque por sulfato de sódio. **PALAVRAS-CHAVE:** Cimento supersulfatado. Ataque por sulfato. Durabilidade.

ABSTRACT

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



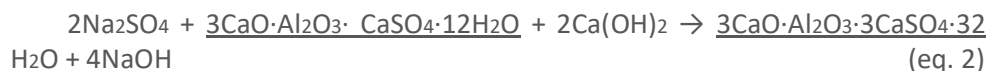
Durability is an essential property for civil construction, however, aggressive agents can compromise it, leading to negative consequences mainly for the structures. Sulfate attack has been one of the main actions studied in the issue of durability because it is present in maritime environments that are places where civil construction is also located. Studying these properties and their variations in new products that are gaining attention is extremely important for their development, because they can be further explored, as is the case of supersulfated cement (SSC), which studies are being resumed by encouraging one of its main characteristics, the low environmental impact. This study aims to compare the behavior of SSC pastes and Portland Cement pastes in terms of mass variation and expansion of specimens, when exposed to sodium sulfate attack, using the NIST Test methodology and evaluate their resistance gain in a period of 91 days. The results are favorable to SSC because they present stability in the variations at more advanced ages and the resistance is increasing even at lower rates, indicating a good behavior regarding the attack by sodium sulfate. **KEYWORDS:** Supersulfated cement. Sulfate attack. Durability

INTRODUÇÃO

Atualmente a sustentabilidade é um tema muito recorrente. Na construção civil não seria diferente, pois na produção do principal material do qual ela depende, o Cimento Portland, há grande taxa de liberação de CO₂ ao meio ambiente, elevado consumo de energia na elevação de altas temperaturas e de recursos naturais como o calcário (Rubert, 2015). Por esse motivo, houve a retomada dos estudos acerca dos cimentos de baixo impacto ambiental, entre eles o cimento supersulfatado (CSS) que além de possuir vantagens para o meio ambiente porque é produzido com escória de alto forno, um subproduto da indústria siderúrgica, possui elevada resistência à ambientes com concentração de sulfatos, também apresenta boa resistência, durabilidade em ambientes agressivos e baixo calor de hidratação (Gracioli *et al*, 2016).

A composição do CSS consiste na mistura da escória de alto forno (80-85%), uma fonte de sulfato de cálcio (10%-20%) e um ativador alcalino, normalmente Cimento Portland (até 5%) (Nguyen, 2016). Por ser um material ainda pouco explorado, faz-se necessário estudos que possibilitem um melhor entendimento de suas propriedades e desempenho, sendo possível sua aplicação.

Segundo Aleski (2010), quando em contato com o sulfato de sódio solubilizado em meio aquoso, o hidróxido de cálcio e o monossulfato, produtos da hidratação do cimento, são atacados e reagem com os íons do sulfato de sódio formando como produtos dessas reações, respectivamente, a gipsita mostrado na equação 1 e a etringita tardia mostrada na equação 2.



Esses produtos das reações causam expansão na matriz cimentícia que podem acarretar em consequências negativas, tanto nas características físicas quanto mecânicas do material. Por esse motivo, este trabalho tem como objetivo analisar a variação dimensional, variação de massa e resistência à compressão de pastas de CSS em comparação com pastas de CPV – ARI RS.

MATERIAIS E MÉTODOS

A escória granulada de alto forno utilizada tem massa específica 2,83 g/cm³, superfície específica de 4460 cm²/g e por possuir teor de CaO+MgO/SiO₂ igual a 1,52 e CaO+MgO+SiO₂ igual a 78,9 é possível utilizá-la na produção de CSS (EN15743:2010). Um dos sulfatos de cálcio utilizado é obtido por meio da fase anidra da gipsita que para ser obtida fez-se necessário utilizar o método descrito por Gracioli *et al*, (2017) onde primeiramente é moída a gipsita em moinho de bolas, em seguida peneirada na peneira 150 micrômetros e por último calcinada na mufla em temperatura de 650°C para obter sua forma anidra. O outro sulfato é o fosfogesso, que passa pelo mesmo processo da gipsita a fim de obter sua forma anidra. O cimento Portland tipo V – Alta Resistencia Inicial e Resistente a sulfatos (ARI –RS) foi utilizado para a composição da pasta para ser feita comparação com as pastas de CSS. Possui massa específica igual a 2,97 g/cm³ e superfície específica 5027 cm²/g. A composição desses materiais está presente no Quadro 1.

