

ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA MICRONIZADA: DESEMPENHO DE ARGAMASSAS FRENTE AO ATAQUE ÍONS CLORETO¹

Antônio Eduardo Polissen²

Resumo

A pesquisa teve como objetivo, avaliar o desempenho de argamassas produzidas com misturas de cimento Portland (CP V ARI RS) e escória de aciaria elétrica micronizada, frente ao ataque íons cloreto. A relevância do estudo está fundamentada na necessidade de se avaliar a durabilidade de argamassas / concretos que ao serem expostos a este tipo de agressividade, podem sofrer alto risco de degradação. Inicialmente foi coletada em uma siderúrgica, amostras de escórias de aciaria elétrica, a qual foi submetida ao processo de moagem por micronização. Foram realizadas dosagens de argamassas constituídas de CP V ARI RS e escória de aciaria elétrica micronizada nos traços 1 : 1,5, 1 : 3 e 1 : 4,5. Nesses respectivos traços, o CP V ARI RS foi substituído pela escória de aciaria elétrica micronizada nos percentuais de 0%, 10% e 34%. Seqüencialmente, foram moldados corpos-de-prova e avaliados pelo método de penetração de íons cloreto da ASTM. Para a análise dos resultados, foi utilizado a Anova. A Anova mostrou que, ao substituir CP V ARI RS por escória de aciaria elétrica micronizada, existe uma influência significativa do teor de adição de escória e do traço sobre os resultados da penetração íons cloreto em corpos-de-prova de argamassa.

Palavras-chave: Escória de aciaria micronizada; Ataque íons cloreto; Argamassas.

MICRONIZED ELECTRICAL STEEL MAKING SLAG: PERFORMANCE OF MORTAR AGAINST ATTACK OF CHLORIDE IONS

Abstract

The research was to evaluate the performance of mortar produced with Portland cement mixtures (CP V ARI RS) and micronized electrical steel making slag against the attack of chloride ions. The relevance of the study is based on the need to evaluate the durability of concrete / mortar when they are exposed to this kind of aggression, can suffer a high risk of degradation. Initially it was collected in a steelmaking, samples of electrical steel making slag, which has undergone to the process of milling by micronization. Mortars were performed test of incorporated CP V ARI RS and micronized electrical steel making slag in percentual 1: 1.5, 1: 3 and 1: 4,5. In their mixes, CP V ARI RS was replaced by micronized electric steel making slag in percentage of 0%, 10% and 34%. Sequentially, were molded specimens and evaluated by the method of ASTM. For the analysis of the results, ANOVA was used. Anova showed that, when replacing CP V ARI RS by micronized electric steel making slag, there is a significant influence of the percentage and mixes interaction on the results of chloride-ion penetration in specimens of mortar.

Keywords: Micronized steel making slag; Chloride ions attack; Mortars.

¹ *Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *Doutor. Departamento de Construção Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil*

1 INTRODUÇÃO

Atualmente é crescente o estudo de durabilidade das estruturas de concreto, tendo como principal objetivo garantir a sua vida útil. A degradação precoce de estruturas de concreto acarreta, na maioria das vezes, altos custos com manutenção.

Em função das condições de exposição da estrutura e do microclima onde a mesma está edificada (centros urbanos, áreas industriais, regiões litorâneas, dentre outros), esta fica sujeita a diferentes tipos de agressividades. Assim sendo, os agentes deletérios, tais como cloretos, sulfatos, CO₂, ciclos de gelo e degelo, chuva ácida, dentre outros, atuando sobre o concreto, conseqüentemente, podem ocasionar a degradação da estrutura.

Desta forma, não basta avaliar o desempenho de uma estrutura de concreto somente pela ótica de suas propriedades mecânicas, tais como a resistência característica à compressão ou tração na flexão, sendo de vital importância também avaliá-la sob o prisma da durabilidade (condição de exposição, relação “água/aglomerante”, cobrimento de armadura, dentre outros).

