

CONCRETOS ESPECIAIS



DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho (1),
TUTIKIAN, Bernardo Fonseca (2),
KIRCHHEIM, Ana Paula (2),
CREMONINI, Ruy Alberto (3)

- (1) Professora Dra., NORIE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil. E-mail: dmolin@ufrgs.br
- (2) Doutorando, NORIE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil. E-mail: btutikian@terra.com.br
- (3) Professor Dr., NORIE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil. E-mail: rac@ufrgs.br

1. RESUMO

Este trabalho trata de dois tipos de concreto especiais: concreto auto adensável e concreto com cimento Portland branco estrutural. Estes materiais, por serem relativamente novos no mercado nacional, demandam pesquisas e desenvolvimento para que possam ser utilizados com maior segurança. Para o **concreto auto adensável** foi realizada uma investigação a respeito do seu comportamento quanto à resistência à compressão, penetração de cloretos e custo quando varia-se o tipo de finos e adiciona-se aditivo modificador de viscosidade (AMV). Como finos utilizou-se filer calcário, cinza de casca de arroz e metacaulim. Observou-se que o AMV pouco influi no consumo de cimento, porém aumenta as resistências à compressão e diminui a penetração de íons cloretos, devido à redução da relação a/agl. Constatou-se, também, que o aumento de custo provocado pelo aditivo pode ser compensado pela possibilidade de utilização de traços mais pobres com os mesmos resultados finais. Para o concreto com **cimento Portland branco** foram realizados experimentos para avaliar seu desempenho através de ensaios de durabilidade (carbonatação) e propriedades mecânicas (resistência à compressão). Os resultados mostraram que para todos os concretos, os valores observados de carbonatação para a relação a/c 0,4, foram nulos. Para as relações a/c mais elevadas, o desempenho dos cimentos Portland brancos foram intermediários com relação ao cimento Portland cinza, dependendo principalmente das características físicas e químicas dos cimentos e não de sua cor. Quanto à resistência mecânica, os cimentos brancos foram similares ao cinza.

1.1 1 INTRODUÇÃO

Freqüentemente novas tecnologias e novos materiais são introduzidos no mercado mesmo existindo situações onde faltam informações sobre suas propriedades e seu comportamento com relação às solicitações cotidianas. Como em qualquer setor, isto também ocorre no mercado da construção civil.

Percebe-se, assim, a necessidade de investigação de parâmetros, construtivos e característicos do próprio material, principalmente quando se trata de novos materiais ou novas utilizações de materiais convencionais.

Este trabalho tem por objetivo apresentar alguns resultados obtidos em pesquisas realizadas no NORIE/LEME/UFRGS, com relação ao concreto auto adensável e ao concreto com cimento Portland branco estrutural.

2 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O concreto auto adensável (CAA) caracteriza-se por elevada trabalhabilidade, sem apresentar segregação, sendo seu objetivo principal a eliminação ou redução da necessidade de adensamento. Para tal, a dosagem deste concreto requer a utilização de maiores teores de materiais finos que o concreto convencional (CC), visando a estabilidade da mistura. Como alternativa ao uso de materiais finos, podem ser empregados os aditivos modificadores de viscosidade (AMV), que são polímeros derivados da celulose e acrílico, solúveis em água, que aumentam a viscosidade e a estabilidade do concreto (LACHEMI et al., 2003). Desta forma, é possível reduzir o consumo de água, já que ocorre uma diminuição do consumo de materiais finos e, conseqüentemente, da superfície específica do concreto. Ou seja, concretos similares podem ter relação água/aglomerante menores ou a mesma relação, porém com maior fluidez, sem que ocorra a segregação. Desta forma, é possível reduzir o

consumo de cimento do CAA, para uma mesma resistência, como demonstra o trabalho desenvolvido por Troli et al. (2003). Peterssen (1999) salienta, no entanto, que o uso do AMV pode retardar o crescimento da resistência à compressão do CAA com fíler calcáreo, principalmente nas primeiras idades.

Poucos estudos sobre o uso do concreto auto-adensável foram realizados no Brasil, uma vez que, entre outros fatores, o custo deste tipo de concreto pode chegar ao dobro do de concretos convencionais (AMBROISE et al., 1999). De acordo com Bernabeu (2000), o uso do concreto auto-adensável é economicamente viável em situações específicas: quando há dificuldade para o adensamento ou vibração do material ou armaduras muito densas. Já em situações corriqueiras, necessita-se de um estudo global, abrangendo todas as variáveis, para a determinação do tipo de concreto mais viável economicamente, o CAA ou o CC.

Alguns estudos, como o de Ambroise et al. (1999), testaram CAA que tiveram um aumento de apenas 20% no custo dos materiais em relação ao CC, e, levando-se em consideração a diminuição do custo com lançamento e adensamento, o valor final provavelmente decairia. Segundo Grauers (1998), o custo dos materiais do concreto auto adensável pode chegar a superar em apenas 10% o dos materiais do concreto convencional.

Gomes et al. (2003) afirmam que o desenvolvimento de concretos especiais, especificamente o auto-adensável, que utilizam alta dosagem de resíduos sólidos industriais na forma de finos, é uma contribuição positiva para o desenvolvimento sustentável do concreto. Ao utilizar-se sílica ativa, cinza volante, metacaulim e cinzas de casca de arroz em substituição ao cimento, obtem-se um ganho ecológico significativo, já que estes são resíduos ou subprodutos industriais.

Com a eliminação da vibração ou compactação mecânica, o ambiente de trabalho pode melhorar bastante, o trabalho braçal fica mais leve e o barulho da vibração é eliminado. O uso do concreto auto-adensável direciona a construção civil para uma produção industrializada, diminuindo o custo da mão-de-obra e aumentando a qualidade do meio ambiente na construção civil.

Colleparidi (2001) afirma que o concreto auto-adensável é considerado atualmente o material cimentício existente mais avançado. Segundo Grauers (1998), quando as especificações técnicas e econômicas do concreto auto-adensável forem alcançadas, é esperado que todos os concretos do futuro sejam auto adensáveis, opinião compartilhada por Okamura (1997).

Para avaliar o desempenho técnico-econômico do concreto auto-adensável, para as condições brasileiras, desenvolveu-se uma pesquisa onde foram produzidos concretos com e sem AMV, substituindo parcialmente 3 tipos de finos: fíler calcáreo, metacaulim e cinza de casca de arroz.

2.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foram dosadas seis famílias de CAA, sendo três com AMV e três sem, porém com os mesmos materiais finos, para que fossem comparadas resistências à compressão (aos 3, 7, 28 e 63 dias), penetração de cloretos (aos 46 dias), consumo de cimento e custo das misturas. Estes concretos foram dosados pelo método de dosagem para concretos auto-adensáveis proposto por Tutikian (2004). Este método prevê a substituição de um componente do concreto convencional (cimento ou areia) por um fino, com o intuito de dar coesão ao CAA. O fíler calcáreo, que é um material não pozolânico, substituiu a areia, enquanto os outros dois finos pozolânicos, metacaulim e cinza de casca de arroz, substituíram o cimento.

Observa-se na tabela 1 os traços, em massa, e na tabela 2, o consumo dos materiais por metro cúbico de concreto.

Tabela 1: traços secos em massa dos CAA do trabalho experimental

10	C	MC	CCA	FC	AR	BR	a/agl	SP	MV
FC s/ MV	1,00			0,55	0,57	1,88	0,49	0,65	
	1,00			1,05	0,87	2,59	0,78	0,65	
	1,00			1,35	1,36	3,29	0,81	0,65	
	1,00			1,65	1,86	4,00	1,01	0,65	
FC c/ MV	1,00			0,50	0,62	1,88	0,41	0,70	1,00
	1,00			0,70	1,22	2,58	0,59	0,70	1,00
	1,00			1,00	1,71	3,29	0,78	0,70	1,00
	1,00			1,40	2,11	3,99	1,12	0,70	1,00
MC s/ MV	0,60	0,40			1,12	1,88	0,57	0,75	
	0,70	0,30			1,92	2,59	0,60	0,75	
	0,70	0,30			2,71	3,29	0,81	0,75	
	0,70	0,30			3,51	4,00	1,03	0,75	
MC c/ MV	0,75	0,25			1,12	1,88	0,46	0,85	0,80
	0,75	0,25			1,92	2,59	0,56	0,85	0,80
	0,75	0,25			2,71	3,29	0,80	0,85	0,80
	0,75	0,25			3,51	4,00	1,03	0,85	0,80
CCA s/ MV	0,50		0,50		1,12	1,88	0,50	0,80	
	0,50		0,50		1,92	2,59	0,58	0,80	
	0,50		0,50		2,71	3,29	0,71	0,80	
	0,50		0,50		3,51	4,00	1,19	0,80	
CCA c/ MV	0,65		0,35		1,12	1,88	0,42	0,85	0,90
	0,65		0,35		1,92	2,59	0,47	0,85	0,90
	0,65		0,35		2,71	3,29	0,82	0,85	0,90
	0,65		0,35		3,51	4,00	0,84	0,85	0,90

