https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.061

ANÁLISE DA ADIÇÃO DE ALUMINATO DE ESTRÔNCIO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Ítalo Ribeiro Gonçalves Lima[1]*, Yuri Sotero Bomfim Fraga[2]; Suylan Matias da Cruz[3];
E-mail: italo.engvil@gmail.com *; yuri.fraga@ufac.br; matias.civileng@gmail.com

[1] Supermix Concreto, Brasília, Brasil
[2] Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Brasil
[3]Sarmix Concreto, Brasília, Brasil

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico tem proporcionado avanços na construção civil. O desenvolvimento de compósitos cimentícios luminescentes possibilita a sinalização noturna sem consumo energético. Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da adição de diferentes teores de aluminato de estrôncio em microconcretos. Para isso, foram preparados quatro traços de pastas e microconcretos, sendo utilizados os teores de 0%, 25%, 50% e 100% de aluminato de estrôncio em relação à massa de cimento Portland branco. Nas pastas, foi realizado o ensaio de difração de raios-X para analisar os produtos de hidratação. Nos microconcretos foram verificadas a luminosidade e a resistência à compressão. Dentre os teores analisados, foi possível concluir que o teor ótimo é de 50% de aluminado de estrôncio devido ao maior desempenho mecânico e luminosidade.

Palavras-chave: Aluminato de estrôncio; difração de raios-X; microconcretos; pastas de cimento; desempenho mecânico.

ABSTRACT

The technological development has provided advances in civil construction. The development of luminescent cementitious composites enables nighttime signaling without energy consumption. Given the above, this research aimed to evaluate the influence of the addition of different levels of strontium aluminate in microconcrete. For this, four traces of pastes and microconcrete were prepared, using the contents of 0%, 25%, 50% and 100% of strontium aluminate in relation to the white Portland cement mass. In the pastes, the X-ray diffraction test was performed to analyze the hydration products. In the microconcrete, the luminosity and the compressive strength were verified. Among the analyzed contents, it was possible to conclude that the optimal content is 50% strontium aluminate due to the higher mechanical performance and luminosity.

Keywords: Strontium aluminate; X-ray diffraction; microconcrete; cement pastes; mechanical performance.

1. INTRODUÇÃO

A amplificação veloz da construção civil provocou a busca por novas tecnologias, métodos e materiais inovadores. O concreto fosforescente, devido a suas propriedades luminosas, adquiriu um nicho na indústria da construção civil. É vasta a aplicação do concreto/argamassas luminescentes, tais como iluminação de emergência de baixa luminosidade, indicações luminosas e paisagismo decorativo, paver, pavimentações, e concretos com fins estruturais. Para Gonzalez (2018), o concreto fotoluminescente tem como principal característica permitir a absorção de energia solar ou artificial durante o dia e reemiti-la à noite.

Rojas-Hernandez *et al.* (2018) pesquisaram as diferentes características dos materiais luminescentes, bem como técnicas para aumentar a sua intensidade e duração de brilho. Além do mais, Getz *et al.* (2017) também investigaram as variáveis que afetam as propriedades luminosas desses materiais, tais como calor, contato direto com água e interação com outros materiais. É estudada adição do aluminato de estrôncio em concretos e microconcretos com objetivo de armazenar energia externa e converter em radiação eletromagnética, usualmente na região do UV – Visível-Infravermelho. Esses materiais podem ser excitados diversas energias, como eletromagnética (fotoluminescência), de radiação ionizante (radioluminescência), de feixe de elétrons de alta energia.

Em 2013 foi desenvolvida uma calçada capaz de emitir luz no escuro, sem fontes de energia. Isso foi possível, pois o material absorve os raios UV e, à noite, emite luz. Ele pode ser usado em qualquer superfície (estradas, passagens de zebra, bordas de piscinas) e é capaz de resistir à chuva, vento e, se isso não bastasse, também é antiderrapante. O material foi chamado de Starpath e foi desenvolvido pela empresa britânica Pro-Teq. Em função deste feito, a empresa recebeu o Prêmio Global de Excelência Empresarial de 2013. Trata-se de uma grande invenção que economiza grandes quantias no que diz respeito à iluminação e evita inúmeros acidentes rodoviários (QUIENLOINVENTO, 2014). Para obter transparência e brilho, o grande desafio dos pesquisadores de se fazer brilhante a calçada de concreto foi conseguir a transparência, durante o processo de cura, não afetando o produto. Como é bem conhecido, o concreto, ao não permitir que a luz penetre no material, torna-se um dos fatores para superar a soluções fotoluminescentes, criando espaços significativos que exigem maior qualidade para utilização final. As novas tecnologias tornaram possíveis o desenvolvimento e produção do presente brilhante especial, otimizando a entrada ao máximo para obter o efeito fotoluminescente, sem alterar propriedades químicas e mecânicas. O brilho no efeito escuro, ou "brilho noite", perde apenas 10% de sua potência ao longo de um período de mais de dez anos (OCHOA, 2013).

