



EFEITOS DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA SOBRE A RESISTÊNCIA E PERMEABILIDADE AO OXIGÊNIO DE CONCRETO ESTRUTURAL COM ALTOS TEORES DE ADIÇÕES MINERAIS: ESTUDO PRELIMINAR

Juarez Hoppe Filho (1); Geraldo Cechella Isaia (2); Antônio L. Guerra Gastaldini

(1) Engenheiro Civil - Mestrando do GEPECON – Universidade Federal de Santa Maria
e-mail: jhoppe@fatecnet.ufsm.br

(2) Prof. Doutor – Dep. Estruturas e Construção Civil – Universidade Federal de Santa Maria
e-mail: gisaia@terra.com.br

(3) Prof. Doutor – Dep. Estruturas e Construção Civil – Universidade Federal de Santa Maria
e-mail: gastadn@safira.ct.ufsm.br

RESUMO

Altos teores de adições minerais em concreto estrutural tem por efeitos a diminuição da reserva alcalina e aumento da velocidade de carbonatação. Esta investigação estuda a adição de cal hidratada em misturas binárias e ternárias de cimento portland com altos teores de cinza volante, cinza de casca de arroz ou escória de alto forno. Através dos coeficientes de difusão de gases, procura-se aferir a viabilidade do uso de cal no concreto, além do destino principal que é a diminuição dos efeitos da carbonatação.

Foram moldados onze traços de concreto com relações água/aglomerante 0,55, 0,45 e 0,35, sendo um de referência com cimento portland e os demais com teores entre 20 e 70%, em massa, de cinza volante, cinza de casca de arroz ou escória de alto forno. A cal hidratada foi utilizada como adição aos materiais cimentícios, em teores aproximados aos da reposição alcalina.

Resultados preliminares indicam benefício na adição da cal ao traço de concreto pelo aumento da resistência à compressão e pela redução dos coeficientes de permeabilidade ao oxigênio dos concretos com mesma relação água/aglomerante. Portanto, esta pesquisa busca subsídios para incrementar o teor de adições minerais às pastas cimentícias, contribuindo com argumentos técnicos e científicos que justifiquem o emprego de subprodutos industriais, com redução do consumo de cimento, aumentando a sustentabilidade das construções.

1. INTRODUÇÃO

Na corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado, a presença de oxigênio se faz necessária para o processo corrosivo, já que a corrosão propriamente dita do aço está diretamente relacionada a uma diferença de potencial (diferenças de umidade, aeração, concentração salina, tensões no concreto e aço – formação de micropilhas), a um eletrólito (água e hidróxido de cálcio) e com a existência de oxigênio, para a formação da ferrugem.

Desta forma, a durabilidade do concreto armado está subordinada a difusão de oxigênio no seu interior, que por sua vez relaciona-se com a estrutura da pasta, além de outros aspectos importantes, tais como a velocidade de carbonatação e a absorção capilar. Todos estes aspectos sofrem influência significativa da microestrutura da pasta hidratada e esta, sofre alterações bruscas quando utiliza-se pozolanas e/ou escória de alto forno em substituição ao cimento Portland. As respectivas substituições de cimento Portland por cinza volante, cinza de casca de arroz e escória de alto forno promovem

alterações na estrutura dos poros, sejam elas na forma e/ou na distribuição, resultando em um refinamento dos poros, o que produz efeitos diretos sobre o tamanho e a interconectividade dos mesmos, além de alterar a composição da solução aquosa, o que só traz benefícios para o concreto.

O pH do meio aquoso existente no interior do concreto é bastante alcalino (entre 12,6 e 14,0), como resultado da reação da água e os sais que compõem o cimento e, sempre que o nível de alcalinidade for superior a 9,0, estará garantida a criação da película passivante. (Souza, 1998)

Entretanto, estas reações pozolânicas atuam sobre a relação C/S (cálcio/silica) do concreto, diminuindo a reserva alcalina oriunda das reações de hidratação do cimento, deixando assim a camada de cobertura do aço do concreto mais susceptível a carbonatação, já que o pH é diminuído em virtude do consumo do hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – nas reações pozolânicas, iniciando-se assim a despassivação da armadura e posteriormente o processo corrosivo.

Com base no acima descrito, a pesquisa em questão procura subsídios técnicos e científicos que justifiquem o emprego de subprodutos industriais na produção de concreto estrutural, buscando repor, por adição, a reserva alcalina, através da cal hidratada comercial, consumida nas reações pozolânicas, permitindo assim um levantamento quantitativo das interações entre a resistência à compressão e coeficientes de permeabilidade à oxigênio para concretos com e sem reposição alcalina para três diferentes relações água/aglomerantes.