Como ativador alcalino, que tem a função de aumentar o pH do sistema e promover a solubilidade da escória para dar início as reações de hidratação no CSS, foi utilizado o Cimento Portland tipo V de alta resistência inicial.

O sulfato de sódio anidro com pureza de 99% foi utilizado para fazer a solução para simulação de um ambiente agressivo A solução de sulfato de sódio é com concentração de 50g/L em água destilada.

Quadro 1 – Composição química dos materiais

Composição	Escória	Gipsita	Fosfogesso	CPV – ARI RS
SO ₃ (%)	2,6	46,8	43,5	2,9
CaO (%)	42,8	38,5	35,2	-
SiO ₂ (%)	31,3	1	0,5	-
Al ₂ O ₃ (%)	13,3	0,3	0,1	-
MgO (%)	4,8	0,2	-	5,6
Fe ₂ O ₃ (%)	0,7	0,2	0,7	-
SrO (%)	-	0,1	0,7	-
TiO ₂ (%)	0,6		0,4	-
K ₂ O (%)	0,4	0,1	-	-
PF* %	2,6	12,8	17,7	4,4
Al** %	6	-	-	-

PF*: perda ao fogo; Al**: adições inorgânicas

Fonte: Autoria Própria (2019).

PREPARAÇÃO DAS PASTAS

Foram preparadas três pastas de CSS e uma pasta de CPV – ARI RS, todas com relação água/cimento igual a 0,45. No quadro 2 é apresentado as proporções de materiais utilizadas nas pastas. Inicialmente foi feita a mistura de todo o material seco e então adicionada a quantidade de água em 30 segundos, em seguida homogeneizada por mais 30 segundos, esperados mais 2 minutos e 30 segundos a pasta é misturada pela última vez por mais 30 segundos.

Quadro 2 – Quantidade de material das pastas

Formulação	Escória (g)	Gipsita (g)	Fosfogesso (g)	CPV - ARI (g)	CPV - ARI RS (g)	Água (g)
CSS 80:20 G	76	19	-	5	-	45
CSS 90.10 G	85,5	9,5	-	5	-	45
CSS 90.10 F	85,5	-	9,5	5	-	45
CPV – ARI RS	-	-	-	-	100	45

Fonte: Autoria Própria (2019).

Para cada formulação foi preparada a quantidade de material para a moldagem dos corpos de prova prismáticos do NIST Test (10x10x60mm) e os corpos de prova cúbicos para resistência à compressão (30x30x30mm).

VARIAÇÃO DIMENSIONAL E DE MASSA

O método utilizado para realizar as avaliações dos corpos de prova quanto à variação dimensional e também variação de massa foi o NIST Test, segundo os estudos de Aleksic (2010). Nesse método são moldados 7 corpos de prova prismáticos para cada formulação com dimensões de 10mm x 10mm x 60mm. Nas primeiras 48 horas permaneceram na cura em câmara úmida (à temperatura de 23 ± 2°C e umidade relativa entre 95 e 100%) posteriormente foram colocados

submersos em água saturada com cal até os 7 dias de idade. No terceiro dia foi aplicado em cada extremidade do corpo de prova uma resina epóxi com poliamida para estabilizar o pino e evitar a entrada de sulfatos nessa região.

Após esse período, os corpos de prova foram colocados submersos na solução de sulfato, então deu-se início ao procedimento de ataque por sulfatos e consequentemente aos processos de medição de variação dimensional e de massa. As medidas foram feitas diariamente nas primeiras duas semanas e semanalmente até atingir 91 dias. Para cada medição a ser realizada os corpos de prova foram retirados da solução, secos, pesados para verificação da massa e medidos no comparador de comprimento e então colocados submersos em nova solução de sulfato de sódio.