Por definição, um material luminescente é um material que possui a capacidade de absorver energia e reemiti-la na forma de luz visível. Segundo Callister e Rethwisch (2016), a luminescência possui diferentes classificações dependendo do tempo entre os eventos de absorção e a reemissão, sendo considerado fluorescente o material que consegue reemitir luz visível por menos de 1 segundo, e fosforescente para tempos mais longos. O fenômeno da absorção de energia ocorre quando um elétron passa para um estado de energia chamado excitado, ou seja, de maior energia. Quando esse elétron retorna para um estado de menor energia, ocorre a emissão da luz visível.

Dessa forma, este artigo tem como objetivo avaliar o efeito da adição de diferentes percentuais de aluminato de estrôncio no desempenho mecânico de microconcretos, analisar o tempo de luminosidade, bem como, definir a relação de dosagem ideal dentre os percentuais analisados.

2. PROCEDIMIENTO

2.1 Materiais

Para a realização desta pesquisa, foram utilizados cimento Portland branco estrutural CPB-40 – Axton; areia normal brasileira do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT); aluminato de estrôncio dopado com európio e disprósio ($SrAl_2O_3$); e aditivo superplastificante MC-PowerFlow 1180 da MC-Bauchemie.

Na tabela 1 é possível observar as características dos materiais supramencionados, que foram utilizados para produzir as pastas de cimento e microconcretos.

Tabela 1: Propriedades do cimento Portland, da areia normal e do aluminato de estrôncio.

Material	Propriedade			Resultados	
Cimento CPB-40 Branco	Tempo de pega (min)		Início	1h40	
			Fim	2h30	
	Índice de Brancura (%)			90%	
	Área Específica – Blaine (cm²/g)			4594	
	Massa específica (g/cm³)			3,02	
	Resistência à compressão (MPa)			3 dias	27,25
				7 dias	33,37
				28 dias	43,81
Areia Normal	Fração	Abertura (mm)	Grossa	2,4 e 1,2	
			Média grossa	1,2 e 0,6	
			Média fina	0,6 e 0,3	
			Fina	0,3 e 0,15	
Aluminato de estrôncio	Coloração			Amarelo esverdeado	
	Granulometria			25 a 35 µm	
	Composição química (%)		Al_2O_3	44,08	
			CaO	0,854	
			Rb_2O	0,081	
			SrO	50,92	
			Ag_2O	0,179	
			SnO_2	0,017	
			BaO	0,337	
			Eu_2O_3	0,597	
			Dy_203	0,775	
			CO_2	2,1	

Fonte: Autoria própria.

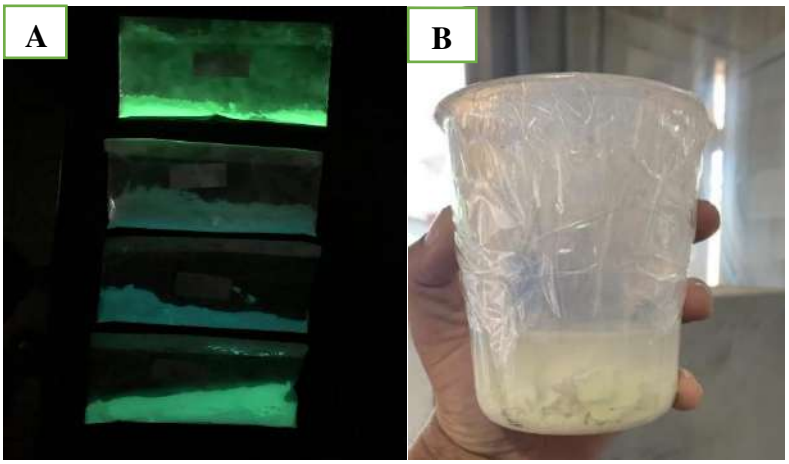
É possível observar que o Al_2O_3 e o SrO são os principais compostos químicos do aluminato de estrôncio com 44,08% e 50,92%, respectivamente. Esses compostos são os responsáveis por promover as propriedades fosforescentes dos compósitos cimentícios.

2.2 Pastas e microconcretos

A preparação das pastas seguiu as recomendações na NBR 16606 (ABNT, 2017), com adaptações. Em função da quantidade aluminato de estrôncio disponível para realização das pastas foi reduzido o quantitativo, contudo, porém foi preservada a relação água/aglomerante. Foram realizadas a confecções de quatro pastas, sendo, uma referência, e respectivamente adicionados, em relação à massa de cimento, os teores de 25%, 50% e 100% de aluminato de estrôncio. Como parâmetro para pesquisas que atuam com substituição ao cimento Portland, os teores supracitados são 20%, 33% e 50%, respectivamente. Para manter a consistência, foi adicionado 0,001% de aditivo superplastificante para pasta referência e com adição de AE25 de aluminato de estrôncio e para as pastas AE50 e AE100 de aluminato de estrôncio, 0,003% em relação a massa de cimento. Depois foi adicionado o cimento Portland branco. Após o contato do cimento com a mistura, foram contabilizados 30 segundos em repouso. Depois foi realizada a mistura com o auxílio do misturador planetário durante 30 segundos na velocidade lenta. O misturador foi desligado por 60 segundos, sendo realizada a raspagem das paredes internas da cuba durante os primeiros 30 segundos. Por fim, o misturador planetário foi ligado na velocidade alta por 60 segundos. Com essas pastas, foram moldados quatro corpos de prova. Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida por 24 horas e depois em cura submersa em água saturada com cal até a idade de ensaio.

