

Aplicação de cimentos especiais à base de escória em concretos autoadensáveis **(Application of special cements based on slag in self-compacting concretes)**

D.F. Mantelli¹; P.H. Bortolozzo¹; C. Angulski da Luz¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Via do Conhecimento, s/n - KM 01 - Fraron, Pato Branco - PR
mantelli@alunos.utfpr.edu.br

Resumo

Cimentos alternativos ao cimento Portland vêm ganhando destaque, principalmente aqueles livres ou com menor teor de clínquer. Estudos recentes com cimentos supersulfatados (CSS) e cimentos álcali ativados (CAT), ambos compostos majoritariamente por escória de alto forno, vêm crescendo ao longo dos últimos anos. O objetivo deste trabalho é, portanto, contribuir com estudo do comportamento do CSS e CAT em concreto auto adensável, os quais são ainda muito escassos na literatura. Para tanto, foram preparados concretos onde as propriedades de autoadensabilidade foram avaliadas, além do monitoramento da resistência mecânica. Também foram empregados três tipos de aditivos superplastificantes (à base de policarboxilato, lignossulfonato e naftaleno sulfonado). Os resultados mostraram que as amostras à base de CSS apresentaram boas características de autoadensabilidade, baixo calor de hidratação e resistência mecânica próxima a 30 MPa. Já o CAT, após diversas tentativas, não alcançou propriedades de autoadensabilidade. Tal comportamento foi relacionado à dificuldade de mistura entre agregados, aditivo e ativador mostrando-se o CAT ser um cimento mais complexo para uso de concretos auto adensáveis.

Palavras chave: cimento álcali ativado, cimento supersulfatado, concreto auto adensável

Abstract

Cement alternatives to Portland cement have been gaining prominence, especially those free or with lower content of clinker. Recent studies with supersulfated cements (CSS) and activated alkali cements (CAT), both composed mainly of blast furnace slag, have been growing over the past few years. The objective of this work is, therefore, to contribute with a study of the behavior of CSS and CAT in self-compacting concrete, which are still very scarce in the literature. For this purpose, it was prepared concretes where the properties of autocensibility were evaluated, as well as the monitoring of the heat of hydration and mechanical resistance. Three types of superplasticizer additives (polycarboxylate, lignosulfonate and sulfonated naphthalene based) were also used. The results showed that the samples based on CSS had good characteristics of autoadensability, low heat of hydration and mechanical resistance close to 30 MPa. The CAT, after several attempts, did not reach properties of autoadensability. Such behavior was related to the difficulty of mixing between aggregates, additive and activator showing that CAT is a more complex cement for use of self-compacting concrete.

Keywords: alkali-activated cement; supersulfated cement; self compacting concrete;

INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável é visto como uma das grandes novas tecnologias do concreto nas últimas décadas. Surgiu da necessidade de se obter estruturas mais duráveis, com economia e menor tempo de execução, tendo em vista a proporção otimizada dos materiais e a ausência da necessidade do adensamento mecânico do concreto. (GOMES e BARROS, 2009).

Atualmente, o Cimento Portland é o cimento mais utilizado para a produção dos concretos autoadensáveis, o qual é constituído principalmente por clínquer, que é um produto proveniente da extração e calcinação do calcário, que além de emanar CO₂ em sua produção, contribui para uma degradação do meio ambiente.

A pressão para redução dos impactos ambientais vem aumentando e uma das soluções que vem ganhando destaque são os cimentos especiais, que são compostos da reutilização de resíduos industriais, como por exemplo, cimentos à base de escórias de alto forno.

O cimento supersulfatado (CSS) é produzido pela moagem conjunta de escória de alto forno, sulfato de cálcio e clínquer Portland. Possui características como baixo calor de hidratação e resistência a ataques por sulfatos. (NEVILLE, 2016)

Os cimentos álcali ativados (CAT) são aglomerantes produzidos a partir da ativação da matéria-prima por soluções alcalinas, como hidróxidos e silicatos. Matérias-primas ricas em cálcio, como a escória de alto forno, produzem materiais cujo principal composto hidratado é o C-S-H. (LANGARO, 2016)

Como o principal componente desses aglomerantes é a escória de alto forno em substituição parcial ou total ao clínquer presente em Cimentos Portland, seria possível produzir um cimento com menor energia, menor custo, reutilizando os resíduos da indústria siderúrgica, diminuindo assim, a extração de calcário, produzindo um cimento mais sustentável. No entanto, a literatura ainda apresenta poucos estudos utilizando cimentos especiais (CSS e CAT) na obtenção de concretos autoadensáveis. Pode-se destacar o estudo recente de Homrich (2018) e os estudos em pasta de Jang et. al (2014).