Atualmente são gerados anualmente cerca de 300 milhões de toneladas de cinza volante e outro tanto de escória, sendo que de casca de arroz são aproximadamente 100 milhões de toneladas anuais que geram em torno de 20 milhões de toneladas de cinza. Diversos estudos atuais sobre concreto estrutural apontam a substituição crescente de cimento Portland por escória em níveis de até 90% (Sasatani et al., 1995, Sato et al., 1998, Nakamoto et al., 1998), cinza volante em níveis iguais ou superiores a 50% (Bilodeau et al., 1995, Isaia, 1995, Thomas, 1996, Swamy, 1997, Kawaguchi et al., 1998) e cinza de casca de arroz em teores iguais ou superiores a 25% (Metha, 1994, Sugita et al., 1997, Isaia et al., 1998). Estes trabalhos mostram o grande potencial que estas adições minerais apresentam quando substituem igual massa de cimento sem efeitos colaterais nocivos para a durabilidade do concreto, desde que as misturas sejam devidamente dosadas.

2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiais Utilizados

Foi utilizado cimento Portland de alta resistência inicial (Cauê), cinza volante procedente de Candiota, peneirada na # 0,15 mm; cinza de casca de arroz, queimada em secadores de arroz, sem controle de temperatura, moída em laboratório por uma hora, utilizando-se a fração passante na peneira 0,15 mm. Esta cinza de casca de arroz foi escolhida entre aquelas que apresentam melhores condições de queima, ou seja, temperatura próxima dos 700° C e com o menor teor de carbono. Pela experiência disponível da equipe de pesquisa do GEPECON da UFSM (Isaia, 1995, Isaia et al., 1998), a moagem desta cinza por apenas uma hora é suficiente para dotar esta pozolana com finura adequada para o emprego em concreto. Escória granulada de alto forno, com procedência da siderúrgica nacional.

Empregou-se areia natural com diâmetro máximo de 2,4 mm, módulo de finura igual a 2,16 e massa específica 2,63 Kg/dm³ e, agregado graúdo proveniente de rocha basáltica, lavado, com diâmetro máximo de 19 mm, módulo de finura igual a 6,60 e massa específica de 2,47 Kg/dm³.

Tabela 1 – Propriedades físicas do cimento e das adições minerais (%)

Aglomerantes	Resíduo # 0,075 mm	Resíduo # 0,045 mm	Massa Específica (Kg/dm ³)	Área Específica Blaine (m ² /Kg)
Cimento	0,84	1,32	3,15	457
Escória	1,05	2,10	2,90	400
Cinza Volante	0,90	2,07	2,24	416
C. Casca de Arroz	0,52	0,64	2,09	1.715
Cal Hidratada	-	-	1,83	-

2.2 Misturas Utilizadas - Ensaios

Foram ensaiadas onze misturas aglomerantes com relações água/aglomerante 0,55; 0,45 e 0,35, sendo um de referência com cimento Portland de alta resistência inicial e as demais com teores variáveis entre 20 e 70%, em massa, de cinza volante, cinza de casca de arroz ou escória de alto forno. A cal

hidratada comercial foi utilizada como adição aos materiais cimentícios, em teores aproximados aos da reposição alcalina.

O teor de argamassa foi mantido constante em 53%, em massa, e a consistência do concreto, medida pelo abatimento do tronco de cone em 60 ± 15 mm, variando-se a quantidade de aditivo superplastificante. A tabela 2 mostra a quantidade dos materiais empregados, bem como o consumo de cimento por metro cúbico de concreto e a quantidade de aditivo superplastificante utilizada para obter-se o abatimento desejado.

A dosagem do concreto foi realizada conforme os procedimentos recomendados por Helene e Terzian (1992) no sentido de compatibilizar-se os diversos parâmetros que influem na interação agregados, adições minerais e aditivos superplastificantes em função da trabalhabilidade pretendida.

Para a avaliação da resistência à compressão axial, moldou-se 4 corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm, utilizando-se mesa vibratória para o adensamento. Após 24 horas foram desmoldados e conservados em câmara úmida até a data de ensaio, procedimento este conforme prescrições das normas NBR 5738 e 5739.