Tabela 2: consumo dos materiais (kg/m³) dos CAA do trabalho experimental

CAA	agl	C	MC	CCA	FC	AR	BR	Água	SP	MV
FC s/ MV	517,82	517,82			284,80	295,16	973,50	253,73	3,37	
	361,05	361,05			379,10	312,31	933,31	281,62	2,35	
	298,16	298,16			402,52	405,50	980,95	241,51	1,94	
	243,41	243,41			401,63	451,53	972,42	245,84	1,58	
FC c/ MV	539,80	539,80			269,90	334,68	1014,82	221,32	3,78	4,86
	386,08	386,08			270,26	471,02	996,09	227,79	2,70	3,86
	299,90	299,90			299,90	512,83	986,67	233,92	1,95	3,00
	236,62	236,62			331,27	499,27	944,11	265,01	1,77	2,13
MC s/ MV	486,21	291,73	194,48			544,56	914,07	277,14	3,65	
	378,38	264,87	113,51			724,60	978,11	227,03	2,84	
	292,71	204,90	87,81			793,24	963,02	237,10	2,20	
	238,10	166,67	71,43			834,54	951,21	245,24	1,79	
MC c/ MV	516,59	387,44	129,15			578,58	971,19	237,63	4,39	4,13
	384,74	288,56	96,19			736,78	994,55	215,45	3,27	3,08
	293,88	220,41	73,47			796,41	966,87	235,10	2,50	2,35
	238,30	178,73	59,58			835,24	952,01	245,45	2,03	1,91
CCA s/ MV	488,99	244,50		244,50		547,67	919,30	244,50	3,91	
	371,97	185,99		185,99		712,32	961,54	215,74	2,98	
	295,70	147,85		147,85		801,35	972,85	209,95	2,37	
	225,95	112,97		112,97		791,95	902,67	268,88	1,81	
CCA c/ MV	515,79	335,27		180,53		577,69	969,69	216,63	4,38	4,64
	391,84	254,70		137,14		750,37	1012,91	184,16	3,33	3,53
	288,53	187,55		100,99		781,92	949,27	236,60	2,45	2,60
	246,97	160,53		86,44		865,63	986,65	207,45	2,10	2,22

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a NBR 5739/94 (1994) e os ensaios de penetração de íons cloretos, baseado na carga passante, seguiram as prescrições da norma ASTM C 1202 (1997).

As figuras de 1 a 6 ilustram o diagrama de dosagem para cada um dos concretos. Estes diagramas relacionam a resistência à compressão, a relação água/aglomerante, o traço 1:m em massa e o consumo de aglomerantes por metro cúbico, para uma determinada trabalhabilidade. Através destas figuras, observa-se a vantagem proporcionada pelo AMV, já que os CAA com este aditivo tiveram reduções significativas da relação a/agl, para os mesmos traços 1:m. Isto significa que, para alcançar uma determinada faixa de resistência, pode-se utilizar traços mais pobres com AMV, podendo, assim, compensar o custo do aditivo. As figuras 1 a 6 mostram, também, que foram alcançadas resistências à compressão mais elevadas nos CAA com o AMV, se comparado aos CAA sem AMV.