Após os 28 dias de cura foi realizada a fragmentação das pastas com auxílio do almofariz de ágata com objetivo de paralisar a hidratação das pastas, utilizando uma das metodologias de (SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016). O processo de paralisação da hidratação das pastas é mostrado na figura 1.

Figura 1: Pastas de cimento moídas (a), processo de paralisação da hidratação (b)



Fonte: Autoria própria.

O procedimento consistiu na imersão dos fragmentos em isopropanol por 6 horas e secagem em estufa à 40±1°C por 24 horas. As amostras foram armazenadas em um recipiente contendo sílica gel para evitar a hidratação e cal sodada para evitar a carbonatação até o dia de realização dos ensaios microestruturais. Esses fragmentos das pastas foram moídos com auxílio do almofariz de ágata e peneirados na peneira de abertura de 0,075mm. Eles foram utilizados, posteriormente, para os ensaios de difração de raios-X (DRX).

Não foram realizadas medições de luminosidade nas pastas de cimentos com adição do aluminato de estrôncio, contudo, as pastas foram expostas a 30 minutos a uma lâmpada fluorescente ultravioleta, conforme figura 1, é possível observar o fenômeno de absorção de energia ocorre

quando um elétron passa para um estado de energia chamado excitado, ou seja, de maior energia. Quando esse elétron retorna para um estado de menor energia, ocorre a emissão da luz visível.
Na tabela 2 é possível verificar a composição química das pastas de cimento, realizadas através do ensaio de fluorescência de raio X (FRX), bem como a presença do aluminato de estrôncio.

Tabela 2: Fluorescência de raios-X das pastas.

Pastas	% Al_2O_3	% CaO	% Fe_2O_3	% K_2O	% Na_2O	% MgO	% SiO_2	% SO_3	% P_2O_5	% Cl	% TiO_2	% NiO	% SrO	% Fluor
REF	2,51	75,6	0,34	0,15	0,11	1,47	16,1	2,78	0,07	0,04	0,19	0,02	0,15	0,53
AE25	12,5	58,5	0,22	0,16	0,08	1,02	11,5	2,29	0,07	0,04	0,1	0	13,4	0
AE50	20,2	47,4	0,19	0,05	0	1,05	7,63	2,11	0,12	0,03	0,08	0,04	20,9	0
AE100	26,2	35,4	0,17	0,08	0	0,79	6,23	1,55	0,13	0,04	0,07	0	29,1	0

Fonte: Autoria própria.

Em função dos dados analisados na tabela 2 destaca-se a presença do aluminato de estrôncio nas pastas AE25, AE50 e AE100 em relação a pasta REF, o que evidencia que o fenômeno de fosforescência se resulta através da presença destes componentes químicos que foram adicionados às pastas.
Para confecção dos microconcretos, foram observados os parâmetros da NBR 7215 (ABNT, 2019). Os corpos de prova foram dimensionados para uma parte de cimento e três partes de areia normalizada, com relação água/cimento de 0,48. Para realização do teste comparativo foram dosados quatro traços de microconcretos variando a quantidade de aluminato de estrôncio em relação à massa de cimento, sendo um microconcreto referência, somente com utilização do cimento Portland – Branco e para os demais traços foram adicionados em AE25, AE50 e AE100 do aluminato de estrôncio, conforme tabela 3.

Tabela 3: Traços de microconcretos

Microconcreto		Areia normal (g)				Água (g)	Aluminato de estrôncio (g)
Dosagem	CP-Branco (g)	Fina	Média fina	Média grossa	Grossa		
REF	624	468	468	468	468	300	-
AE25	624	468	468	468	468	300	156
AE50	624	468	468	468	468	300	312
AE100	624	468	468	468	468	300	624

Fonte: Autoria própria.

Para análise de luminosidade e da resistência à compressão dos microconcretos, foram moldados corpos de prova conforme parâmetros da NBR 7215 (ABNT, 2019). Para tal fim, a mistura dos materiais foi realizada em um misturador planetário com capacidade de 5 litros por 1 min na velocidade baixa (140 rpm) e depois 30 segundos na velocidade alta (285 rpm), após este procedimento a mistura ficou em repouso durante 1 minuto e logo em seguida misturada novamente em velocidade alta por mais 1 minuto. Os corpos de prova foram moldados com 4 camadas, sendo

distribuídos 30 golpes em cada. Para cada dosagem foram moldados 7 corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro x 100 mm de altura. Os corpos de prova foram armazenados em cura submersa em água saturada de cal até a idade de avaliação do desempenho mecânico aos 3, 7 e 28 dias de hidratação.