Tabela 2 – Quantidade de materiais empregados

Sigla	A/Agl	Cimento (%)	C. Volante (%)	C. C. Arroz (%)	Escória (%)	Cal (%)	Consumo (Kg/m ³)	Ag. Miúdo (Kg/m ³)	Aditivo (Kg/m ³)
R1	0,35	100	-	-	-	-	587,50	658,00	0,588
R2	0,45	100	-	-	-	-	427,27	818,23	-
R3	0,55	100	-	-	-	-	335,71	909,79	-
VC1	0,35	50	50	-	-	15	293,75	557,61	21,268
VC2	0,45	50	50	-	-	15	213,64	745,21	9,272
VC3	0,55	50	50	-	-	15	167,86	852,42	5,036
V1	0,35	50	50	-	-	-	293,75	557,61	5,581
V2	0,45	50	50	-	-	-	213,64	745,21	2,564
V3	0,55	50	50	-	-	-	167,86	852,42	1,679
AC1	0,35	50	-	50	-	18	293,75	532,66	85,188
AC2	0,45	50	-	50	-	18	213,64	727,07	35,250
AC3	0,55	50	-	50	-	18	167,86	838,17	17,793
A1	0,35	50	-	50	-	-	293,75	532,66	52,875
A2	0,45	50	-	50	-	-	213,64	727,07	20,082
A3	0,55	50	-	50	-	-	167,86	838,17	9,064
EC1	0,35	30	-	-	70	15	176,25	628,17	9,400
EC2	0,45	30	-	-	70	15	128,18	796,54	6,409
EC3	0,55	30	-	-	70	15	100,71	892,74	3,357
E1	0,35	30	-	-	70	-	176,25	628,17	2,938
E2	0,45	30	-	-	70	-	128,18	796,54	1,709
E3	0,55	30	-	-	70	-	100,71	892,74	1,343
VAC1	0,35	30	50	20	-	18	176,25	507,47	52,581
VAC2	0,45	30	50	20	-	18	128,18	708,75	23,842
VAC3	0,55	30	50	20	-	18	100,71	823,77	12,858
VA1	0,35	30	50	20	-	-	176,25	507,47	22,208
VA2	0,45	30	50	20	-	-	128,18	708,75	9,229
VA3	0,55	30	50	20	-	-	100,71	823,77	5,036
VEC1	0,35	10	20	-	70	18	58,75	588,02	21,503
VEC2	0,45	10	20	-	70	18	42,73	767,33	7,691
VEC3	0,55	10	20	-	70	18	33,57	869,80	3,659
VE1	0,35	10	20	-	70	-	58,75	588,02	2,938
VE2	0,45	10	20	-	70	-	42,73	767,33	0,855
VE3	0,55	10	20	-	70	-	33,57	869,80	-

Obs.: Quantidade de agregado graúdo: 1.104,50 Kg/m³. Abatimento do concreto: 60 ± 15 mm.

Os ensaios para a determinação da permeabilidade a oxigênio foram realizados conforme a norma RILEM TC 116-PCD (1999) e pelo método RILEM-CEMBUREAU (RILEM, 1999), em corpos-de-prova cilíndricos de 150 mm de diâmetro e 50 mm de altura. O pré-condicionamento (RILEM TC 116-PCD) dotará os corpos-de-prova de concreto, com pré-secagem definida, até uma concentração

média intermediária de umidade que está em equilíbrio com $75 \pm 2\%$ de umidade relativa em um ambiente aéreo com temperatura de $20 \pm 1^\circ \text{C}$ e com uma distribuição uniforme da água evaporável no corpo-de-prova. O procedimento de pré-condicionamento constitui-se de uma etapa de pré-secagem e uma subsequente fase de redistribuição. Para cada uma das onze misturas investigadas com relações água/aglomerantes 0,55; 0,45 e 0,35, foram ensaiados três exemplares nas idades de 49 e 91 dias (resultados dos 91 dias não foram completados até o presente momento), adotando-se a média como valor representativo, desde que satisfeitas as prescrições de norma quanto a diferença de resultados.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Resistência à Compressão

Ao se substituir parte do cimento pelas adições minerais, observa-se uma alteração nos valores de resistência à compressão em relação a mistura de referência, em função do tipo e da reatividade destas. Os resultados obtidos com as misturas investigadas estão explanados na tabela 3, a qual dá destaque para a resistência à compressão aos 28 dias, para a resistência unitária e para o índice médio de resistência unitária.

