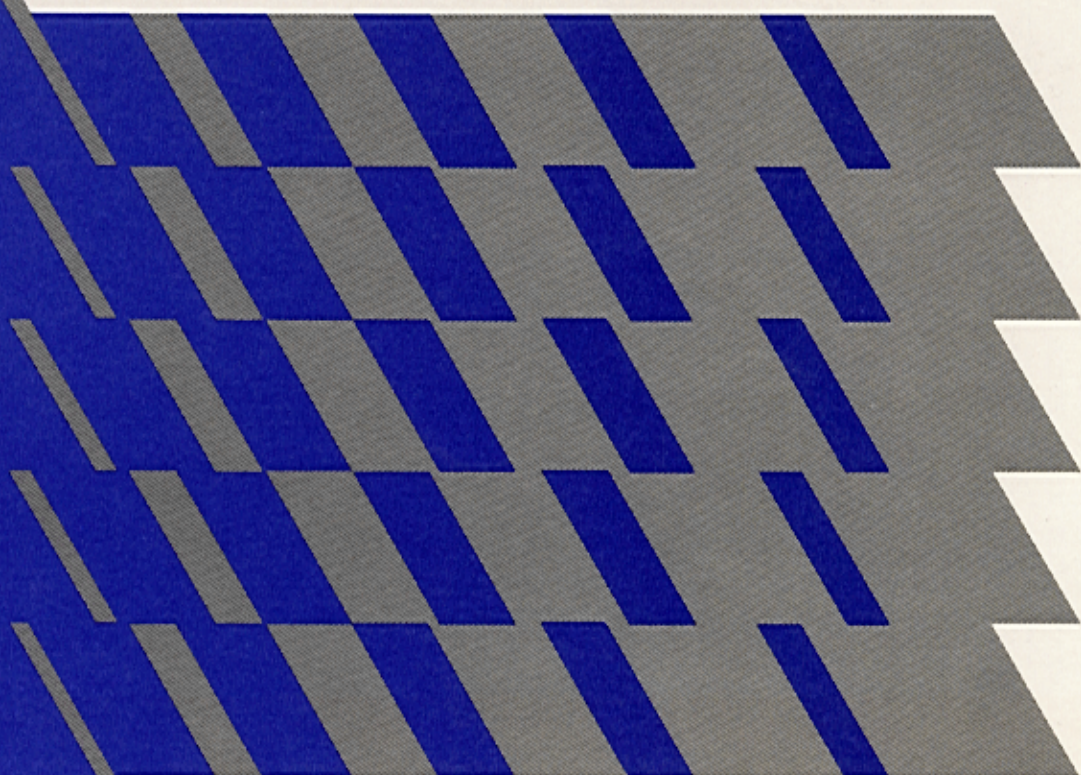




**Comitê Brasileiro de
Grandes Barragens**



**XXII
SEMINÁRIO
NACIONAL
DE
GRANDES
BARRAGENS**

**ANAIS
VOLUME II**

**SÃO PAULO
ABRIL DE 1997**

**Uso de Finos de Britagem em Concretos
Convencionais e Compactado a Rolo e Como
Redutores da Expansão Devido à Reação
Álcalis- Agregados**

CESP
Companhia
Energética de
São Paulo

USO DE FINOS DE BRITAGEM EM CONCRETOS CONVENCIONAIS E COMPACTADOS A ROLO E COMO REDUTORES DA EXPANSÃO DEVIDO À REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

Paulo José Ribeiro de Oliveira

Companhia Energética de São Paulo (CESP)

Lab. Central de Engenharia Civil - CEP 15385-000 - Ilha Solteira - SP

Tel: (018) 762 2171

Flávio Moreira Salles

Companhia Energética de São Paulo (CESP)

Lab. Central de Engenharia Civil - CEP 15385-000 - Ilha Solteira - SP

Tel: (018) 762 2020 Ramal 114

Francisco Rodrigues Andriolo

Andriolo Engenharia S/C Ltda

Rua Cristalândia, 181 - CEP 05465-000 - Alto de Pinheiros - São Paulo - SP

Telefax (011) 260 5613

RESUMO

São mostrados resultados de estudos feitos com a utilização de finos de britagem em concretos e argamassas. Esses estudos, desenvolvidos no Laboratório Central de Engenharia Civil da CESP em Ilha Solteira, mostraram as vantagens do uso desse material no combate à reação álcali-agregado e na melhoria de concretos convencionais e compactados a rolo, concluindo-se pela não necessidade de lavagem de agregados nas centrais de britagem, o que poderá resultar em economia relevante.