Este estudo busca inserir os cimentos especiais à base de escória de alto forno, na obtenção do concreto autoadensável, podendo avaliar e comparar os resultados de resistência à compressão entre os dois cimentos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O cimento supersulfatado utilizado foi obtido de 95% de cimento, que é formado por escória de alto forno denominada A mais fonte de sulfato de cálcio e 5% referente ao CP V-ARI, que foi utilizado como ativador alcalino. O material utilizado como fonte de sulfato de cálcio foi o fosfogesso, que passou por calcinação durante 1 hora em forno mufla, à temperatura de 350°C e taxa de aquecimento de 50C°/min, conforme trabalho de Homrich (2018).

O cimento álcali-ativado foi dosado através de composição, onde utilizou-se 95% de escória denominada B e 5% do ativador alcalino, neste caso foi o hidróxido de sódio em pérolas da marca Enersoda 99, conforme trabalho de Langaro (2016).

A caracterização dos materiais é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos materiais

Óxidos (%)	Escória A	Escória B	Fosfogesso	CP V ARI
SiO ₂	38,1	34,7	1	22,38
Al ₂ O ₃	13,9	8,9	0,3	6,45
CaO	37	47,5	38,5	54,75
MgO	6,2	4,3	0,2	4,66
SO ₃	0,1	1,6	46,8	2,68
Na ₂ O	-	0,1	-	-
K ₂ O	-	0,4	0,1	-
TiO ₂	0,8	0,5	-	-
MnO	1,1	0,9	-	-
Fe ₂ O ₃	1,3	0,6	0,2	3,41
ρ (g/cm ³)	2,76	2,92		
Blaine (cm ² /g)	4307	5087	-	4743

Fonte: Autoria própria (2018)

A composição dos dois cimentos é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição dos cimentos especiais

	Materiais	Teor Efetivo (%)
CSS (Homrich,2018)	Escória Básica	80,75
	Fosfogesso	14,25
	Ativador Alcalino	5
CAT (Langaro, 2016)	Escória Ácida	95
	Ativador Alcalino	5

Fonte: Autoria própria (2018)

Para os dois concretos o agregado miúdo utilizado foi a areia natural e para o agregado graúdo utilizou-se a brita passante na peneira 12.5mm e retida na peneira 4.75mm, de acordo com a NBR NM 248. Também foi utilizado uma adição mineral de filler calcário com massa específica de 2,57 g/cm³ conforme NBR NM 76.

O aditivo utilizado no CSS foi o superplastificante Tec Flow 7030 (policarboxilato), fornecidos pela empresa Grace e, conforme ficha técnica fornecida pelo fabricante, atende à ABNT NBR 11768.

Já no CAT, os aditivos superplastificantes utilizados foram: Tec Flow 8000 (policarboxilato), Daracem 19 (naftaleno sulfonado) e Mira Set 63 (lignossulfonato) também fornecidos pela empresa Grace.

Para a dosagem dos concretos foi utilizado um traço piloto, encontrado através do método de Gomes et al. (2002; 2003). O traço unitário proporcionado em massa dos dois concretos é apresentado na Tabela 3.

Para efeito de comparação, foi ainda fabricado um concreto com a utilização do CAT, sem o incremento do ativador alcalino.

A mistura da dosagem foi realizada em argamassadeira mecânica, onde iniciou-se pelo agregado miúdo e metade da água, misturando por um minuto, após adicionou-se o cimento e o filler e misturou-se por mais um minuto, então acrescentou-se o agregado graúdo e a outra metade da água, misturando também por um minuto. Realizou-se um descanso de dois minutos e então foi adicionado o aditivo superplastificante e misturado tudo por três minutos. O espalhamento foi realizado na mesa de espalhamento flow table.

Foram moldados 3 corpos de prova prismáticos de dimensões 4x4x16cm, da amostra e deixados em câmara úmida com uma temperatura de 23°C por 48 horas para posteriormente obter sua resistência com 7, 28, 56 dias.

Tabela 3 – Traço unitário dos cimentos especiais

Tipo	Cimento	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Água	Aditivo (% da massa de cimento)	Filler Calcário (% da massa de cimento)
CSS	1	2	2	0,4	1,2	10
CAT	1	2	2	0,4	1,2	10

Fonte: Autoria Própria (2018)