Para Mehta e Monteiro,⁽¹⁾ o grau de porosidade de uma estrutura de concreto é a principal porta de entrada para os agentes deletérios. A utilização de concretos com menor permeabilidade à água e ao ar aumenta a sua durabilidade. Uma baixa permeabilidade dificulta a mobilidade da água, íons e gases, que porventura possam conter agentes deletérios que seriam conduzidos para o interior do concreto, conseqüentemente, gerando a sua degradação.

A porosidade de um concreto é influenciada, principalmente, pelos seguintes parâmetros: relação “água/cimento”, composição química e finura do cimento, grau de hidratação e pelo tipo e teor de adição mineral utilizada.⁽²⁾

No processo de micronização, a redução das dimensões das partículas da escória é obtida através de sucessivos choques entre elas, dentro do moinho. Para isto, é utilizado ar comprimido filtrado em alta pressão, que transfere energia para a colisão das partículas, propiciando a obtenção de produtos com granulometria muito reduzida e uniformidade na forma e no tamanho dos grãos. A velocidade das partículas no interior do moinho chega a atingir 500 m/s. Neste sistema de moagem, o diâmetro médio obtido para os grãos é inferior a 10 µm

Para avaliar a durabilidade de argamassas produzidas com escória de aciaria elétrica micronizada EA1 e CPV ARI RS, foram escolhida a propriedade de penetração de íons cloreto: normalizado pela ASTM C 1202.⁽³⁾

2 ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO (ASTM C 1202 / 1997): MATERIAIS E MÉTODOS

Para investigar o comportamento das argamassas confeccionadas com CPV ARI RS e com escória de aciaria elétrica micronizada EA1, frente à difusibilidade dos íons cloreto, adotou-se o método ASTM C – 1202/1997 - “*Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration*”, sendo as medidas feitas após cura de 28 dias.

O método da ASTM C 1202⁽³⁾ consiste em submeter uma amostra de concreto/argamassa com 5 cm de altura e 10 cm de diâmetro (extraída no terço médio de um corpo-de-prova cilíndrico de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura) à passagem de corrente elétrica, por um período de 6 horas, sob uma diferença de potencial de 6 0V. O corpo-de-prova tem uma das faces imersas em solução de hidróxido de sódio e a outra em solução de cloreto de sódio. A carga total passante

(C) é relacionada com a resistência do concreto à penetração de íons cloretos. Os resultados obtidos são semi-quantitativos, tendo em vista a amplitude das faixas classificatórias apresentadas na ASTM.

A tabela 1 apresenta os critérios de classificação mencionados pela ASTM.

Tabela 1. Critério de classificação para difusibilidade de cloretos⁽³⁾

Carga Passante (Coulombs)	Penetração dos íons cloreto
> 4000	Elevada
2000 – 4000	moderada
1000 – 2000	baixa
100 - 1000	muito baixa
< 100	despresível

Os ensaios de migração de íons cloretos foram realizados no laboratório da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em São Paulo – SP.

2.1 Preparação dos Corpos de Prova

Quando da preparação dos corpos de prova de argamassa utilizou-se como agregado miúdo, areia normal para ensaio de cimento Portland⁽⁴⁾ em proporções iguais nas quatro frações:

- fração grossa: 2,4 mm < material retido < 1,2 mm;
- fração média grossa: 1,2 mm < material retido < 0,6 mm;
- fração média fina: 0,6 mm < material retido < 0,3 mm; e
- fração fina: 0,3 mm < material retido < 0,15 mm.

Para a realização dos ensaios foi coletada amostra de escória de aciaria elétrica de uma siderúrgica da cidade de Juiz de Fora – MG, de acordo com o que preconiza a NBR 10007,⁽⁵⁾ que sofreu processo de moagem por micronização (EA1). A seguir, foram elaborados 9 traços de argamassa utilizando-se CPV ARI RS e escória de aciaria elétrica micronizada EA1, areia normal e água destilada. Os materiais foram dosados em massa e misturados conforme a NBR 7215.⁽⁶⁾

A Tabela 2 mostra a composição química, propriedades físicas e mecânicas do cimento CPV ARI RS e da escória de aciaria elétrica micronizada EA1 utilizados na pesquisa.