Tabela 3 – Resistência à compressão, resistência unitária e índice médio de resistência unitária

Sigla	A/Agil	fc 28 (Mpa)	Consumo (Kg/m ³)	Fc _u 28 (Mpa/Kg)	Imc _u 28
R1	0,35	53,82	587,5	0,092	1,00
R2	0,45	39,38	427,27	0,092	
R3	0,55	28,81	335,71	0,086	
VC1	0,35	54,79	293,75	0,187	2,00
VC2	0,45	39,37	213,64	0,184	
VC3	0,55	28,29	167,86	0,169	
V1	0,35	40,77	293,75	0,139	1,50
V2	0,45	29,48	213,64	0,138	
V3	0,55	21,31	167,86	0,127	
AC1	0,35	74,01	293,75	0,252	2,74
AC2	0,45	53,98	213,64	0,253	
AC3	0,55	39,37	167,86	0,235	
A1	0,35	67,98	293,75	0,231	2,56
A2	0,45	50,42	213,64	0,236	
A3	0,55	37,40	167,86	0,223	
EC1	0,35	50,34	176,25	0,286	3,58
EC2	0,45	42,20	128,18	0,329	
EC3	0,55	35,38	100,71	0,351	
E1	0,35	43,44	176,25	0,246	2,96
E2	0,45	34,94	128,18	0,273	
E3	0,55	28,10	100,71	0,279	
VAC1	0,35	44,98	176,25	0,255	3,21
VAC2	0,45	37,88	128,18	0,296	
VAC3	0,55	31,90	100,71	0,317	
VA1	0,35	31,73	176,25	0,180	2,28
VA2	0,45	26,90	128,18	0,210	
VA3	0,55	22,81	100,71	0,226	
VEC1	0,35	46,33	58,75	0,789	8,06
VEC2	0,45	31,71	42,73	0,742	
VEC3	0,55	21,71	33,57	0,647	
VE1	0,35	35,77	58,75	0,609	6,00
VE2	0,45	23,50	42,73	0,550	
VE3	0,55	15,44	33,57	0,460	