Os concretos CAT foram executados de duas maneiras distintas:

a) Método 1: Preparação da solução ativadora com o incremento do superplastificante com 24 horas de antecedência dos ensaios. Na argamassadeira adicionou agregado miúdo com metade da solução ativadora por 1 minuto em velocidade lenta. A escória ácida foi adicionada juntamente com o filler calcário e bateu a mistura por mais 1 minuto em velocidade lenta. Por último, foi adicionado agregado graúdo mais o restante da solução, batendo por 30 segundos iniciais em velocidade lenta e 30 segundos finais em velocidade rápida;

b) Método 2: Preparação da solução ativadora sem o incremento do superplastificante, também com 24 horas de antecedência dos ensaios. Na argamassadeira foi adicionado agregado miúdo mais metade da solução ativadora por 1 minuto em velocidade lenta. Adicionou-se a escória ácida juntamente com o filler e bateu a mistura por mais 1 minuto em velocidade lenta. O próximo passo foi adicionar agregado graúdo mais o restante da solução, bater os 30 segundos iniciais em velocidade lenta e os 30 segundos finais em velocidade rápida. Deixou a amostra descansar por 2 minutos. Após o descanso, com a velocidade rápida, misturou o concreto por mais 3 minutos adicionando o superplastificante.

Para o CAT, além do teor de 1.2% de superplastificante à base de policarboxilato (PC), outros teores de 2% e 4% foram testados, também testou-se a variação da base do aditivo (ND e LM) para os três teores, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Composição de amostras variando o aditivo superplastificante

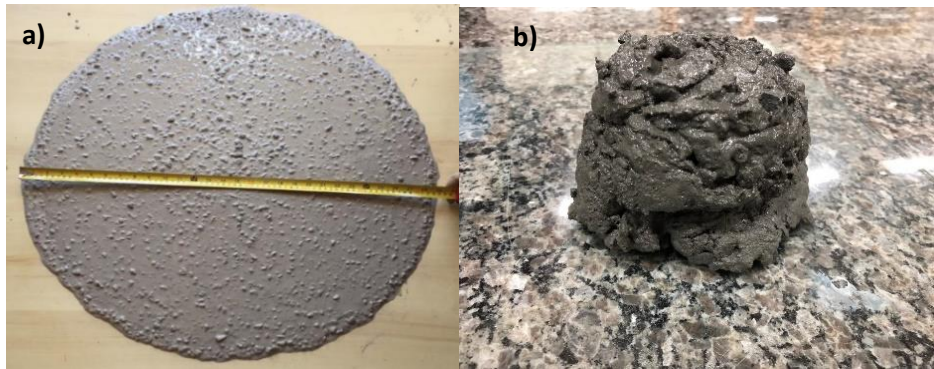
Amostra	Quantidade aditivo (%)	Base aditivo
CAT_1.2PC	1.2	Policarboxilato
CAT_2.0PC	2.0	Policarboxilato
CAT_4.0PC	4.0	Policarboxilato
CAT_1.2ND	1.2	Naftaleno
CAT_2.0ND	2.0	Naftaleno
CAT_4.0ND	4.0	Naftaleno
CAT_1.2LM	1.2	Lignossulfonato
CAT_2.0LM	2.0	Lignossulfonato
CAT_4.0LM	4.0	Lignossulfonato

Fonte: Autoria Própria (2018)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentado a diferença do espalhamento para o concreto com CSS e com CAT, respectivamente. As características de autoadensabilidade só foram apresentadas quando utilizado o CSS. O concreto utilizando CAT não apresentou as características necessárias para caracterizá-lo como autoadensável. Foram realizadas diversas tentativas, utilizando aditivos com bases diferentes e mudando o procedimento de mistura, porém os concretos continuaram a apresentar pouca fluidez. O espalhamento obtido não foi o necessário para que pudesse classificá-los como concreto auto adensável e por isso não foi possível realizar os ensaios de resistência e então compará-lo com o CSS.

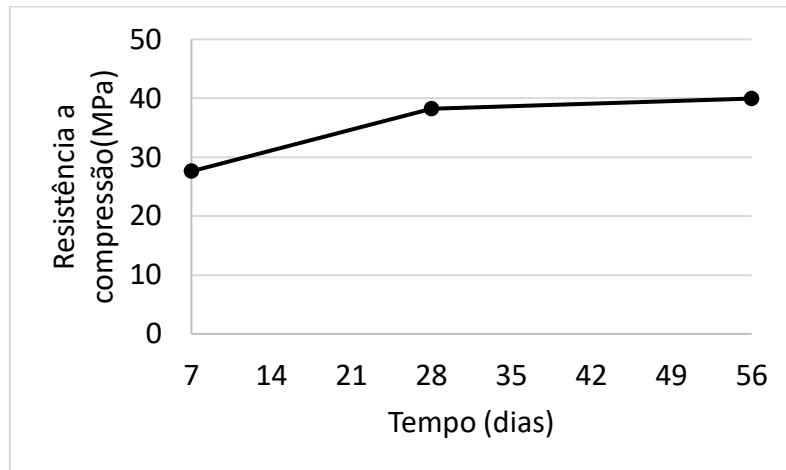
Figura 1 – Espalhamento em concreto produzido com CSS(a) e CAT(b).