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

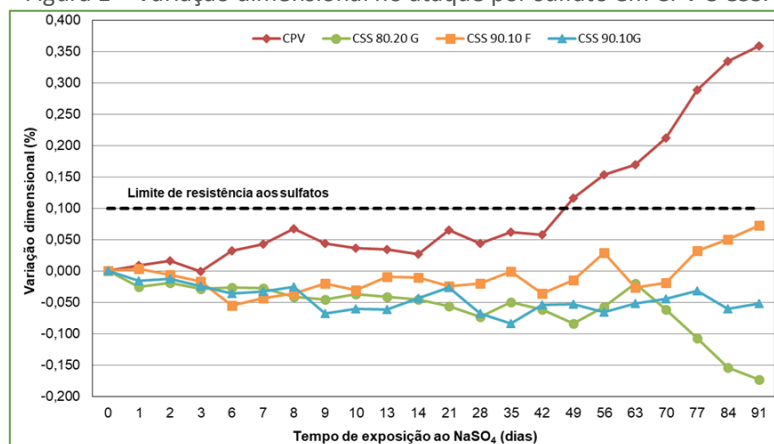
Para a análise da resistência foram moldados corpos de prova cúbicos com dimensões de 30mm, três unidades para cada idade de rompimento (7, 49 e 91 dias), para cada formulação de CSS e CPV-ARI RS e para a submissão ou não ao ataque de sulfato de sódio. O ensaio de resistência à compressão foi realizado no Laboratório de Materiais da UTFPR – Pato Branco com a prensa hidráulica EMIC.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL E VARIAÇÃO DE MASSA

Quanto à variação dimensional sob o ataque de sulfato de sódio, como pode ser visto na figura 1, as pastas de CPV ARI RS se caracterizaram com expansão que ultrapassou o limite de expansão estabelecido pelo NIST Teste (0,1 %) aos 49 dias e chegou aos 0,35% quando com 91 dias. Já as pastas de CSS se caracterizaram com retração na maior parte das idades, o que também afeta as propriedades do cimento e causa fissuração. A pasta CSS 90.10 G apresentou a menor variação até os 91 dias comparada com as outras formulações, onde a pasta CSS 80.20 G apresentou quase 0,2% de retração na maior idade e a pasta de CSS 90.10 F caracterizou-se com retração até os 7 dias e no avançar das idades apresentou expansão chegando próximo do limite, mas sem ultrapassá-lo.

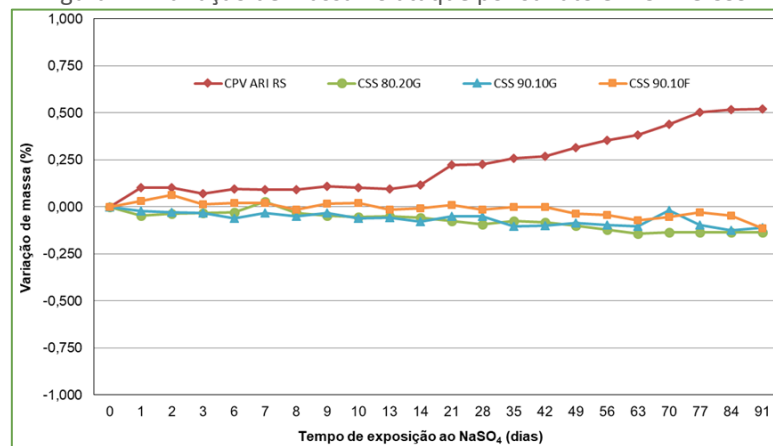
Figura 1 – Variação dimensional no ataque por sulfato em CPV e CSS.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Quanto à variação de massa, na figura 2, pode ser observado que a pasta de CPV ARI RS é a que sofreu com o ganho de massa e teve a maior variação com o valor acima de 0,5%. As pastas de CSS sofreram com a perda de massa e as variações não chegaram nem a 0,15%, apresentando certa estabilidade como também verificado por Pinto (2019). Nenhuma pasta ultrapassou o limite de variação de massa de 1,0% estabelecido pela metodologia do NIST Test.

Figura 2 – Variação de massa no ataque por sulfato em CPV e CSS.