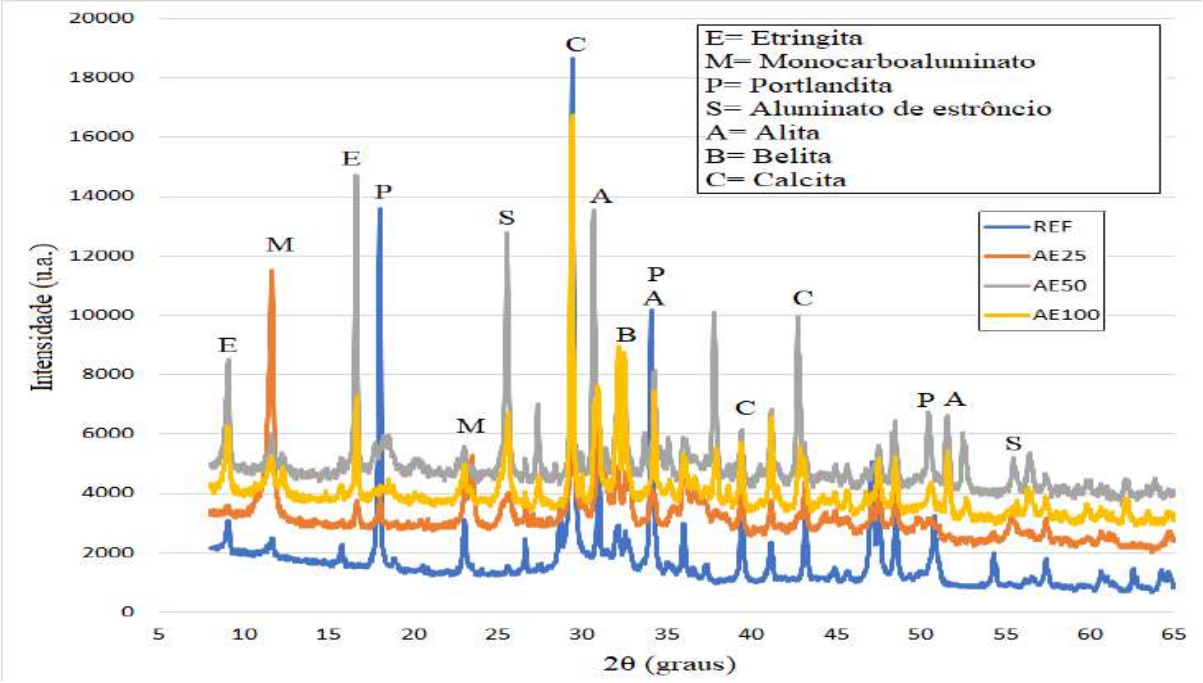
A partir dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial, foi realizada uma análise estatística com o *software* STATÍSTICA v10, no qual cada traço foi testado a um nível de significância ($\boldsymbol{\alpha}$) de 0,05 por idade pesquisada. Foi realizada uma análise de variância *one-way* ANOVA dos dados desse ensaio, com o intuito de identificar se as resistências dos traços diferiram de maneira significativa. Essa influência é indicada por meio da probabilidade significativa (p-valor), na qual para que os resultados sejam significativos o p-valor não deve ser maior que o nível de significância ($\boldsymbol{\alpha}$). Quando o p-valor resulta em um valor igual ou superior a 0,05, o resultado é considerado não significativo, ou seja, as resistências são estatisticamente iguais. Em seguida, com o auxílio do mesmo *software*, foi realizado o teste de Duncan, no qual os dados gerados foram submetidos à uma comparação múltipla entre si, separando-os por classes homogêneas de resistências, levando em consideração a média e o desvio padrão das duas resistências para cada ensaio, com intervalo de confiança de 95%.

3. RESULTADOS

3.1 Análise de difração de raio X (DRX)

Através da Figura 2 é possível observar os resultados de difração de raios-X das pastas de cimento aos 28 dias de hidratação.

Figura 2: Difratograma de raios-X das pastas de cimento aos 28 dias de hidratação.



Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados analisados na Figura 2, é possível observar que em todas as pastas foram observadas as seguintes fases: etringita, monocarboaluminato, portlandita (hidróxido de cálcio), alita (silicato tricálcico), belita (silicato dicálcico) e calcita; que são produtos de hidratação do cimento Portland.
Além disso, destaca-se uma diferença das pastas com aluminato de estrôncio para a pasta REF é a presença da fase aluminato de estrôncio, cuja composição química é majoritariamente Al_2O_3 (44,08%) e SrO (50,92%), conforme identificado na Tabela 1. Essa fase apareceu nos traços AE25, AE50 e AE100, constatada nos ângulos 2θ iguais a 25,5° e 56,5°. Além disso, quanto maior o teor de aluminato de estrôncio, menor foi a intensidade dos picos característicos do hidróxido de cálcio nas pastas (2θ igual a 18° e 34°), indicando uma reação química entre o aluminato de estrôncio e o hidróxido de cálcio e, consequentemente, o consumo do hidróxido de cálcio para formação de novas fases como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