Fonte: Autorial Própria (2018)

No entanto, para o concreto produzido com CSS os resultados da resistência à compressão são apresentados na Figura 2 através do gráfico obtido pelas médias dos resultados encontrados em cada idade.

Figura 2- Resistência à compressão do CAA utilizando CSS.



Fonte: Autorial Própria (2018)

Pôde-se observar que aos 7 dias a resistência apresentada foi de aproximadamente 30 MPa, já aos 28 dias o concreto apresentou resistência de aproximadamente 40MPa, isso possibilita a utilização deste material para diversos fins da engenharia, tendo em vista que se enquadra na classe de resistência C30, de acordo com a NBR 8953 - Concreto para fins estruturais (2015), e, portanto, pode ser utilizado em aplicações que estejam enquadradas até a classe de agressividade ambiental III, conforme NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (2014).

As amostras com base de policarboxilato apresentaram os piores resultados. Foi possível observar uma piora na fluidez do concreto em relação ao mesmo concreto sem a utilização de qualquer aditivo.

Já para as amostras realizadas com a aplicação de superplastificante à base de lignossulfonato (Figura 2) e à base de naftaleno sulfonado (Figura 3) houve uma melhora na trabalhabilidade, porém de baixa relevância, onde pode-se perceber um pequeno destaque para a amostra produzida com o aditivo feito com a base de lignossulfonato.

Apesar de apresentar uma melhora na fluidez do concreto em relação ao concreto plástico, e principalmente ao concreto com adição de aditivo à base de policarboxilato, as amostras formadas pela base de lignossulfonato não apresentaram fluidez e espalhamento suficiente, mesmo com altas porcentagens de ativos, para poderem ser encaixadas no uso do CAA.

Figura 2 – CAT_1.2ND



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 3 – CAT_4.0LM



Fonte: Autoria própria (2018)

A amostra sem ativador também não apresentou boa trabalhabilidade, mostrando pouca fluidez, descartando a hipótese de estar havendo uma reação entre o ativador e a escória, ou o ativador e os aditivos.

CONCLUSÕES

Pôde-se verificar que o CSS apresentou bons resultados de autoadensabilidade e resistência na utilização para CAA. Já o CAT, mesmo após algumas tentativas não ficou autoadensável, o que impossibilitou uma comparação entre os concretos utilizando cimentos especiais deste trabalho. Entende-se que o melhor caminho na obtenção de concreto autoadensável utilizando os cimentos especiais é a utilização do cimento supersulfatado, pois este atingiu as características de autoadensabilidade e também se enquadrou na classe de resistência C30 da NBR 8953, sendo classificado na classe de agressividade III da norma e podendo ser aplicável nas situações da engenharia.

Percebe-se que na literatura existem poucos trabalhos que utilizam CAT e há uma necessidade de encontrar uma compatibilidade entre o CAT no CAA, pelos resultados apresentados. No trabalho de Jang. et al (2014) as pastas também apresentaram problemas na fluidez, obtendo seu melhor resultado com o aditivo à base de policarboxilato, o que difere dos resultados obtidos neste trabalho. Ainda, segundo Jang. et al (2014) isso pode estar relacionado com a alcalinidade da solução de ativador que pode afetar a adsorção entre o superplastificante e a escória de alto-forno.

Devido aos problemas apresentado, o CAT ainda necessita de mais estudos para saber qual é a causa de não apresentar a fluidez necessária para ser caracterizado como concreto autoadensável, podendo assim avaliar suas propriedades e compará-las com o CSS.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, à professora Caroline Angulski da Luz que orientou esta pesquisa e aos demais colegas do laboratório de Materiais de Construção da UTFPR – Campus Pato Branco.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1996

___ NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2003.

___ NBR NM 76: **Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de Blaine**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1998.

___ NBR 11768: **Aditivos para concreto de Cimento Portland**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2011.

___ NBR 8953: **Concreto para fins estruturais**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.

___ NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2003.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. D. **Métodos de dosagem de concreto auto adensável**. São Paulo: Pini, 2009.

HOMRICH, J. T. O. **Avaliação do comportamento do cimento supersulfatado em concreto autoadensável**. 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

JANG, J.G.; LEE, N.K.; LEE, H.K. **Fresh and hardened properties of álcali-activated fly ash/slag pastes with superplasticizers**. Construction and Building Materials. v. 50, p. 169-176, 2014.

LANGARO, E. A.. **Cimento álcali ativado a partir da valorização da escória de alto forno a carvão vegetal**. 2016. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.