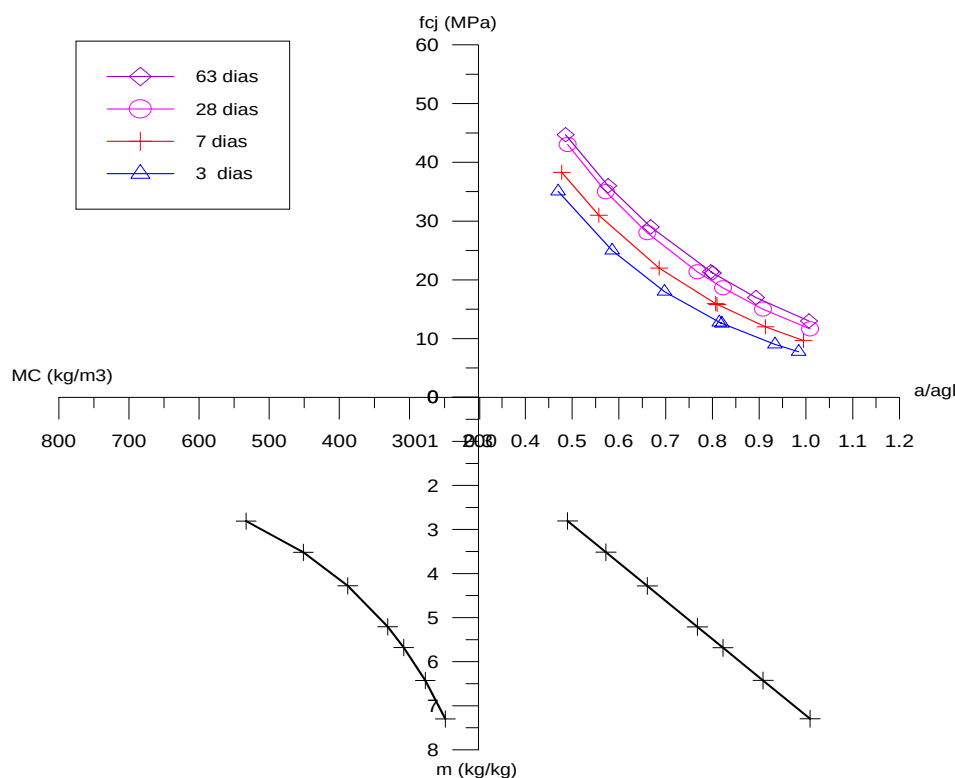


Figura 1: curva de dosagem para o CAA com fíler calcáreo sem MV

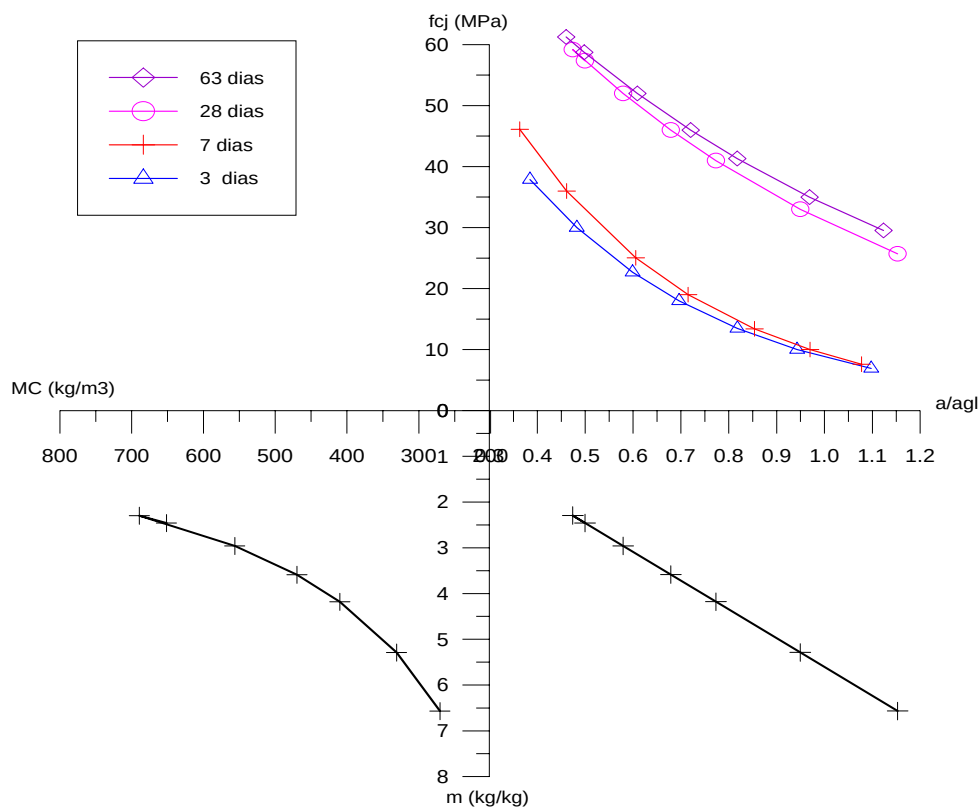


Figura 2: curva de dosagem para o CAA com fíler calcáreo com MV

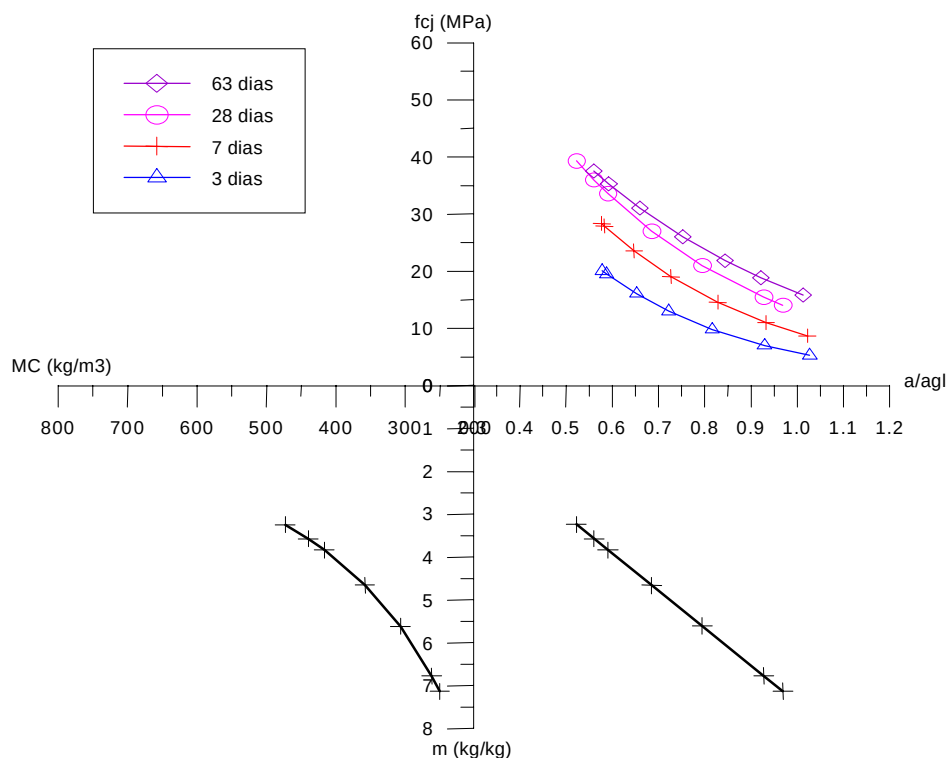


Figura 3: curva de dosagem para o CAA com metacaulim sem MV

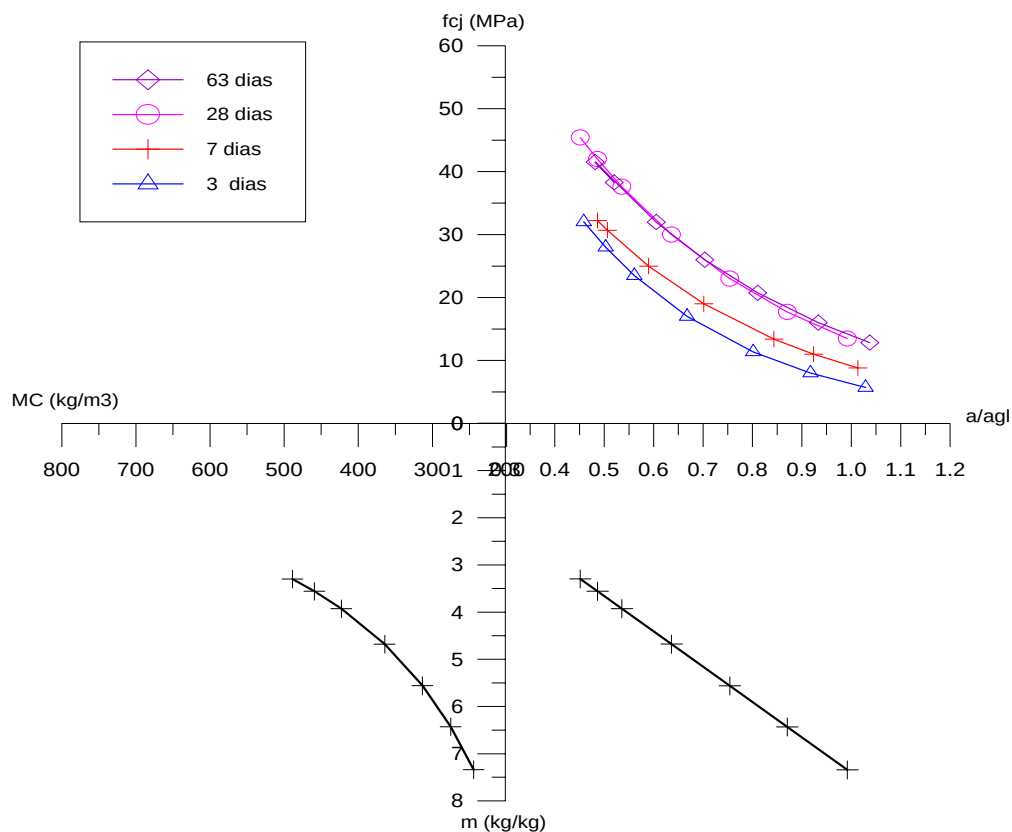


Figura 4: curva de dosagem para o CAA com metacaulim com MV

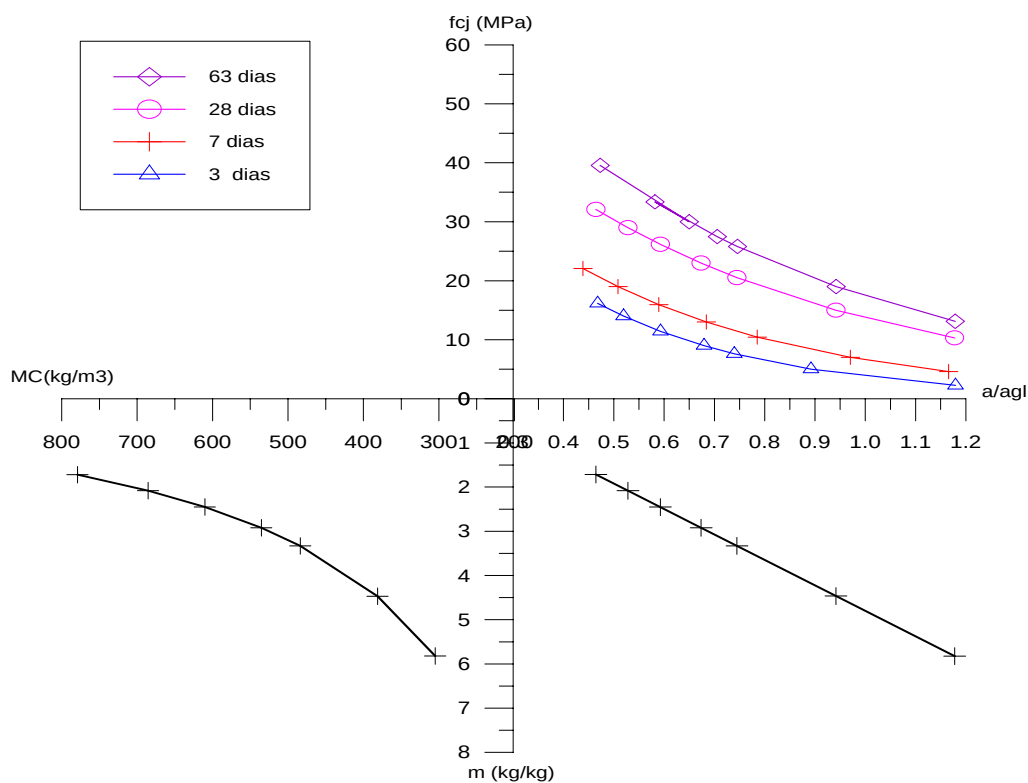


Figura 5: curva de dosagem para o CAA com cinza de casca de arroz sem MV

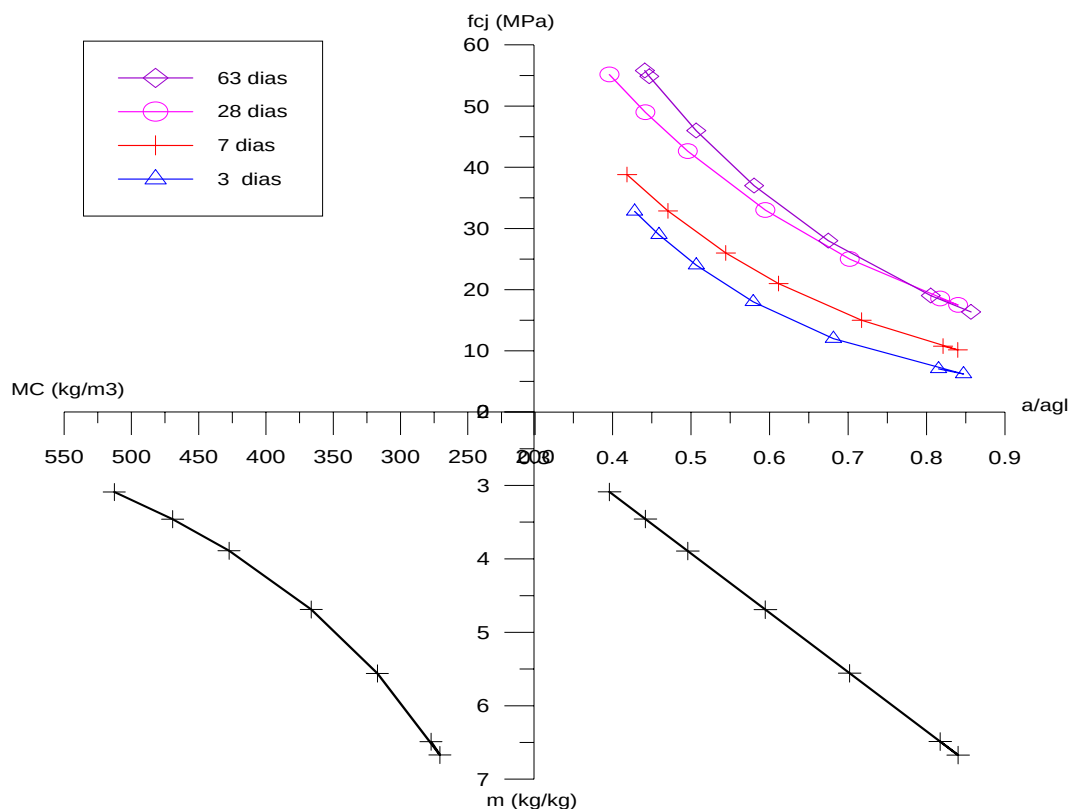


Figura 6: curva de dosagem para o CAA com cinza de casca de arroz com MV

Para a comparação do custo, foram fixadas o valor de 30 MPa para a resistência à compressão aos 28 e aos 63 dias. A partir desta faixa, foram calculados os outros parâmetros do traço, para que, por fim, se determinasse o custo de cada um dos CAA. Observa-se, na figura 7, que os valores dos CAA com metacaulim e cinza de casca de arroz, com e sem AMV, foram similares, para 30 MPa aos 28 dias. Ou seja, o aumento do custo do aditivo foi compensado pela diminuição do custo dos aglomerantes, pois pode-se utilizar traços mais pobres com a presença do AMV, como já explicado. O CAA com fíler calcáreo com AMV apresentou um custo 35% inferior ao sem MV. Já aos 63 dias, como se pode observar na figura 8, o custo dos CAA com AMV para 30 MPa ficou 8% mais caro para o metacaulim e 15% mais caro para a cinza de casca de arroz. Este fato ocorreu devido ao ganho de resistência que os CAA sem AMV tiveram dos 28 aos 63, o que não se repetiu com os CAA com AMV, provavelmente porque estes tiveram relações a/agl menores, que faz com que as resistências sejam

alcançadas mais rapidamente. E, novamente, o CAA com fíler calcáreo, com AMV, ficou mais econômico que o CAA com fíler calcáreo, sem AMV, em 42%.