Tabela 2. Composição química, propriedades físicas e mecânicas do cimento CPV ARI RS utilizado na pesquisa

Composição Química	CP V ARI RS	Escória de Aciaria Elétrica Micronizada (EA1)		
CaO (%)	56,41	34,17		
FeO (%)	2,32	26,47		
SiO ₂ (%)	21,40	22,13		
MgO (%)	3,48	4,64		
Al ₂ O ₃ (%)	6,45	3,87		
SO ₃ (%)	4,19	-		
K ₂ O (%)	0,69	-		
Na ₂ O (%)	0,56	-		
CaO Livre (%)	1,87	0,37		
RI (%)	1,20	1,62		
Perda ao Fogo (%)	3,58	0,01		
Massa Específica (g/cm ³)	3,02	3,39		
Tempo de Pega (h:min)	Início	2 : 22		
	Fim	3 : 10		
Finura Peneira 200 (%)	0,60	0,20		
Área Específica (cm ² /g)	4360	5740		
Resistência Mecânica	Dias	1	18,90	-
		7	44,09	-
		28	57,39	-
Adição de Escória	20%	-		

A Figura 1 representa a distribuição granulométrica da escória de aciaria elétrica micronizada EA1 (\varnothing médio = 3,17 μ m).

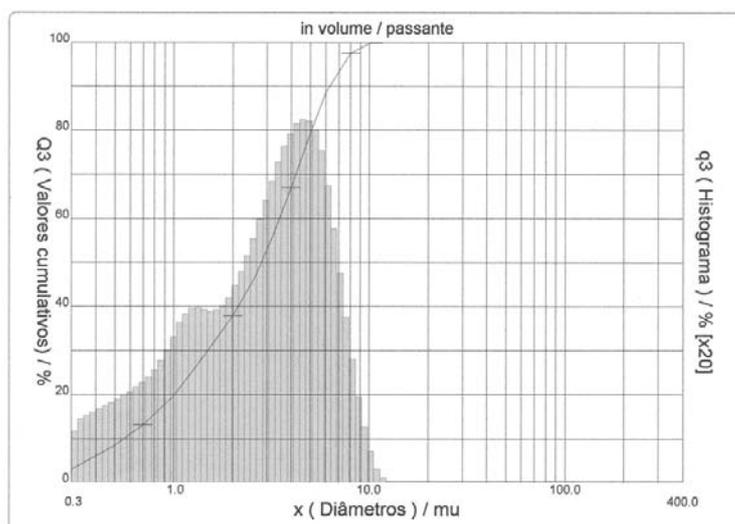


Figura 1. Distribuição granulométrica a laser dos grãos da escória micronizada EA1.

A Tabela 3 apresenta a proporção cimento: areia e relação água/aglomerante especificada e a quantidade de material por m³ calculada com base nas massas específicas dos materiais, considerando-se ainda um teor de ar aprisionado de 1%.

Tabela 3. Dosagem das argamassas constituídas de CPV ARI RS e escória de aciaria elétrica micronizada EA1

TRAÇO	TEOR EA1 (%)	RELAÇÃO Água / AGL	Traço (kg / m ³)		
			Aglomerante	Areia	Água
1 : 1,5	A0 (100)	0,31	816,4	1224,7	253,1
	EA1 (90/10)	0,30	828,4	1242,7	248,5
	EA1 (66/34)	0,29	846,9	1270,3	245,6
1 : 3,0	A0 (100)	0,53	494,3	1482,8	262,0
	EA1 (90/10)	0,52	498,7	1496,0	259,3
	EA1 (66/34)	0,50	507,9	1523,6	253,9
1 : 4,5	A0 (100)	0,79	349,4	1572,4	276,0
	EA1 (90/10)	0,77	352,9	1587,8	271,7
	EA1 (66/34)	0,76	356,2	1602,7	270,7