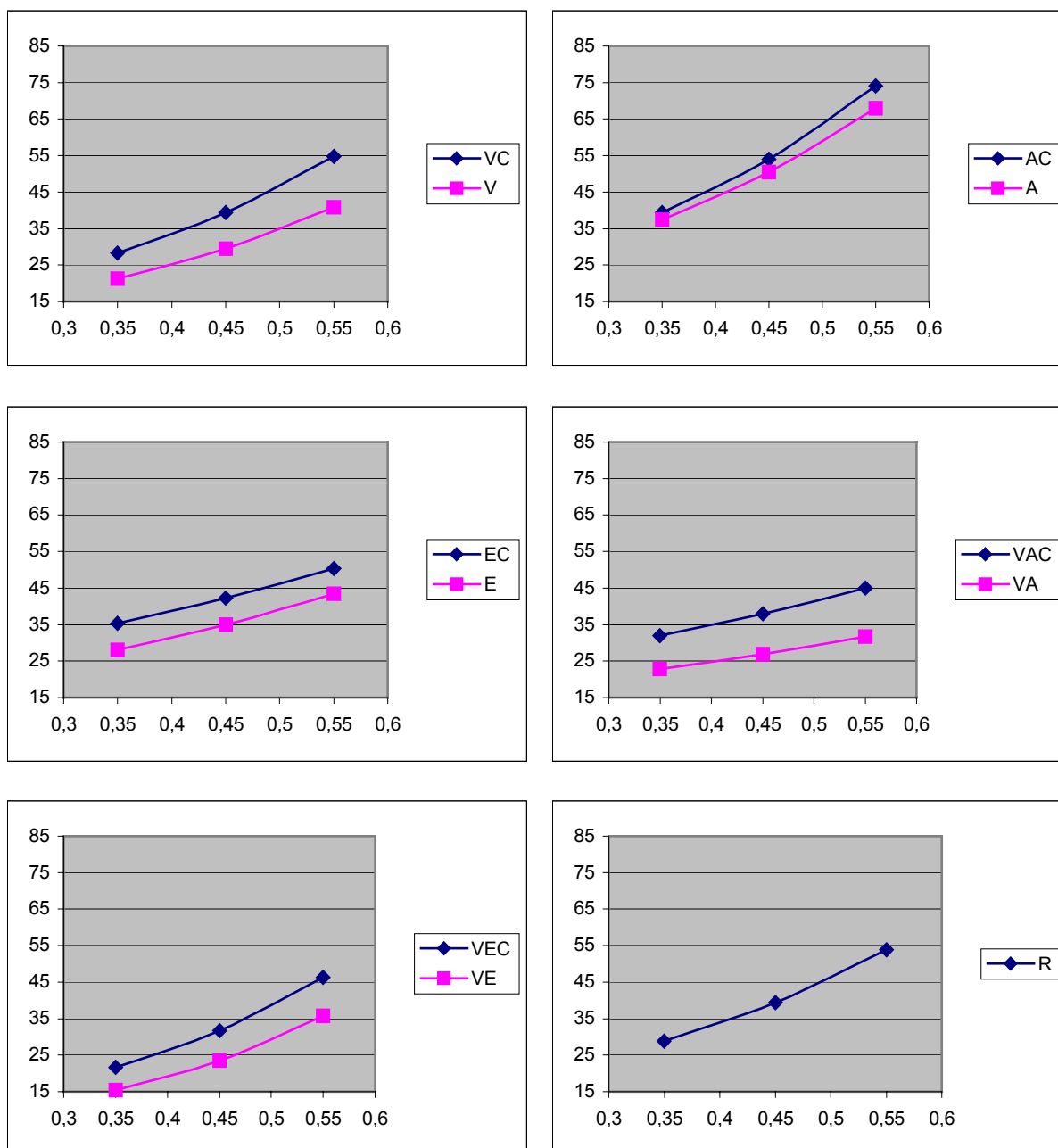


Figura 1 – Resistência à compressão aos 28 dias das misturas aglomerantes investigadas

A resistência máxima obtida deu-se na mistura, com relação água/aglomerante 0,35, onde 50% do cimento foi substituído por cinza de casca de arroz e, onde foi adicionado 18% de cal hidratada, atingindo um valor de 74,01 MPa, o que representa um acréscimo de 37,51% em relação ao traço de referência, com a mesma relação água/aglomerante.

O valor mínimo ocorreu na mistura ternária, com relação água/aglomerante 0,55, onde 90% do cimento foi substituído por 20% de cinza volante e 70% de escória de alto forno, sem reposição alcalina, onde atingiu-se uma resistência de 15,44 MPa, o que representa um decréscimo de 46,41% em relação ao traço de referência com a mesma relação água/aglomerante.

Com base no consumo efetivo de cimento, as misturas contendo maior porcentagem de adição mineral foram as que apresentaram maiores valores de resistência à compressão unitária, destacando-se que sempre a mistura que possui reposição alcalina (cal hidratada) apresenta maiores valores de resistência à compressão quando comparada com a mesma mistura sem reposição.

Considerando a resistência unitária a relação entre a resistência do concreto com adição mineral dividida pelo seu consumo de cimento, e a resistência do concreto de referência pelo seu

correspondente consumo de cimento, e o índice médio de resistência unitária correspondendo à relação entre a média de resistências destes índices para as relações água/aglomerante 0,35; 0,45 e 0,55, de uma mistura com adição mineral e o concreto de referência, verifica-se que todas as misturas aglomerantes apresentaram valores de resistência unitária mais elevados que os da série de referência. Os acréscimos, aos 28 dias, no índice médio de resistência unitária variaram de 50 a 706%.

Os maiores acréscimos foram observados nas misturas ternárias com escória de alto forno (10% de cimento), tanto na mistura com como na sem reposição alcalina.

Os menores acréscimos deram-se nas misturas binárias com cinza volante (50% de cimento), onde os valores atingidos variavam de 50 a 100%.

Desta forma, o acréscimo mínimo (50%) ocorreu na mistura onde tivemos 50% de substituição de cimento por cinza volante, sem proceder-se a reposição alcalina e, o acréscimo máximo (706%) ocorreu na mistura ternária, onde 90% de cimento foi substituído por 20% de cinza volante e 70% de escória de alto forno, com reposição alcalina, por adição, na ordem de 18% da massa total dos aglomerantes.

3.2 Permeabilidade a Oxigênio

Constatou-se que o aumento da relação água/aglomerante resulta em um aumento da permeabilidade para todas as misturas investigadas.

A reposição alcalina, através da cal hidratada comercial, diminuiu a permeabilidade a oxigênio, trazendo alterações mais significativas nas relações água/aglomerantes mais altas.

Os resultados de permeabilidade a oxigênio, total e unitária, das misturas investigadas estão explanados abaixo.

A menor permeabilidade a oxigênio ocorreu na mistura, com relação água/aglomerantes 0,35, onde 70% do cimento foi substituído por escória de alto forno, atingindo um valor de $0,00533 \times 10^{-15} \text{ m}^2$, o que representa uma diminuição na permeabilidade a oxigênio na ordem de 80,87% em relação ao concreto de referência com a mesma relação água/aglomerante.