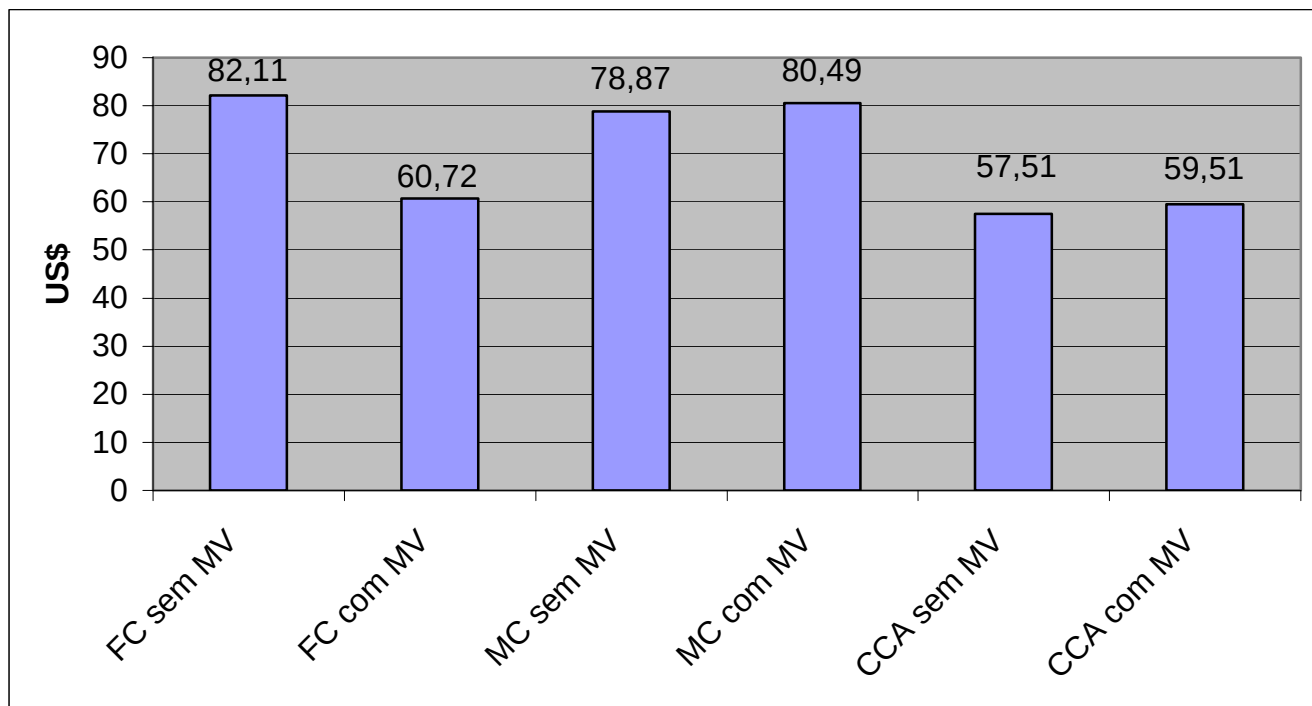


Figura 7: custo dos concretos de $f_c=30$ MPa aos 28 dias

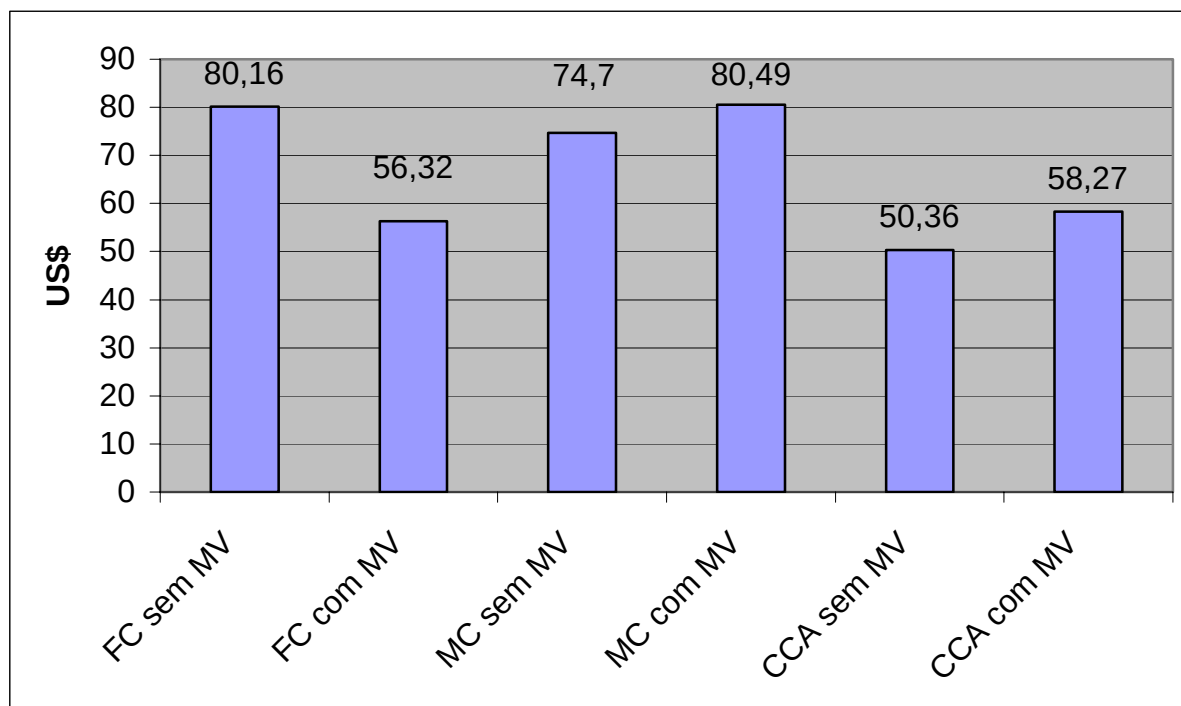


Figura 8: custo dos concretos de $f_c=30$ MPa aos 63 dias

Foi também comparado o consumo de cimento dos CAA com e sem AMV, fixando a resistência à compressão em 30 MPa aos 3, 7, 28 e 63 dias. Observa-se, na figura 9, que o CAA com fíler calcáreo tinha o consumo de cimento em cerca de 11% inferior ao CAA com fíler calcáreo sem AMV, aos 3 e 7 dias. Porém, aos 28 e 63 dias, esta diferença saltou para cerca de 70%, devido ao aumento de resistência de 7 para 28 dias. A diferença de consumo de cimento entre os CAA com metacaulim sem e com AMV foi de 12% superior para o primeiro, aos 3 dias, praticamente iguais aos 7 e 28 dias, e, aos 63 dias, houve uma inversão: o CAA com metacaulim, com AMV, consumiu 8% mais de cimento que o sem AMV. Já o consumo de cimento dos CAA com cinza de casca de arroz sem e com AMV foram bastante alternados. Aos 3 dias, o CAA sem AMV tinha um consumo de cimento 9% superior ao com AMV, valor que baixou para 6%, aos 7 dias. Já aos 28 dias, o CAA com AMV é que estava consumindo 6% mais que o CAA sem AMV. Aos 63 dias, este valor subiu para 18%. Convém ressaltar

que o consumo de cimento, responsável direto por manifestações patológicas, foi consideravelmente baixo para os CAA com adições pozolânicas, cerca de 260 e 200 kg/m^3 para o metacaulim e cinza de casca de arroz, respectivamente, para se fazer um concreto de 30 MPa aos 63 dias, por exemplo. Este ganho é de difícil mensuração, mas de fácil percepção por profissionais com visão global do sistema.