Para cada traço de argamassa foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos (10x20) cm, adensados em duas camadas de 12 golpes cada uma e 30 segundos em mesa vibratória. A cura seguiu as recomendações de procedimento especificadas na norma NBR 5738.⁽⁷⁾ Após 28 dias de cura os corpos-de-prova foram cortados, obtendo-se uma fatia de 5 cm de altura do terço médio. Após serem cortados os corpos-de-prova foram secos ao ar e a superfície lateral foi selada com silicone. Após a secagem do silicone os corpos-de-prova foram colocados em um dessecador e aplicado vácuo durante 3 horas.

Após este tempo, o dessecador foi preenchido com água destilada até cobrir os corpos-de-prova e aplicado vácuo durante mais uma hora. Após o período de 1 hora, a bomba de vácuo foi desligada deixando-se entrar o ar, e mantendo os corpos-de-prova imersos por um período de 18h (Figura 2).



Figura 2. Ensaio de migração íons cloreto: a) selagem da superfície lateral do corpo-de-prova com silicone e b) saturação com água destilada dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram então retirados e transferidos para um recipiente, mantendo a umidade relativa controlada acima de 95%. Em seguida foram fixados nas células com selante neutro de alta viscosidade (Figura 3).

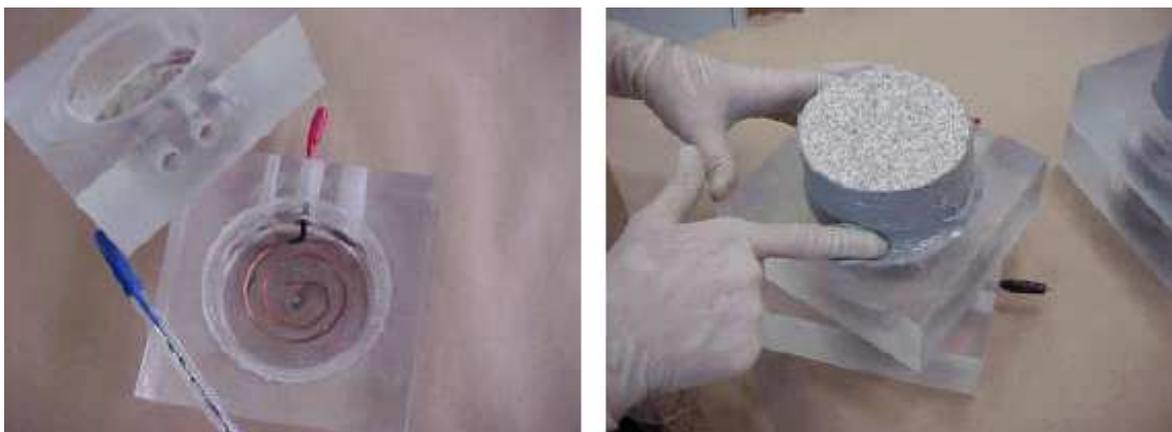


Figura 3. Ensaio de migração íons cloreto: fixação do corpo-de-prova nas células com selante neutro de alta viscosidade.

2.2 Realização do Ensaio

Após ter secado o selante, as células foram preenchidas de um lado com solução de NaCl a 3% em massa, conectando este lado ao pólo negativo da fonte de tensão. Do outro lado da célula com solução de NaOH a 0,3N, conectando-o ao pólo positivo da fonte. Os ensaios foram realizados em sala climatizada a $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

A carga total passante, medida em Coulombs (C), é relacionada com a resistência do concreto à penetração de íons cloretos. A Figura 4 mostra a realização do ensaio.



a)



b)

Figura 4. Ensaio de migração íons cloretos (ASTM C 1202⁽³⁾) a) vista geral e b) detalhe da medição da carga passante.