A permeabilidade unitária corresponde a relação entre a permeabilidade a oxigênio do concreto em questão, pelo seu correspondente consumo de cimento. O índice médio de permeabilidade unitária corresponde à relação entre a média destes índices, para as relações água/aglomerantes 0,35; 0,45 e 0,55, de uma mistura com adição mineral e o concreto de referência.

Os decréscimos, aos 49 dias, na permeabilidade a oxigênio, em função do índice médio de permeabilidade unitária, variaram de 21 a 54%.

O maior decréscimo na permeabilidade ocorreu na mistura binária onde 50% do cimento foi substituído por cinza de casca de arroz, e onde foi adicionado uma reposição alcalina de 18% sobre a massa dos aglomerantes.

Na mistura ternária, envolvendo 20% de cinza volante, 70% de escória de alto forno e 10% de cimento, obteve-se um acréscimo de 6.195% na permeabilidade a oxigênio para a mistura com reposição alcalina e, 37.299% para a mistura sem reposição alcalina. Esta mistura, com e sem adição de cal hidratada, representa o pico máximo de permeabilidade a oxigênio, dentro de uma faixa de variação, com acréscimo, do índice médio de permeabilidade unitário entre 59 e 37.299%.

A substituição do cimento por pozolanas e escória de alto forno acarretou, em todas as misturas investigadas, um acréscimo na resistência à compressão unitária, entretanto, tratando-se da permeabilidade a oxigênio, obteve-se misturas que, com a substituição do cimento, apresentaram acréscimos e decréscimos na permeabilidade unitária em relação ao concreto de referência.

Assim sendo, a substituição do cimento por subprodutos agroindustriais, representa um aumento significativo na resistência unitária à compressão do concreto, em virtude das reações pozolânicas que desencadeiam a formação do C-S-H secundário, o que propicia o refinamento dos poros e uma maior compacidade da zona de transição. Embora o efeito destas substituições seja benéfico para a resistência à compressão, a permeabilidade a oxigênio, fator preponderante para a durabilidade do concreto, apresenta, em algumas misturas investigadas, um acréscimo bastante acentuado em relação ao concreto de referência, limitando assim o teor de substituição de cimento para um mesmo patamar de durabilidade.

Tabela 4 – Permeabilidade a oxigênio, permeabilidade unitária e índice médio de permeabilidade unitária – 49 dias

Sigla	A/AgI	Permeabilidade a Oxigênio (10 ⁻¹⁵ m ²)	Consumo (Kg/m ³)	P _u 49 (10 ⁻¹⁸ m ² /Kg)	ImP _u 49
R1	0,35	0,02786	587,50	0,04742	1,00
R2	0,45	0,12180	427,27	0,28507	
R3	0,55	0,34651	335,71	1,03217	
VC1	0,35	0,00970	293,75	0,03302	0,63
VC2	0,45	0,05880	213,64	0,27523	
VC3	0,55	0,09152	167,86	0,54522	
V1	0,35	0,10249	293,75	0,34890	6,38
V2	0,45	0,49910	213,64	2,33617	
V3	0,55	1,01035	167,86	6,01900	
AC1	0,35	0,02463	293,75	0,08385	0,46
AC2	0,45	0,03846	213,64	0,18001	
AC3	0,55	0,06131	167,86	0,36524	
A1	0,35	0,03848	293,75	0,13100	0,79
A2	0,45	0,06259	213,64	0,29297	
A3	0,55	0,10937	167,86	0,65155	
EC1	0,35	0,00533	176,25	0,03024	1,59
EC2	0,45	0,07101	128,18	0,55399	
EC3	0,55	0,15928	100,71	1,58157	
E1	0,35	0,09894	176,25	0,56136	23,52
E2	0,45	1,09702	128,18	8,55843	
E3	0,55	2,31371	100,71	22,97398	
VAC1	0,35	0,04117	176,25	0,23359	0,78
VAC2	0,45	0,04477	128,18	0,34927	
VAC3	0,55	0,04819	100,71	0,47850	
VA1	0,35	0,19461	176,25	1,10417	15,97
VA2	0,45	0,57933	128,18	4,51966	
VA3	0,55	1,62789	100,71	16,16413	
VEC1	0,35	0,25710	58,75	4,37617	62,95
VEC2	0,45	0,44454	42,73	10,40346	
VEC3	0,55	2,38773	33,57	71,12690	
VE1	0,35	5,49662	58,75	93,55949	373,99
VE2	0,45	7,43367	42,73	173,96841	
VE3	0,55	8,15247	33,57	242,84987	