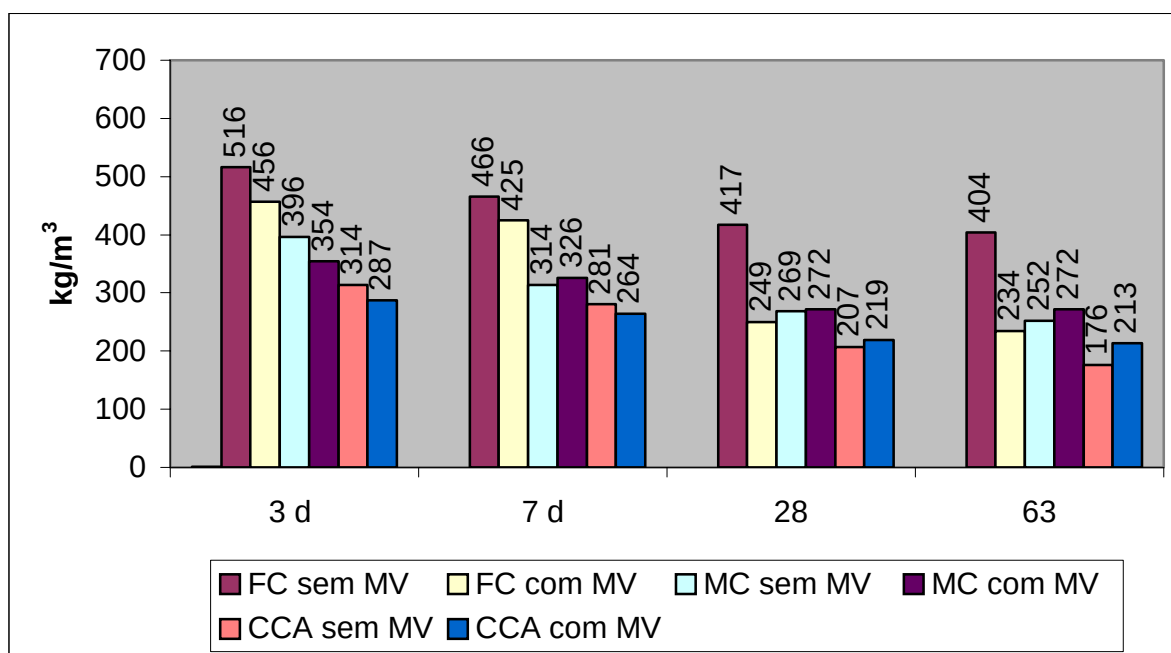


Figura 9: consumo de cimento (kg/m^3) dos concretos com $f_c=30$ MPa, variando as idades de ruptura

As figuras 10, 11 e 12 mostram as curvas de penetração de cloretos pelo traço 1:m, comparativas, de cada um dos tipos de CAA, fíler calcáreo, metacaulim e cinza de casca de arroz. Todas mostram que os CAA com AMV apresentaram desempenho melhor que os CAA sem AMV, pois para um determinado traço 1:m, a relação a/agl fica menor para o CAA com AMV, devido à redução da quantidade de finos.

A figura 13 ilustra uma comparação com todos os CAA, e observa-se que, os CAA com adições pozolânicas, metacaulim e cinza de casca de arroz apresentaram valores de penetração

de cloretos muito inferiores aos CAA com fíler calcáreo, que é um agregado. Este fato ocorreu, provavelmente, pois as adições agem física e quimicamente, fechando a estrutura do concreto e reagindo com elementos prejudiciais à durabilidade da mistura.

De acordo com a norma ASTM C 1202 (1997), a penetração de cloretos é considerada alta se for maior que 4000 C, moderada se for entre 2000 e 4000 C, baixa se for entre 1000 e 2000 C, muito baixa se for entre 100 e 1000 C e desprezível se for menor que 100 C. Analisando os valores encontrados, percebe-se que os CAA com fíler calcáreo sem AMV tiveram uma alta penetração de cloretos, enquanto os CAA com AMV tiveram moderada e baixa penetração de cloretos. E os CAA com metacaulim e cinza de casca de arroz tiveram uma penetração de cloretos muito baixa.