3 RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta os resultados de penetração íons cloretos⁽³⁾ obtidos no ensaio realizado nos nove traços de argamassa.

Tabela 4. Resultados e classificação de penetração de íons cloretos em corpos-de-prova de argamassa segundo os critérios da ASTM C 1202⁽³⁾

TRAÇO	TEOR EA1 (%)	RELAÇÃO Água / AGL	CARGA TOTAL PASSANTE (C)	CARGA TOTAL PASSANTE MÉDIA (C)	Penetração dos íons cloretos
1:1,5	A0 (100)	0,31	2525	2488	Moderada
			2451		
	EA1 (90/10)	0,30	2571	2359	Moderada
			2147		
	EA1 (66/34)	0,29	2754	2904	Moderada
			3053		
1:3,0	A0 (100)	0,53	5489	4774	Elevada
			4059		
	EA1 (90/10)	0,52	6226	5827	Elevada
			5428		
	EA1 (66/34)	0,50	10811	10319	Elevada
			9826		
1:4,5	A0 (100)	0,79	5608	5162	Elevada
			4724		
	EA1 (90/10)	0,77	6301	6104	Elevada
			5906		
	EA1 (66/34)	0,76	10716	10965	Elevada
			11214		

A Figura 5 apresenta os resultados de penetração íons cloretos (ASTM C 1202⁽³⁾) obtidos no ensaio realizado em argamassas constituídas com escória de aciaria elétrica EA1.

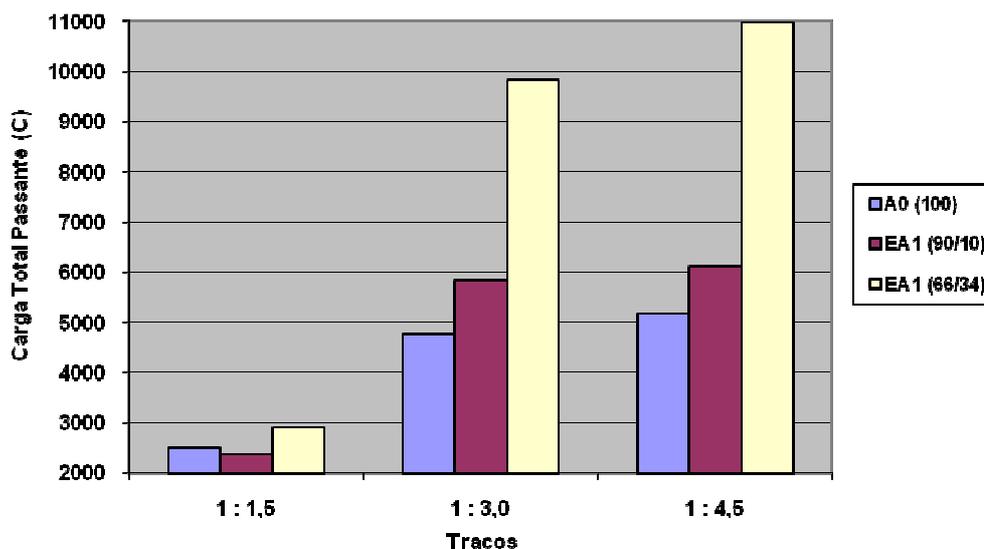


Figura 5. Resultados do ensaio de penetração íons cloretos⁽³⁾ em corpos-de-prova de argamassa constituídos com escória de aciaria elétrica micronizada: carga total passante (C).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Anova (Tabela 5) mostra que existe uma influência significativa do teor de EA1, do traço e da interação do teor e traço sobre os resultados da penetração íons cloretos (ASTM C 1202⁽³⁾) das argamassas.