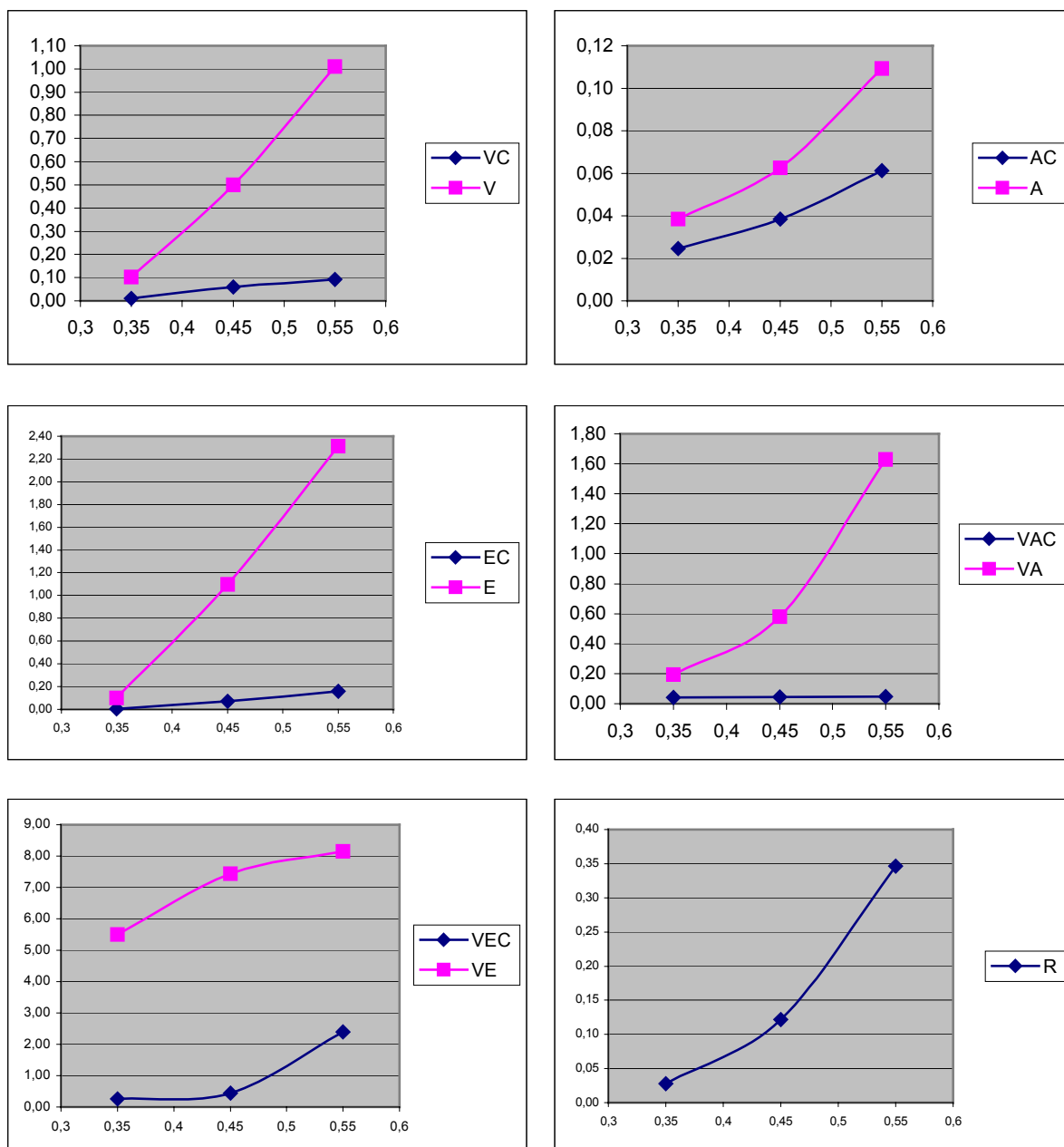


Figura 2 – Permeabilidade a oxigênio aos 49 dias das misturas aglomerantes investigadas

4. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos constata-se modificações no comportamento mecânico e na permeabilidade a oxigênio do concreto, quando se substitui parte do cimento por escória de alto forno e pozolanas.

Em igualdade de relação água/aglomerante, a substituição parcial do cimento pelas adições minerais, analisando-se pelo consumo de cimento equivalente, resulta em maiores valores de resistência à compressão unitária.