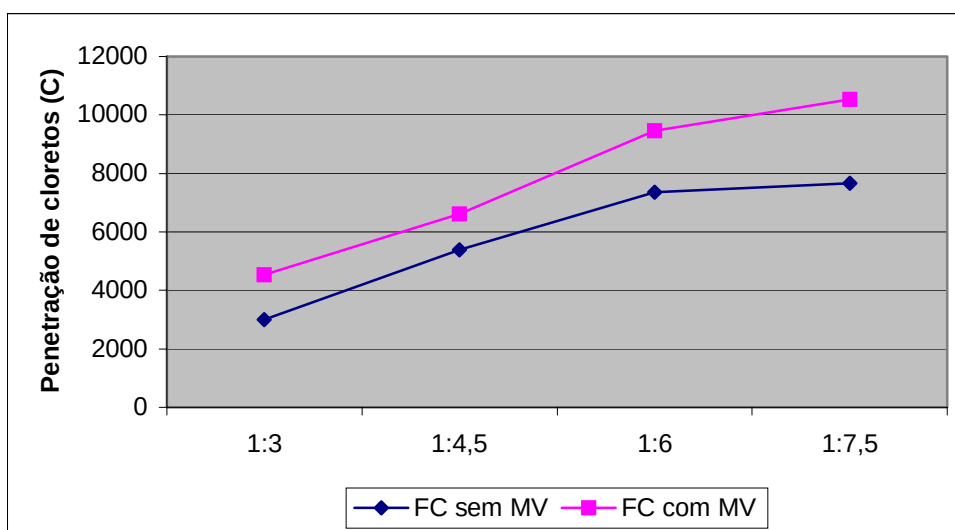


Figura 10: penetração de cloretos nos CAA com fíler calcáreo

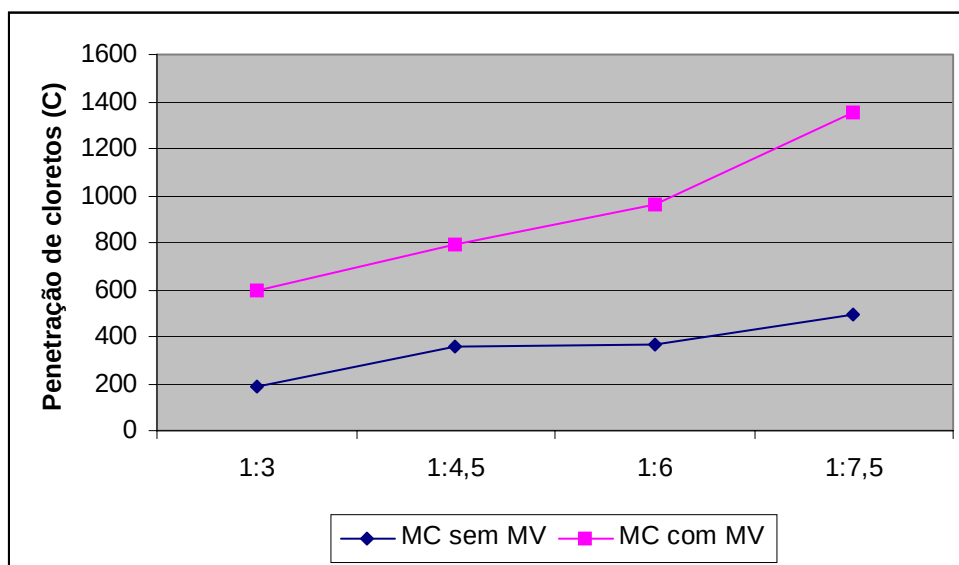


Figura 11: penetração de cloretos nos CAA com metacaulim

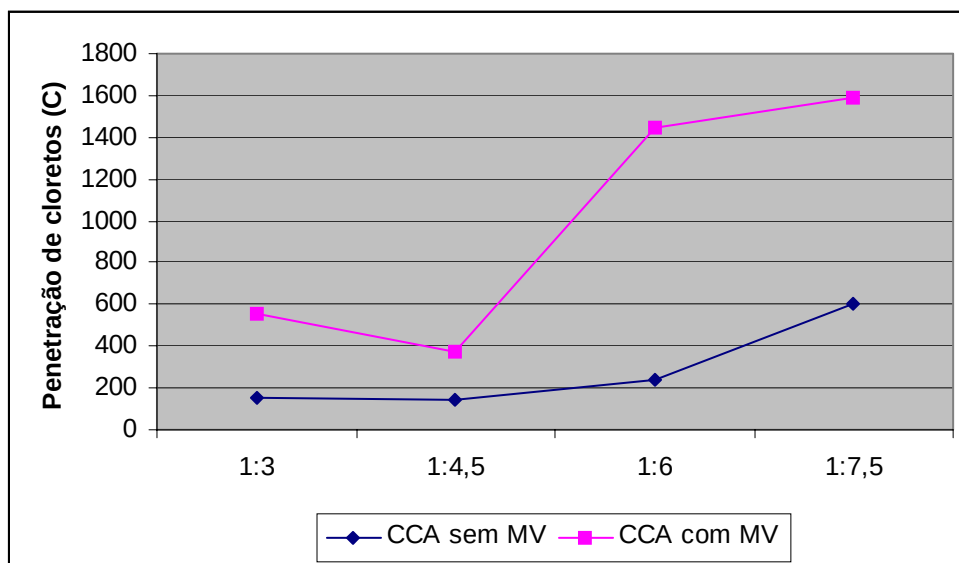


Figura 12: penetração de cloretos nos CAA com cinza de casca de arroz

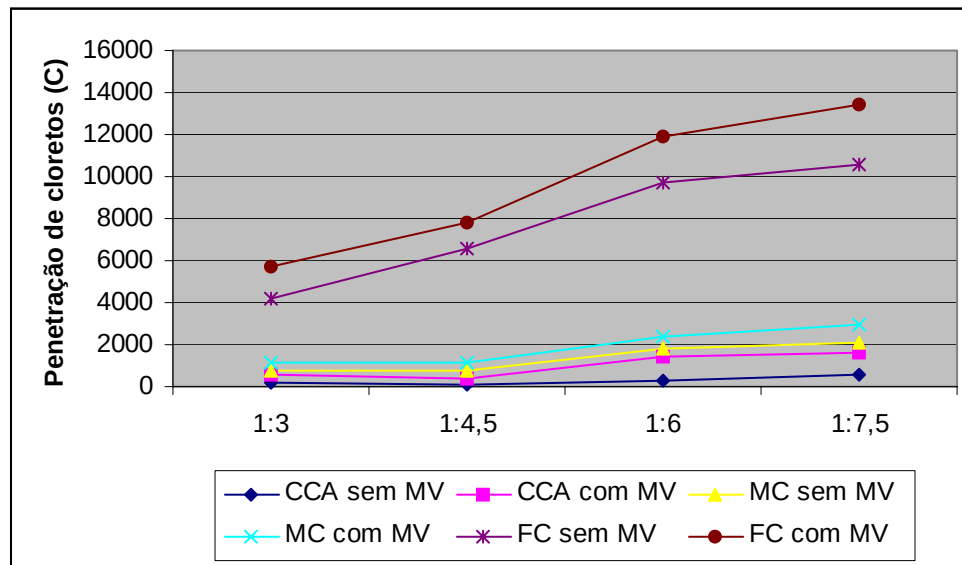


Figura 13: penetração de cloretos nos CAA

2 CONCRETO COM CIMENTO PORTLAND BRANCO ESTRUTURAL

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O cimento Portland branco é um tipo de cimento que se diferencia dos demais pela coloração. A cor branca é conseguida a partir da utilização de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês e pela aplicação de condições especiais durante a fabricação, especialmente com relação ao resfriamento e à moagem do produto (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997). É um produto relativamente novo no mercado nacional mas já é bastante utilizado em alguns países da América do Sul, nos Estados Unidos e principalmente na Europa. Contudo, assuntos relacionados ao seu estudo se caracterizam por serem inovadores, pois há deficiência de pesquisas nesta área.

No Brasil, o cimento Portland branco é regulamentado pela Norma NBR 12989, sendo classificado em dois subtipos: cimento Portland branco estrutural e cimento Portland branco não estrutural. O cimento Portland branco estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, possuindo as classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos demais tipos de cimento. Já o cimento Portland branco não estrutural não tem indicações de classe e é destinado principalmente ao rejuntamento de peças cerâmicas, pedras naturais e pastilhas, apresentando como diferencial o fato de ser mais fácil de ser aplicado e espalhado do que os cimentos brancos comuns. Isto é, utilizado em aplicações não estruturais, sendo esse aspecto ressaltado na sacaria para evitar uso indevido por parte do consumidor (ABCP, 2002).

As possibilidades de uso deste material em concreto estrutural para fins arquitetônicos, obras civis de grande porte, produtos pré-moldados, entre outros, são irrefutavelmente extraordinárias, abrindo um grande caminho para novas pesquisas. Este produto, além de proporcionar um diferencial frente a sua beleza no projeto arquitetônico, possui vantagens frente à refletância da radiação solar. Porém, o concreto com cimento Portland branco é um material cujas potencialidades, em termos de aparência estética e capacidade estrutural, somente são atingidos quando se opta por uma adequada prescrição e controle de etapas fundamentais nas diferentes fases do processo, que se entendem da concepção à execução (NERO e NUNES, 2000).

Apesar dos estudos realizados em número bastante significativo relacionados a concretos com cimento convencional, há poucas pesquisas relacionadas ao uso de cimento Portland branco, existindo lacunas referentes às propriedades dos concretos brancos e sua durabilidade. Não conhecendo o

comportamento das construções no meio onde elas estão inseridas, não há como se prever a manutenção, tornando o custo destas construções um tanto elevado. Sendo assim, esta deficiência referente ao conhecimento destas propriedades pode vir a aumentar as possibilidades de deterioração de concretos moldado com cimento Portland branco estrutural.

Desta forma, constitui-se fundamental o desenvolvimento de pesquisas com caráter esclarecedor das propriedades do concreto com cimento Portland branco, juntamente com possíveis métodos construtivos diferenciados e materiais apropriados. Dentro deste contexto, desenvolveu-se este trabalho que visa contribuir para o conhecimento do desempenho de concretos com cimento Portland branco através da comparação do seu comportamento com relação ao dos concretos de cimento Portland cinza frente aos fenômenos da carbonatação e sua resistência mecânica.

2.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O experimento principal consistiu na realização de ensaios de durabilidade (carbonatação) e propriedades mecânicas (resistência à compressão).

O método de ensaio de resistência à compressão do concreto seguiu as determinações da norma NBR 5739/1994, e o ensaio de carbonatação foi realizado pelo processo acelerado, com alimentação feita diariamente através de um fluxo do gás proveniente de um cilindro de CO_2 , com a vazão de 10 litros/min, sendo circulado o CO_2 por 24 minutos, totalizando a passagem do gás por 4 vezes, conforme detalhado por KIRCHHEIM (2003). As medidas de carbonatação foram realizadas através de um indicador químico (fenolftaleína) em quatro idades de exposição, sendo que estas idades foram diferentes para cada concreto devido ao seu comportamento. Juntamente com a leitura da profundidade de carbonatação, procedeu-se a análise das áreas carbonatadas (software Image J), pois, por ser concreto, a frente de carbonatação encontrada não era regular, devido aos agregados graúdos.

Para confecção dos corpos-de-prova foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Cimento Portland estrutural branco :
 - CP-B 1 e CP-B 2 - cimentos Portland branco brasileiros;
 - CP-B 3 e CP-B 4 – cimentos Portland branco importados;
- b) Cimento Portland de alta resistência inicial – CP V - ARI;
- c) Areia quartzosa, encontrada no mercado, com graduação média;

- d) Agregado graúdo de origem basáltica, com dimensão máxima característica de 19mm.
- e) Aditivo superplastificante a base de éster policarboxílico modificado.

No gráfico da figura 14 são apresentados os valores de resistência à compressão em função da interação entre os tipos de cimento e a idade.

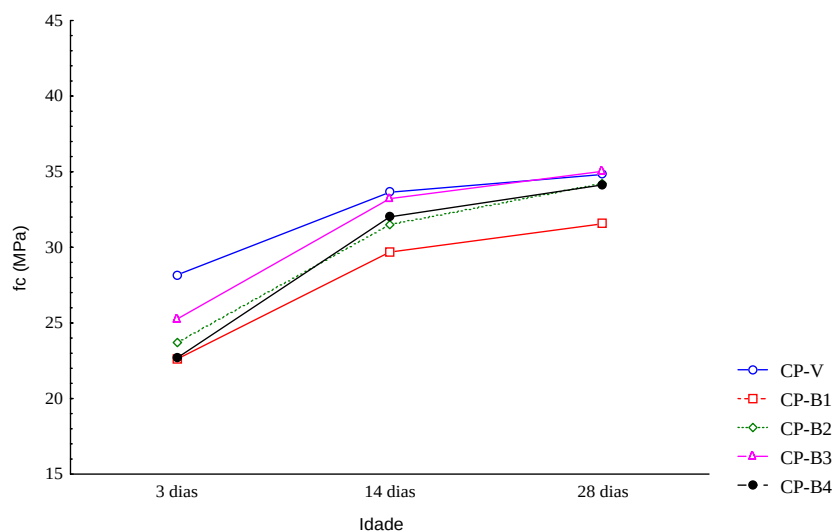


Figura 14: resistência à compressão em função da interação entre o tipo de cimento e a idade

Neste gráfico observa-se a interação significativa entre o tipo de cimento e a idade. Nota-se que a resistência dos cimentos crescem de forma diferenciada com a idade, ou seja, o CP-B4, aos 3 dias, possui apenas 66% da resistência dos 28 dias, enquanto o CP-V possui 81%. Os demais cimentos possuem, aos 3 dias, cerca de 70% da resistência dos 28 dias, crescendo de forma similar dos 3 aos 14 dias. O maior crescimento, de quase 30%, dos 3 aos 14 dias, foi o do CP-B4. Observa-se, também, que todos os cimentos atingiram grandes valores de resistência nos primeiros 14 dias (cerca de 95% da resistência dos 28 dias) e após, o aumento de resistência não é tão significativo. Para as três idades, o concreto moldado com CP-V teve maiores valores de resistência à compressão, sendo cerca de 9% superior, aos 28 dias, que o cimento CP-B1, que atingiu o menor valor de resistência à compressão.

Podem ser visualizados, na figura 15, os valores agrupados dos resultados previstos pelos modelos para resistência à compressão, com o intuito de comparar os tipos de cimento analisados, nas três relações a/c.