3.2 Análise de luminosidade

Para realização da análise de luminosidade dos corpos de prova de microconcreto, foi utilizada uma lâmpada fluorescente ultravioleta, onde os corpos de prova foram expostos a uma dose de excitação de 8h. Após o tempo transcorrido foram observados o tempo de remissão de luz visível. Após a excitação foi observado que nos primeiros 30 minutos, não houve diminuição da intensidade de luminosidade que os corpos de prova reemitiam. Após os 30 minutos a dosagem de AE25 apresentou decaimento mais abrupto dentre os materiais, cessando a reemissão de luminosidade visível logo após uma hora e trinta minutos. Para as dosagens de AE50 e AE100 foi observado que somente depois de três horas de reemissão de luminosidade o material começou apresentar vagaroso decaimento cessando sua luminosidade quatro horas e trinta minutos após a retirada da fonte de excitação, conforme Figura 3.

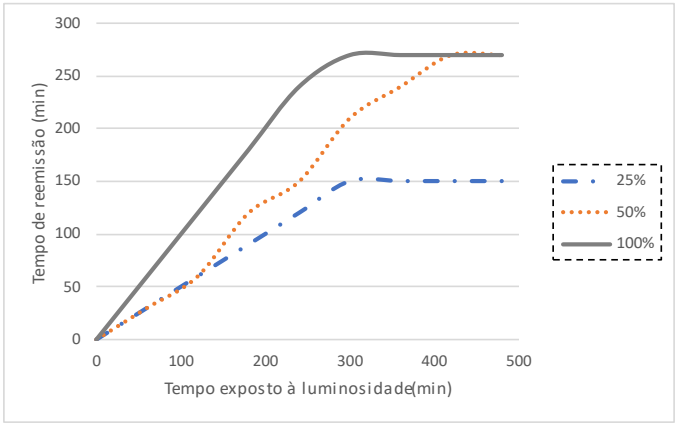
Tabela 4: Tempo de exposição lâmpada fluorescente ultravioleta

Dosagem	Tempo de exposição	Tempo de reemissão de luz
AE25	8h	1h30
AE 50	8h	4h30
AE 100	8h	4h30

Fonte: Autoria própria.

De acordo com Lisensky, Patel e Reich (1996), os materiais luminescentes podem apresentar diferentes comportamentos de decaimento luminoso. Conforme a tabela 4 distinguisse a reemissão de luminosidade entre adição de menores teores de aluminato de estrôncio e maiores adições.
Conforme gráfico apresentado na figura 3 é possível observar o tempo de reemissão e decaimento de cada material.

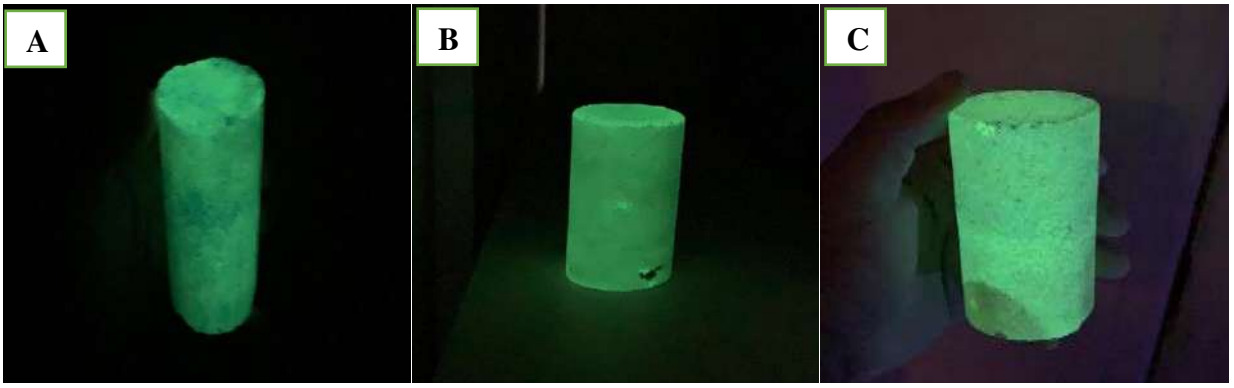
Figura 3: Gráfico de tempo de reemissão de luminosidade



Fonte: Autoria própria.

Os materiais apresentaram diferentes comportamentos de luminosidade, em concordância com gráfico apresentado na figura 3. Destaca-se que ao cessar a fonte de excitação, nos 30 minutos iniciais os microconcretos apresentaram pico máximo de luminosidade visível conforme figura 4.