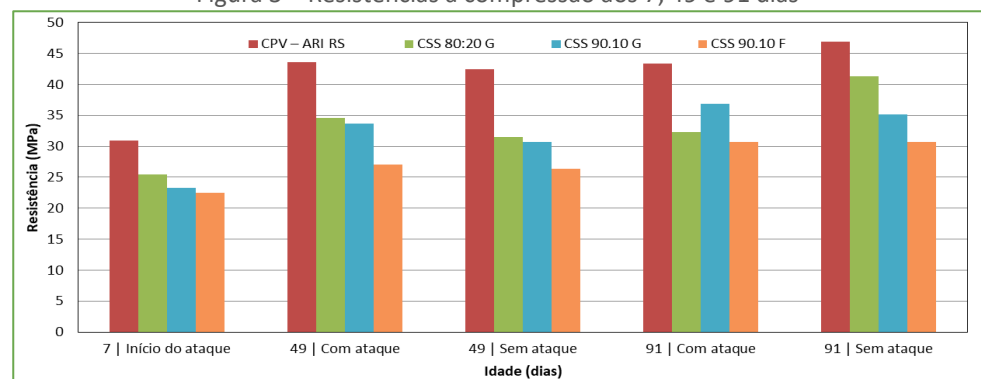
Fonte: Autoria Própria (2019).

Pinto (2019), afirma que o ganho de massa dos corpos de prova da pasta de CPV ARI RS pode estar associado com a absorção da solução e à deposição nos vazios dos produtos gerados nas reações dos íons de sulfato com as fases hidratadas do cimento.

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

As pastas de CSS apresentaram resistência inferiores as do CPV ARI RS, mesmo assim a resistência é adequada para diversas aplicações. As formulações de CSS 90.10, tanto gipsita como fosfogesso, mantiveram o crescimento da resistência até o fim do ensaio. A formulação 80.20G manifestou um decréscimo pouco significativo nos resultados entre 49 e 91 dias sob o ataque de sulfato, com valores menor que 0,8% e foi também a formulação na qual se notou maior influência do ataque por sulfato na resistência, tendo uma variação de 13,35% da resistência aos 91 dias. Os resultados podem ser verificados no quadro 2 a seguir.

Figura 3 – Resistências à compressão aos 7, 49 e 91 dias



Fonte: Autoria Própria (2019).

CONCLUSÃO

As pastas de CSS apresentaram bons resultados quanto ao ataque por sulfato de sódio, com pouca variação dimensional e com estabilidade na variação de massa, não ultrapassaram os limites se caracterizando como resistentes ao sulfato de sódio, obtendo melhores resultados do que as pastas de CPV ARI RS. Elas também adquiriram de tal forma bons resultados quanto a resistência mecânica chegando a alcançar 37 MPa aos 91 dias, apesar de ainda serem inferiores ao CPV ARI RS que obteve valores próximos a 43 MPa aos 91 dias.

REFERÊNCIAS

ALEKSIC, M. Development and Standardization of the NIST Rapid Sulphate Resistance Test. 2010. 192 f. Dissertação (Master of Science in Applied Sciences) - University of Toronto, Toronto, 2010.

GRACIOLI, B. Influência da temperatura de calcinação do fosfogesso no desempenho de cimentos supersulfatado. Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 2016

GRACIOLI, B.; RUBERT, S.; VARELA, M. V. F.; BEUTLER, C. S.; FRARE, A.; ANGULSKI DA LUZ, C. The phosphogypsum as a raw material in supersulfated cements (CSS) made with low calcium sulfate content. In: Proceedings of the 6th Amazon e Pacific Green Materials Congress and Sustainable Construction Materials Lat-RILEM Conference, 2016.

GRACIOLI, B.; VARELA, M. F. V.; BEUTLER, C. S.; FRARE, A.; ANGULSKI DA LUZ, C.; PEREIRA FILHO, J. I. Considerations on the mechanical behavior and hydration process supersulfated cement (CSS) formulated with phosphogypsum. Revista Matéria, v. 22, n. 01, 2017.

NGUYEN, K. S.; NGUYEN NGOC, T. H.; NGUYEN PHUNG, A. T.; CHAI, H. K.; CHIJIWA, N.; IWANAMI, M.; OTSUKI, N. Using super-sulfated cement for concrete durability in marine environment. In: The 7th International Conference of Asian Concrete Federation, 2016.

PINTO, S. R. Durabilidade de compósitos com cimento supersulfatado e de cimentos portland: ataque por sulfatos, carbonatação e penetração de cloreto. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

RUBERT, S. Contribuição ao estudo de cimentos supersulfatados: formulação e mecanismos de hidratação. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.