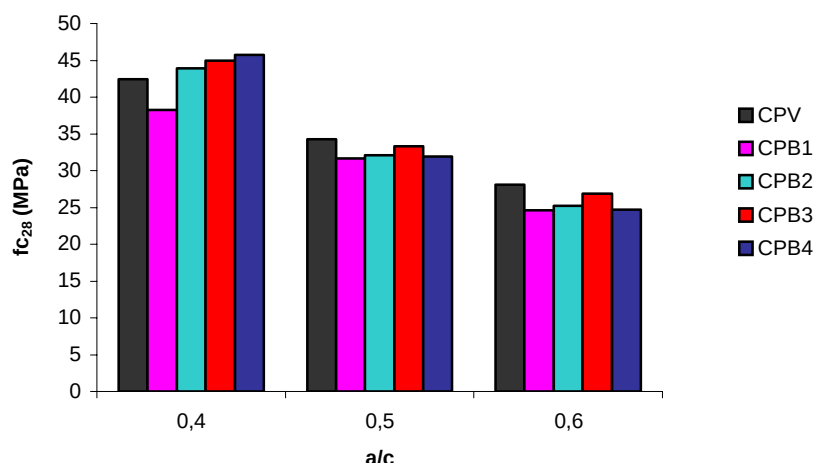


Figura 15: resistência à compressão dos cinco concretos moldados nas três relações a/c

Para resistência à compressão percebe-se que todos os concretos brancos obtiveram valores inferiores, quando comparados ao concreto moldado como referência, exceto os concretos moldados com relação $a/c=0,4$ com cimentos CPB2, CPB3 e CPB4. No entanto, os resultados tiveram uma variação pequena (aproximadamente 10%), podendo-se afirmar que todos os concretos moldados com cimento Portland branco possuíram desempenho similar aos dos concretos moldados como referência.

Estes resultados estão em consonância com os encontrados na pesquisa realizada por Benitez et al (2002), onde foi analisada a resistência à compressão de cimentos Portland branco e cinza (CP-V) de igual categoria, utilizando relação água/cimento de 0,35. Os valores obtidos, para os concretos moldados com cimento branco, aos 3, 7 e 28 dias, foram 20%, 18% e 12% superiores aos dos concretos de CP-V, respectivamente, nestas mesmas idades. Já Katz (2002) encontrou para concretos moldados com cimento Portland branco, valores 70% e 22% superiores, aos 7 e 28 dias, quando comparou com a resistência à compressão dos concretos moldados com cimento cinza.

A figura 16 apresenta as curvas dos modelos previstos da área carbonatada, com todos os concretos analisados, nas relações $a/c=0,5$ e $0,6$ (já que para a $a/c=0,4$ os valores não foram significativos), variando a idade dos mesmos.

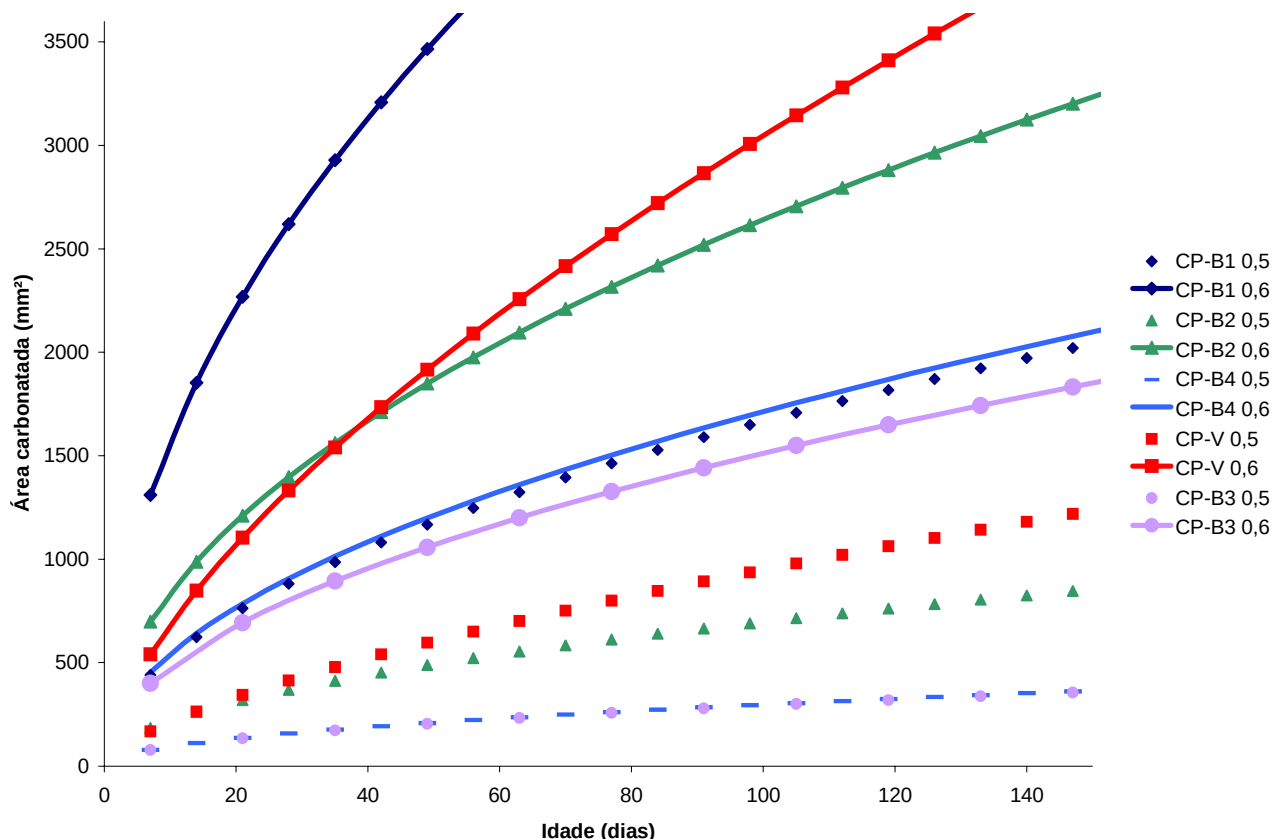


Figura 16: curvas do modelo de área carbonatada para todos os concretos com relações $a/c=0,5$ e $0,6$

Analisando o gráfico da figura 16, percebe-se que o pior desempenho frente ao fenômeno de carbonatação, quando analisadas as áreas carbonatadas, se dá para os concretos moldados com CP-B1, CP-B2 e CP-V na relação $a/c=0,6$. Os concretos moldados com CP-B4 na relação $a/c=0,6$ tiveram desempenho similar aos moldados com CP-B1 na relação $a/c=0,5$. Já o melhor desempenho para relação $a/c=0,6$ foi para os concretos moldados com CP-B3, que obteve desempenho superior aos moldados com CP-B1 ($a/c=0,5$), o que comprova que para este fenômeno, além da relação a/c , o tipo de cimento tem influência.

Já na relação $a/c=0,5$, os concretos moldados com CP-B3 e CP-B4 obtiveram desempenho similar e superior aos demais concretos. Na sequência, os concretos moldados com CP-B2 e CP-V obtiveram desempenho intermediário.

Os resultados comparativos para área carbonatada, com os valores previstos, para as três relações a/c podem ser visualizados na figura 17.

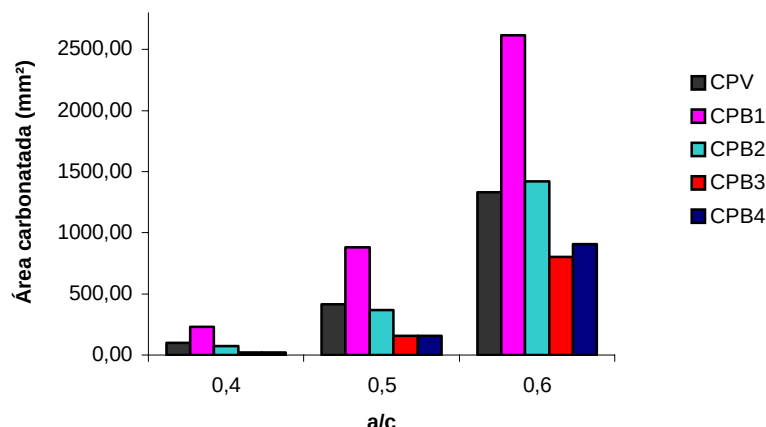


Figura 17: área carbonatada dos cinco concretos moldados, após 28 dias de ensaio acelerado

Analisando quimicamente os cimentos, notou-se uma tendência da carbonatação semelhante em relação às proporções de resíduo insolúvel e anidrido carbônico (CO_2), que pode contribuir no entendimento do fenômeno. A determinação do resíduo insolúvel (RI) permite detectar o grau de combinações entre os diferentes componentes das matérias-primas, que podem ser adições de substâncias inertes, tais como calcário e argila, sendo que estas, em quantidades desapropriadas, influem de forma negativa nas propriedades do cimento. Por exemplo, observando apenas os cimentos brancos, o CPB3 (melhor desempenho) possui valor para resíduo insolúvel e anidrido carbônico inferior aos demais cimentos ($\text{RI}=0,35$ e $\text{CO}_2=0,33$). Já o CPB1 (pior desempenho) possui valores mais elevados ($\text{RI}=1,8$ e $\text{CO}_2=8,61$). Os valores dos demais crescem na mesma sequência de resultados para os concretos analisados frente ao fenômeno de carbonatação, como pode-se visualizar na figura 18. Com isso pode-se inferir que, na carbonatação de concretos moldados com cimento Portland branco estrutural, os componentes químicos do cimento possuem grande influência.