Tabela 5. Resultados da análise estatística através da ANOVA do efeito do traço e teor de EA1 na penetração íons cloretos⁽³⁾ das argamassas

FATOR	GDL	MQ	Fcalc	F _{0,05}	Significância*
Traço	2	42770893,556	150,600	4,256	S
Teor	2	26633307,722	93,778	4,256	S
Traço x Teor	4	5125198,222	18,046	3,633	S
ERRO	9	284003,722			

GDL: Grau de Liberdade

MQ: Média Quadrática

Fcal: Valor Calculado de F

F_{0,05}: Valor Tabelado de F para o nível de significância de 5%

S: Significativo

NS: Não Significativo

***Significância:** Fcalc > F_{0,05} : S

Fcalc < F_{0,05} : NS

As Figuras 5, 6 e 7 mostram, respectivamente, a influência do traço, do teor de adição de EA1 e da interação do traço e teor de adição de EA1, sobre a taxa a penetração de íons cloretos⁽³⁾ das argamassas.

Em relação à interação significativa do traço na penetração íons cloretos das argamassas (Figura 6), pode-se dizer:

- a medida que o traço torna-se mais pobre, aumenta a penetração de íons cloretos;
- para os traços 1:3,0 e 1:4,5, em relação ao traço 1:1,5, o aumento da penetração de íons cloretos das argamassas foi de 170% e 187%, respectivamente.

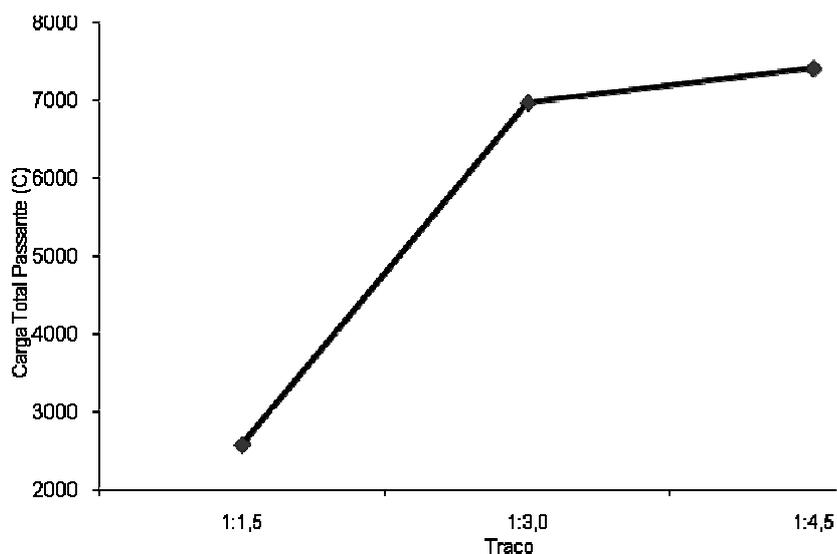


Figura 6. Efeito do traço na penetração de íons cloretos (ASTM C 1202⁽³⁾) nas argamassas.

Em relação à interação significativa do teor na penetração íons cloretos das argamassas (Figura 7), pode-se dizer:

- a medida que aumenta o teor de adição, ocorre o aumento na penetração de íons cloretos;
- para 10% e 34% de adição de EA1 em substituição ao CPV ARI RS, ocorreu aumento na penetração íons cloretos das argamassas de 14,97% e 94,61%, respectivamente.