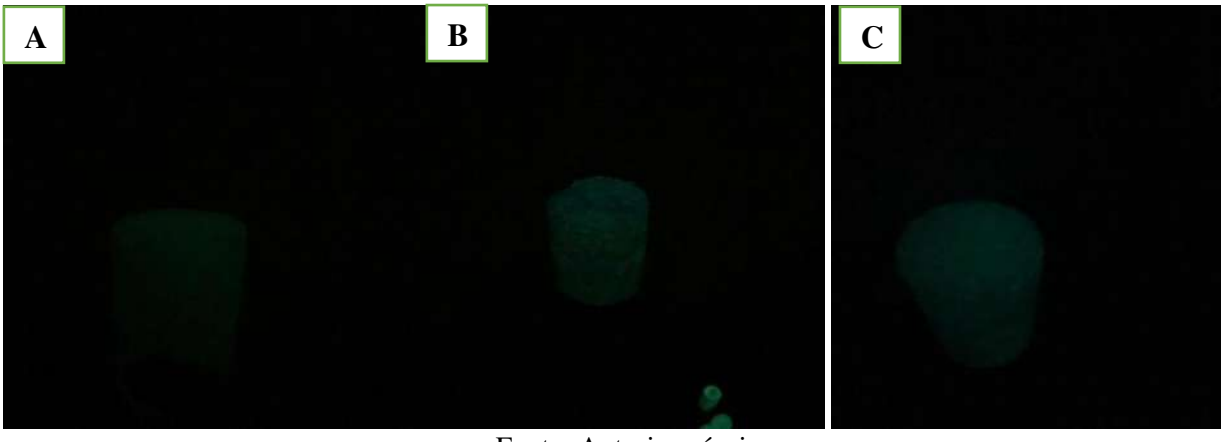
Figura 4: Microconcretos (a) AE25, (b) AE50 e (c) AE100 pico máximo de reemissão de luminosidade



Fonte: Autoria própria.

É possível observar conforme figura 4 que os microconcretos não apresentaram diferença de intensidade luminosidade visível em até 30 minutos. Na figura 5 é possível observar o decaimento de luminosidade.

Figura 5: Microconcretos (a) AE25, (b) AE50 e (c) AE100 decaimento de reemissão de luminosidade



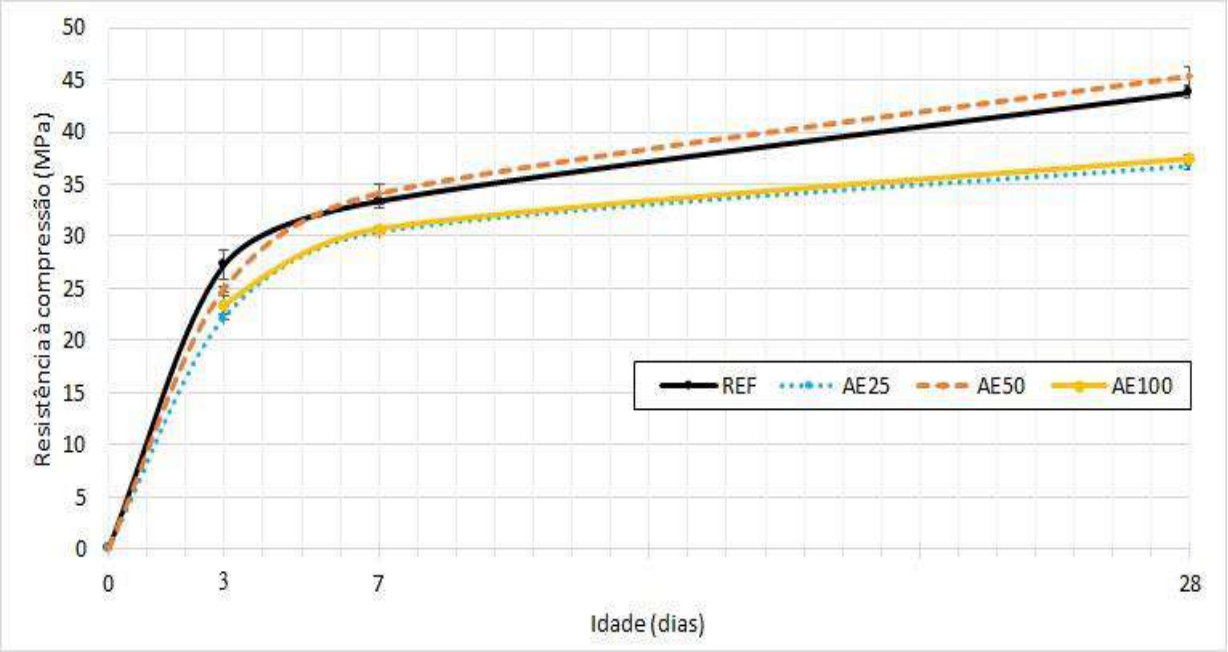
Fonte: Autoria própria.