Para uma dada idade consegue-se obter níveis semelhantes de resistência à compressão axial a partir de diferentes composições de misturas cimentícias e distintas relações água/aglomerante. Entretanto, a permeabilidade a oxigênio dessas misturas são diferentes.

Isso se deve às características físico-químicas e mineralógicas de cada adição mineral, sendo a sua influência mais significativa na permeabilidade do que na resistência à compressão.

Tendo em vista que, segundo Swamy (1998), a estratégia holística global que deve ser implementada na dosagem de concreto com adições minerais é a obtenção de adequada resistência através da durabilidade e não durabilidade através da resistência.

Portanto, a especificação de um concreto baseado em um nível de resistência à compressão pode não

assegurar a durabilidade máxima da estrutura frente a permeabilidade a oxigênio.

A reposição alcalina, através da cal hidratada comercial, traz benefícios ao concreto no tocante a resistência à compressão e a permeabilidade a oxigênio, quando comparados duas misturas idênticas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BILODEAU, A.; MALHOTRA, V. M. **Properties of high-volume fly ash concrete made with high early-strength ASTM type III cement.** In: MALHOTRA, V. M. (ed) International Conference on fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete, 5th, Milwaukee, 1995. Proceedings. Detroit: American Concrete Institute, 1995, 2 v., v. 1, p. 1-23 (SP-153).

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** 1 ed. São Paulo: PINI, 1992.

ISAIA, G. C. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas a corrosão da armadura.** São Paulo, 1995. Tese (doutorado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

ISAIA, G. C., VAGHETTI, M.; GASTALDINI, A. **Efeitos de misturas pozolânicas sobre a carbonatação do concreto de cimento portland.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 40^o, Rio de Janeiro, 1998. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1998. p. 30 (CD-ROM).

METHA, P. K. **Concrete technology at the crossroads – Pronlems and opportunities.** In: METHA, P. K. (ed) Concrete technology – past, present and future, Berkeley, 1993. Proceedings. Detroit: American Concrete Institute, 1994, p. 1-30 (SP-144).

NAKAMOTO, J.; TOGAWA, T.; MIYAGAWA, M.; NAGAOKA, S. **Freezing and thawing resistance of high slag content concrete.** In: Malhotra, V. M. (ed.) CANMET/ACI/JCI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, 4th, Tokushima, 1998. Proceedings. Detroit: American Concrete Institute, 1998, p. 1059-1072 (SP-179).

RILEM. **Recomendations of TC 116-PCD: tests for gas permeability of concrete.** Materials and Structures, v. 32, n^o. 217, p. 163-179, 1999.

SASATANI, T.; TORII, K.; KAWAMURA, M. **Five-year exposure test on long-term properties of concrete containing fly ash, blast-furnace slag and silica fume.** In: MALHOTRA, V. M. (ed.) International Conference on fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete, 5th. Milwaukee, USA, 1995. Proceedings. Detroit: American Concrete Institute, 1995, 2 v., v. 1, p. 283-296 (SP-153)

SATO, N.; AGOPYAN, V.; QUARCIONI, V. **Durability of portland cement concrete and blast furnace slag cement concrete.** In: GJORV, O.; SAKAI, K.; BANTHIA, N. (eds.) International Conference on Concrete under severe conditions, 2nd, Tromso, Norway, 1998. Proceedings. Suffolk: E & FN Spon, 1998, 3 v., v. 3, p. 2065-2073.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, 1998. Editora PINI.

SUGITA, S.; YU, Q.; SHOYA, M.; TSUKINAGA, Y.; ISOJIMA, Y. **On the semi-industrial production of highly reactive rice husk ash and its effect on cement and concrete properties.** In: JUSTNES, H. (ed.) International Congress on the Chemistry of Cement, 10th, Gothenburg, Sweden, 1997. Proceedings. Göteborg: Amarkai AB, 1997, 4 v., v. 3, 3ii109.

SWAMY, R. N. **Design for durability and strenght through the use of fly ash and slag concrete.** In: MALHOTRA, V. M. (ed) Advances in concrete technology. CANMET/ACI International Symposium, 3rd, Auckland, 1997. Proceedings. Detroit: American Concrete Institute, 1997, p. 1-72 (SP-171).

_____. **A global design/management strategy to enhance corrosion-free durable service life of concrete construction.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 40^o, Rio de Janeiro, 1998. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1998, trabalho 130 (CD-ROM).

THOMAS, M. **Chloride thresholds in marine concrete.** Cement and Concrete Research, v. 26, n. 4, p. 520-613, 1996.