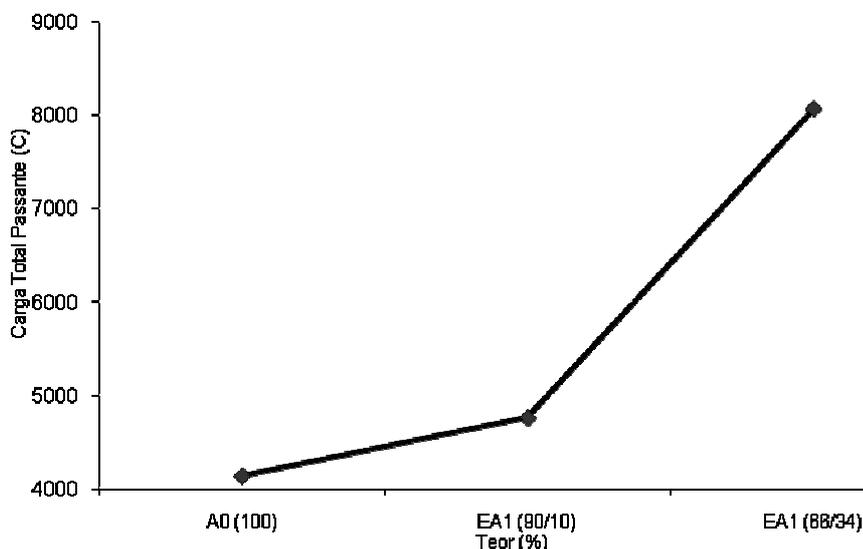


Figura 7. Efeito do Teor de Escória Micronizada EA1 (%) na penetração de íons cloretos (ASTM C 1202⁽³⁾) nas argamassas.

Em relação à interação significativa entre fator traço e fator teor de EA1 na penetração de íons cloretos nas argamassas (Figura 8), pode-se dizer:

- para o traço 1 : 1,5, ao substituir 10% de adição de EA1 em substituição ao CPV ARI RS, ocorreu diminuição da penetração de íons cloretos de 5,18%;
- para o traço 1 : 1,5, ao substituir 34% de adição de EA1 em substituição ao CPV ARI RS, ocorreu aumento da penetração de íons cloretos de 16,70%;



- para o traço 1 : 3,0, ao substituir 10% e 34% de adição de EA1 em substituição ao CPV ARI RS, ocorreu aumento da penetração de íons cloretos de 22,06% e 116,13%, respectivamente;
- para o traço 1 : 4,5, ao substituir 10% e 34% de adição de EA1 em substituição ao CPV ARI RS, ocorreu aumento da penetração de íons cloretos de 18,14% e 112,25%, respectivamente.

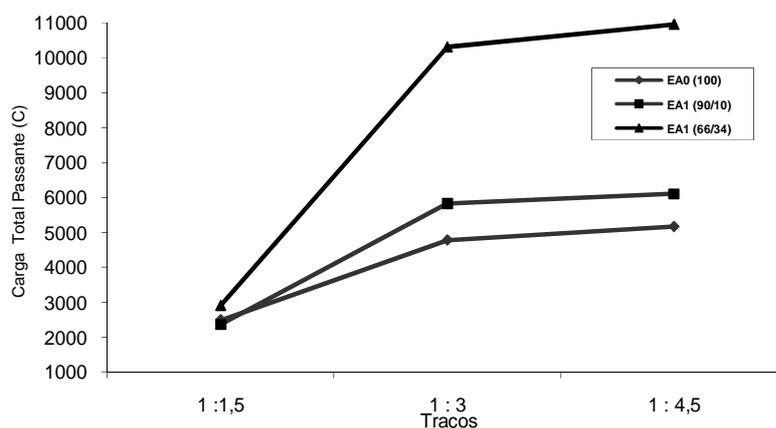


Figura 8. Efeito da interação entre traço e teor de EA1 na penetração de íons cloretos⁽³⁾ das argamassas.

Para o traço 1:1,5 que é o traço mais rico, e com relação água/aglomerante mais baixa, ocorreu uma diminuição na penetração íons cloretos de 5,18% para o teor de 10% de adição de EA1. Para o teor de 34% de adição de EA1, ocorreu um aumento de 16,72% na penetração de íons cloretos. Esses valores baixos de penetração de íons cloretos (Vide Tabela 1) são causados pela dificuldade da penetração dos íons cloretos pelos vazios da argamassa, possivelmente, em função do “efeito filer” e da “ação pozolânica” propiciada pela adição de EA1 nas argamassas.