Após 30 minutos de reemissão de luz os microconcretos apresentaram diferentes intensidade de brilho e tempo de reemissão, AE25 apresentou abrupto decaimento em relação a AE50 e AE100, apresentando tempo de reemissão de 1h30min,
Dentre todos as proporções testadas, o aluminato de estrôncio de AE50 e AE100 apresentaram o mesmo desempenho nos aspectos de tempo de luminosidade, portanto, a quantidade necessária de (Al_2O_3) 20,20% e (SrO) 20,93% presente na pasta de cimento e observado pelo ensaio de fluorescência de raios-X (FRX)se enquadra como a dosagem com melhor performance.

3.3 Resistência à compressão axial

Na Figura 6 é mostrada resistência ao longo do tempo dos microconcretos avaliados.

Figura 6: Resistência à compressão axial dos microconcretos aos 3, 7 e 28 dias de hidratação



Fonte: Autoria própria.

É possível observar, na Figura 6, que o desempenho mecânico dos traços AE25 e AE100 foram semelhantes entre si em todas as idades avaliadas. De mesmo modo, os traços REF e AE50 foram semelhantes entre si em todas as idades avaliadas, porém resultaram em maiores valores de resistência que os traços AE25 e AE100. Na Tabela 5 são mostrados os resultados da análise de variância da resistência à compressão axial dos microconcretos aos 3, 7 e 28 dias de hidratação.

Tabela 5: Análise de variância (one-way ANOVA) da resistência à compressão axial dos microconcretos aos 3, 7 e 28 dias de hidratação

Idade	SQ	MQ	F	p-valor	Resultado
3 dias	43	13,3	21,7	0,0003	Significativo
7 dias	30,4	10,1	25,2	0,0002	Significativo
28 dias	170,3	56,8	176,8	0,0000	Significativo

Sendo:

SQ = soma dos quadrados;

MQ = média dos quadrados;

F = parâmetro de Fisher para o teste de significância; e

p-valor = probabilidade de significância.

Fonte: Autoria própria.

Como pode-se observar na Tabela 5, o p-valor para todas as idades foi inferior ao nível de significância (0,05). Dessa forma, é possível afirmar que houve influência do teor de aluminato de estrôncio no desempenho mecânico para cada uma das idades avaliadas. De forma a verificar quais resultados foram iguais ou diferiram o comportamento entre si, pode-se observar os resultados do teste de Duncan. Dessa forma, na Tabela 6 são apresentados os resultados desse teste para cada uma das idades avaliadas de forma separada, agrupando os resultados de resistência em grupos homogêneos e heterogêneos.

Tabela 6: Resultados do teste de Duncan para resistência à compressão dos microconcretos aos 3, 7 e 28 dias de hidratação

Idade	Microconcreto	Resistência média à compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
3 dias	REF	27,3	1,3			X
	AE25	22,2	0,2	X		
	AE50	24,9	0,3		X	
	AE100	23,3	0,9	X		
7 dias	REF	33,4	0,7		X	
	AE25	30,5	0,2	X		
	AE50	34,1	1,0		X	
	AE100	30,7	0,3	X		
28 dias	REF	43,8	0,5		X	
	AE25	36,8	0,4	X		
	AE50	45,3	0,8			X
	AE100	37,4	0,3	X		

Observação: os grupos são independentes entre as idades. Dessa forma, os grupos de uma idade não estão relacionados com os grupos das demais idades.

Fonte: Autoria própria.

Através da Tabela 6, é possível observar que aos 3 dias de hidratação foram formados 3 grupos de resistência, sendo o grupo 1 de menor resistência e o grupo 3 de maior resistência. Nessa idade, houve um efeito significativo da redução do desempenho mecânico com a adição do aluminato de estrôncio em todos os teores avaliados, tendo em vista que apenas o microconcreto REF foi classificado no grupo 3 e os demais microconcretos foram classificados no grupo 1 ou no grupo 2. Observa-se também que os teores de 25% e 100% de aluminato de estrôncio resultaram em um desempenho mecânico do microconcreto em comparação com o teor de adição de 50%.

Aos 7 dias de hidratação, foram formados apenas 2 grupos de resistência. Nesta idade, o microconcreto REF e o microconcreto AE50 foram classificados no grupo 2, de maior resistência, e os microconcretos AE25 e AE100 foram classificados no grupo 1, de menor resistência. Dessa forma, observa-se que o aluminato de estrôncio no teor de 50% não resultou em diferença significativa no desempenho mecânico do microconcreto em comparação com o traço REF. Por outro lado, os teores de 25% e 100% resultaram na diminuição significativa do desempenho mecânico.

Aos 28 dias de hidratação, principal idade de avaliação do concreto, foi possível observar que foram formados 3 grupos de resistência, sendo o grupo 1 de menor resistência e o grupo 3 de maior resistência. Nessa idade, destaca-se que o teor de 50% de aluminato de estrôncio contribuiu para o aumento significativo do desempenho mecânico do microconcreto 50AE (classificado no grupo 3) em relação ao microconcreto REF (classificado no grupo 2). De forma semelhante aos 3 e 7 dias, os microconcretos 25AE e 100AE resultaram em desempenho mecânico inferior ao microconcreto REF.