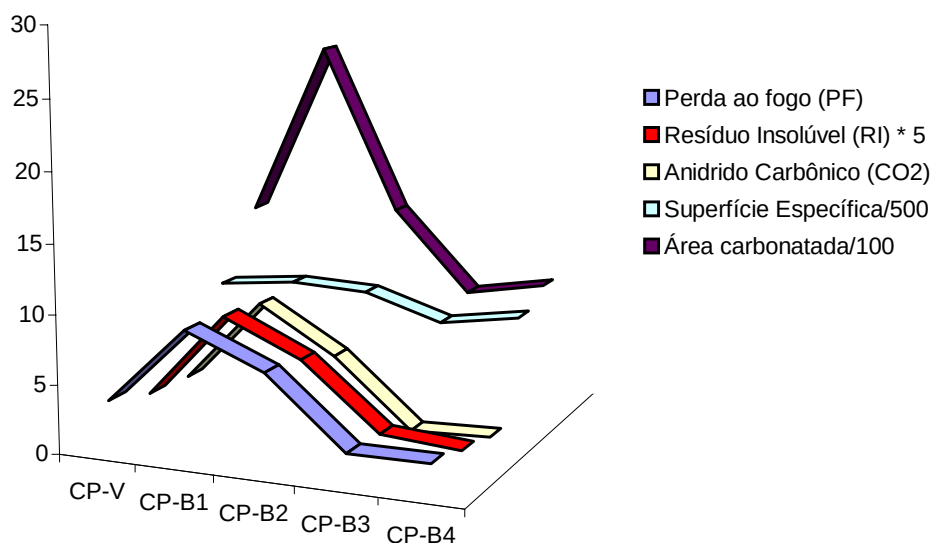


Figura 18: resultados obtidos na caracterização de cada tipo de cimento comparados à área carbonatada

Da mesma forma, os valores encontrados para superfície específica (blaine) seguem a mesma tendência que os resultados encontrados no ensaio de carbonatação. O CPB1 teve maior superfície específica (4500 cm²/g), e na sequência o CPB2, CPB4 e o cimento que obteve menor superfície específica foi o CPB3 (3490 cm²/g).

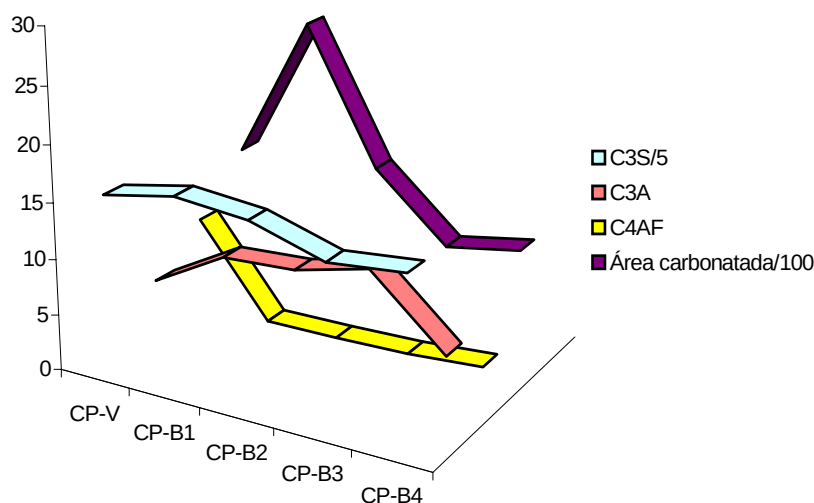
Venquierutto et al (2002), ao analisar a profundidade de carbonatação de traços com diferentes percentuais de adições minerais, encontraram profundidades mais significativas em concretos com adições de maior finura. No entanto, explicam o fenômeno em função da maior reatividade da adição mais fina, esta se combinando mais rapidamente com o Ca (OH)₂ da mistura. Para tanto, os autores afirmam que a finura, a natureza e a dosagem de cimento ou adições minerais, a relação a/c ou a/ag, a porosidade, a permeabilidade, a duração e as condições de cura e a resistência à compressão axial são algumas das principais variáveis que influenciam na carbonatação.

Outra tendência observada foi com relação à perda ao fogo (PF). A determinação da PF do cimento visa verificar a boa cozedura e o grau de envelhecimento natural do cimento (fixação por parte dos componentes anidros mais instáveis, do vapor de água existente no ar, provocando reações incipientes de hidratação, provocando a redução da sua resistência mecânica). A carbonatação dos concretos com cimentos brancos seguiram a mesma tendência que seguiu a PF, ou seja, quanto maior a PF, maior a carbonatação. Os valores para cada cimento são de: CPB1-PF=9,37; CPB2-PF=7,01; CPB4-PF=2,16; CPB3-PF=2,09. No entanto, todos os valores se encontram dentro do limite máximo que a NBR 12989 delimita.

Quando a carbonatação é comparada às porcentagens de compostos químicos do cimento, o único composto que parece ter alguma correlação direta, em função de suas quantidades e proporções entre cimentos, é o C_3S , conforme pode ser visualizado no gráfico da figura 19. No entanto, a comparação não parece ser significativo, já que estes compostos químicos podem reagir conjuntamente ou não.

Figura 5.19: compostos químicos de cada tipo de cimento comparados à área carbonatada

Nos raros trabalhos que abordam carbonatação de concretos com cimento Portland branco (KATZ,



2002; CARVALHO e CALAVEIRA, 2002), foi constatado que os concretos brancos tiveram desempenho superior aos cinzas, mas, em virtude da falta de análise química dos cimentos utilizados nestas pesquisas, não é possível fazer uma análise comparativa mais aprofundada.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostra características favoráveis de dois concretos especiais: concreto auto adensável e concreto com cimento Portland branco estrutural.

Com relação ao concreto auto adensável pode-se verificar que o AMV pouco influi no consumo de cimento, porém aumenta as resistências à compressão e diminui a penetração de íons cloretos, devido à redução da relação a/agl. Constatou-se, também, que o aumento de custo provocado pelo aditivo pode ser compensado pela possibilidade de utilização de traços mais pobres com os mesmos resultados finais. Para o concreto com **cimento Portland branco** constatou-se que, para todos os concretos, os valores observados de carbonatação, para a relação a/c 0,4, foram nulos. Para as relações a/c mais elevadas, o desempenho dos cimentos Portland brancos foram intermediários com relação ao cimento Portland cinza, dependendo principalmente das características físicas e químicas dos cimentos e não de sua cor. Quanto à resistência mecânica, os cimentos brancos foram similares ao cinza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROISE, J.; ROLS, S.; PÉRA, J. *Production and testing of self-leveling concrete*. In: **High Performance Concrete**. CD-ROM, p. 555-565, Gramado, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C 1202. Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration**. 1997

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Perguntas mais frequentes. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/faq.htm#resp6> Acesso em: 02 jan. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12989 – Cimento Portland branco**. Rio de Janeiro, 1993.

BENITEZ, A.; BALZAMO, H.; MIGOYA, E. Estudio de hormigones convencionales elaborados com cemento gris y cemento blanco utilizando un aditivo de doble efecto. In: 4º Jornadas de desarrollo e innovación, noviembre, 2002. Disponível em: <http://www.inti.gov.ar/cgi-bin/htsearch> capturado em: janeiro, 2003.

BERNABEU. *Productivity and economy*. In: **Brite EuRam Program: Rational production and improved working environment through using self compacting concrete**. Task 8.6, p.1-30, 2000.

CARVALHO, F. C.; CALAVERA, J. Estabilidade colorimétrica e influência da incorporação de pigmentos em concretos submetidos a diferentes estados de exposição ambiental. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 44º, Belo Horizonte, 2002. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2002 (CD-ROM).

COLLEPARDI, M. *Avery close precursor of self-compacting concrete (SCC)*. In: **Supplementary volume of the Proceedings of Three-day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development and Concrete Technology**, Setembro 16-19, 2001.

GOMES, P.C.C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L.; TENÓRIO, J.J.L. Concreto auto-adensável um aliado ao desenvolvimento sustentável do concreto. In: **45º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, CD-ROM, Vitória, 2003.

GRAUERS, M (coordinator). In: **Brite EuRam Program: Rational production and improved working environments through using self compacting concrete**. 9 Tasks, 1998.

KATZ, A. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. **Cement and Concrete Research**. n. 2236, p. 1-9, 2002.

LACHEMI, M.; HOSSAIN, K.M.A.; LAMBROS, V.; NKinAMUBANZI, P.C.; BOUZOUBAË, N. Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste. In: **Cement and Concrete Research**, 2453, 2003.

NERO, J. M. G.; NUNES, A. Fundamentos para a Prescrição e Utilização do Betão Branco. **SECIL**, Portugal, 2000.

OKAMURA, H. *Self-compacting High-performance concrete*. In: **Concrete International**, v.19, n.7, p. 50-54, Julho 1997.

PETERSSEN, Ö. Workability. In: Brite EuRam Program: Rational production and improved working environments through using self compacting concrete. Task 2, p.1-56, 1999.

SAKATA, N.; YANAI, S.; YOKOZEKI, K.; MARUYAMA, K. Study on new viscosity agent for combination use type of self-compacting concrete. In: **Journal of Advanced Concrete Technology**, Vol. 1, n. 1, p. 37-41, 2003.

TROLI, R.; OLAGOT, J.J.O.; MONOSI, S.; COLLEPARDI, M. Low heat development in self-compacting concretes for massive structure. In: **Proceedings of 7th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete**, p.103-112, Outubro 20-24, 2003.

TUTIKIAN, B.F. **Metodologia para dosagem de concretos auto-adensáveis**. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

VENQUIARUTO, S. D; ISAIA, G. C. GASTALDINI, A. L. G. A influência do teor e da quantidade de adições minerais na carbonatação do concreto. In: Congresso Brasileiro do Cimento, 43º, Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2001 (CD-ROM).