À medida que os traços tornam-se mais pobres (1:3,0 e 1:4,5), e ocorre o aumento das respectivas relações água/aglomerante, percebe-se um aumento da penetração de íons cloretos, em função da facilidade do íon cloreto, que tem raio atômico muito pequeno, penetrar pelos vazios das argamassas.

A resistência à penetração de íons cloretos em concretos e argamassas é influenciada pela adição de diferentes teores de sílica ativa, cinza volante e escória granulada de alto-forno, pois, normalmente, ocorre a diminuição das dimensões dos poros e uma maior densificação da zona de transição.^(8,9)

Também a utilização de filer possibilita o aumento da resistência da penetração de íons cloretos em função da criação de uma rede de poros descontínuos no interior das argamassas e concretos.⁽¹⁰⁾

O aumento da relação água/aglomerante nos traços de argamassas e concretos diminui a resistência à penetração de íons cloretos.⁽⁹⁾

5 CONCLUSÃO

Em relação ao traço 1:1,5, a incorporação de 10% de escória micronizada reduziu em 5,81% a carga média passante, em relação à argamassa de referência,

classificando este traço e teor de argamassa, em relação à penetração de íons cloretos,⁽³⁾ como sendo moderada.

Quando no traço 1:1,5 ocorreu a substituição de 34% de escória micronizada, aumentou-se em 16,72% a carga média passante em relação à argamassa de referência, classificando este traço e teor de argamassa, em relação à penetração de íons cloretos,⁽³⁾ também como sendo moderada.

Em relação ao traço 1:3,0, a incorporação de 10% e 34% de escória micronizada aumentou em 22,06% e 116,13%, respectivamente, as cargas médias passantes, em relação à argamassa de referência, classificando este traço e teores de argamassa, em relação à penetração de íons cloretos,⁽³⁾ como sendo elevadas.

Em relação ao traço 1:4,5, a incorporação de 10% e 34% de escória micronizada aumentou em 18,14% e 112,25%, respectivamente, as cargas médias passantes, em relação à argamassa de referência, classificando este traço e teores de argamassa, em relação à penetração de íons cloretos,⁽³⁾ como sendo elevadas.

Portanto, verifica-se que para os traços mais pobres (1:3,0 e 1:4,5) e que requerem respectivamente maiores relações água/aglomerantes, a adição de escória micronizada ao CPV ARI RS nos teores de 10% e 34%, é o principal fator que contribui para o aumento da carga passante das argamassas e conseqüentemente a redução da capacidade de resistir à penetração de íons cloretos. Já para o traço mais rico (1:1,5), que requer menor relação água/aglomerante, a adição de escória micronizada ao CPV ARI RS, no teor de 10%, é o principal fator que contribuiu para a diminuição da carga passante, em relação à argamassa referência, conseqüentemente aumentando a capacidade da argamassa de resistir à penetração de íons cloretos.

REFERÊNCIAS

- 1 METHA, P.K. ; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008. 573 p.
- 2 MOURA W.A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para cimento**. 2000. 207p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- 3 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM C 1202 - Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration**. Philadelphia, 1997.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214 – Areia normal para ensaio de cimento**. Rio de Janeiro, 1990.
- 5 -----. **NBR 10007 – Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004
- 6 -----. **NBR 7215 – Cimento Portland – determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.
- 7 -----. **NBR 5738 – Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003
- 8 HISADA, M. et al. Evaluation of mineral admixtures on the viewpoint of Chloride ion migration through mortar. **Cement and Concrete Composites**. Elsevier. V21, p. 443-448, 1999.
- 9 BAUER, E. Influência da adição de escórias nos processos e mecanismos de corrosão das armaduras em concreto. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO. São Paulo. Nov. 2003. p. 593-599.
- 10 HORNIAN, H. Diffusion of chloride ions in limestone filler blended cement pastes and mortars. **Cement and Concrete Research**. V.25, n.8, Elsevier Science Ltd. p. 1667-1678. 1995.