Dessa forma, é possível inferir que o aluminato de estrôncio influencia diretamente no desempenho mecânico de compostos cimentícios. Quando utilizados em teores muito baixos como 25%, por exemplo, esse material reduz o desempenho mecânico do microconcreto. De mesmo modo, quando utilizado um teor muito alto, como 100% de aluminato de estrôncio, o desempenho mecânico diminui. Por outro lado, com teores intermediários como 50%, por exemplo, é observado um efeito benéfico para o aumento do desempenho mecânico do microconcreto. Com 3 dias de hidratação, provavelmente esse material não reagiu, com os produtos de hidratação do cimento, resultando em um desempenho mecânico inferior; aos 7 dias já é possível observar um efeito do aluminato de estrôncio em alguma reação química do compósito cimentício, igualando o desempenho mecânico de um traço sem a adição do material; e aos 28 dias esse efeito é potencializado, contribuindo para o aumento do desempenho mecânico quando comparado com o traço referência devido às reações químicas que ele possibilita.

4. CONCLUSÃO

Em função do ensaio de fluorescência de raios-X (FRX), foi possível identificar a composição química das pastas, evidenciando que o $SrAl_2O_3$ e SrO são os elementos que produziram a propriedade de fosforescia nas pastas e microconcretos. Também é possível afirmar, a partir dos estudos de luminosidade que foram realizados nesta pesquisa, que o teor de 50% (AE50) de aluminato de estrôncio obteve o melhor desempenho de luminosidade em relação às demais dosagens, uma vez que, a dosagem de AE25 obteve desempenho de 1h30min de reemissão de luminosidade, e para as dosagens de AE50 e AE100 a reemissão de luminosidade foi de 4h30min, ou seja, foram iguais. Desta forma, não houve influência entre utilizar 50% ou 100% de aluminato de estrôncio, sendo mais econômica a utilização de 50%.

Ao analisar os difratogramas de raios-X (DRX), foi constatado que aos 28 dias de hidratação das pastas, quanto maior foi o teor de aluminato de estrôncio, menor foi o teor de hidróxido de cálcio. Além disso, foi observada a presença da fase aluminato de estrôncio nas pastas AE25, AE50 e

AE100. Isso indica que ocorre uma reação química do aluminado de estrôncio com o hidróxido de cálcio.

Em relação ao desempenho mecânico dos microconcretos estudos nesta pesquisa, observou-se que tanto a utilização de pequenos teores de aluminato de estrôncio (25% em relação à massa de cimento) como a utilização de grandes teores (100% em relação à massa de cimento) contribui para redução da resistência à compressão. Por outro lado, a utilização de teores intermediários (50% em relação à massa de cimento) contribui para o aumento do desempenho mecânico aos 28 dias de hidratação.

Dessa forma, é possível inferir que a utilização de diferentes teores de aluminato de estrôncio resulta em diferentes propriedades nos compósitos cimentícios e que dentre os teores de aluminato de estrôncio pesquisados o de 50% de adição em relação à massa do cimento é o recomendado para aplicação devido às propriedades avaliadas.

5. AGRADECIMIENTOS

Os autores agradecem às empresas Supermix Concreto S/A e Votorantim Cimentos S/A pelo fornecimento do laboratório para realização de ensaios de caracterização das pastas e microconcretos deste estudo.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e teto – Determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e teto – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e teto – Preparo da mistura para realização de ensaios.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland: requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM. 12989: Cimento Portland branco**. Rio de Janeiro, 1993.

BRASCHEMICAL. **“Aluminato de Estrôncio dopado com Európio”** Literatura Técnica. São Paulo, 2019.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **“Ciência e engenharia dos materiais”.** LTC, 9° ed., 2016.

GONZALEZ, J.A.M.; J.L.M. **“Influência de pedras fotoluminescentes em iluminação e propriedades mecânica do concreto”**. Trujillo, Peru, 2018.

KIRCHHEIM, A. P. **“Concreto de cimento Portland branco estrutural: avaliação de carbonatação e absorção capilar. Dissertação”** (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

LISENSKY, GEORGE C.; PATEL, MANISH N.; REICH, MEGAN L. “**Experiments with glowin-the-dark toys: kinetics of doped zns phosphorescence”** Journal of Chemical

MOREIRA, D. **Cimento que emite luz**. FNE Federação nacional dos engenheiros. Disponível em**:<https://www.fne.org.br/index.php/comunicacao/jornal-fne/jornal-edicao-191/4761-cimento-que-emite-luz>** Acesso em: 29 maio. 2022.

PIOVESAN, A.Z. **“Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco”** Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia civil. Programa de pós-graduação do Rio grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

SCRIVENER, K.; SNELLINGS, R.; LOTHENBACH, B. “**A practical guide to microstructural analysis of cementitious materiais”**. CRC PRESS, 2016.

SMITH, W. F., HASHEMI, J. **“Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais”**. AMGH, 5ª ed, 2012.