INTRODUÇÃO

A areia artificial tem sido utilizada sistematicamente em composição com a areia natural na correção do módulo de finura, ou em sua substituição, quando não se dispõe de jazidas de areia próximas à obra. O material fino, inferior à abertura da malha 200 (0,075 mm), tem sido considerado impróprio para uso nos concretos convencionais, sendo estabelecidos limites máximos a sua presença, nas especificações. No entanto, no concreto compactado a rolo (CCR), o uso desse material tem mostrado benefícios, como o aumento da resistência e a redução da permeabilidade. Diante disso, o Laboratório Central de Engenharia Civil (LCEC) da Companhia Energética de São Paulo (CESP), em Ilha Solteira, desenvolveu estudos para verificar a influência dos finos provenientes da britagem de materiais rochosos em concretos convencionais e compactados a rolo e também para avaliar a atividade pozzolânica desses finos e

sua atuação quanto à reação álcali-agregado.

Este trabalho objetiva mostrar que não há necessidade de lavagem dos agregados após a britagem de material são, uma vez que, além dos aspectos econômicos, há os benefícios técnicos desses finos aos concretos convencionais e CCR, tais como a redução dos efeitos expansivos da reação álcali-agregado.

CONCEITO

As areias artificiais oriundas da britagem de rocha podem ser obtidas em britadores tipo “impactor”, que produzem grãos arredondados e um teor de finos da ordem de 12% a 16%, ou em rebritadores para finos tipo “Hydrofine” ou “Very Fine Crusher”, que produzem areias com teor de finos da ordem de 8% a 14%. Esse material, quando obtido de rocha sã, não contém fração argilosa, não apresentando características coesivas. No entanto, tem sido requerida sistematicamente nas especificações técnicas a lavagem dos agregados para eliminação dos finos de britagem.

MATERIAIS

Agregados

Areia artificial: produzida a partir da britagem de basalto, classificada em laboratório em faixas granulométricas determinadas, e acrescida de finos produzidos por rebritagem. Agregados graúdos também obtidos pela britagem de basalto.

Aglomerantes

- cimento Portland comum com adição, tipo CP-II-F
- cimento Portland comum com alto teor de álcalis - CP-II-E
- cimento Portland comum sem adições - CP-I-S
- Fly Ash

PREPARO DOS MATERIAIS

Areia Artificial

A areia artificial foi preparada em laboratório de modo a obedecer às faixas granulométricas e teores por faixas, indicadas na Tabela 1. A areia assim composta foi denominada Areia Artificial Padrão (AAP). Em seguida, foram preparadas areias artificiais com teores crescentes de finos, como mostra a Tabela 2.

Tabela 1 - Faixas Granulométricas das Areias

MATERIAL	GRUPO	PENEIRA mm	TEOR %
AREIA ARTIFICIAL	A	4.8 - 2.4	10
	B	2.4 - 1.2	20
	C	1.2 - 0.6	30
	D	0.6 - 0.3	20
	E	0.3 - 0.15	15
	F	0.15 - 0.075	5
	"FILLER G"	< 0.075	VARIÁVEL

Tabela 2 - Teor de Finos das Areias Compostas

AREIA ARTIFICIAL	"FILLER G" %
AAP	0
AAP-2	2
AAP-4	4
AAP-6	6
AAP-8	8
AAP-10	10
AAP-15	15
"FILLER G"	100

Agregados Graúdos

Os agregados graúdos foram obtidos da britagem de basalto, nos diâmetros máximos de Brita 1 (19 mm), Brita 2 (38 mm) e Brita 3 (50 mm).

ENSAIOS

Caracterização dos Materiais

Os cimentos e Fly Ash foram caracterizados como mostrado na Tabela 3. Os agregados miúdos e graúdos foram caracterizados conforme a Figura 1.

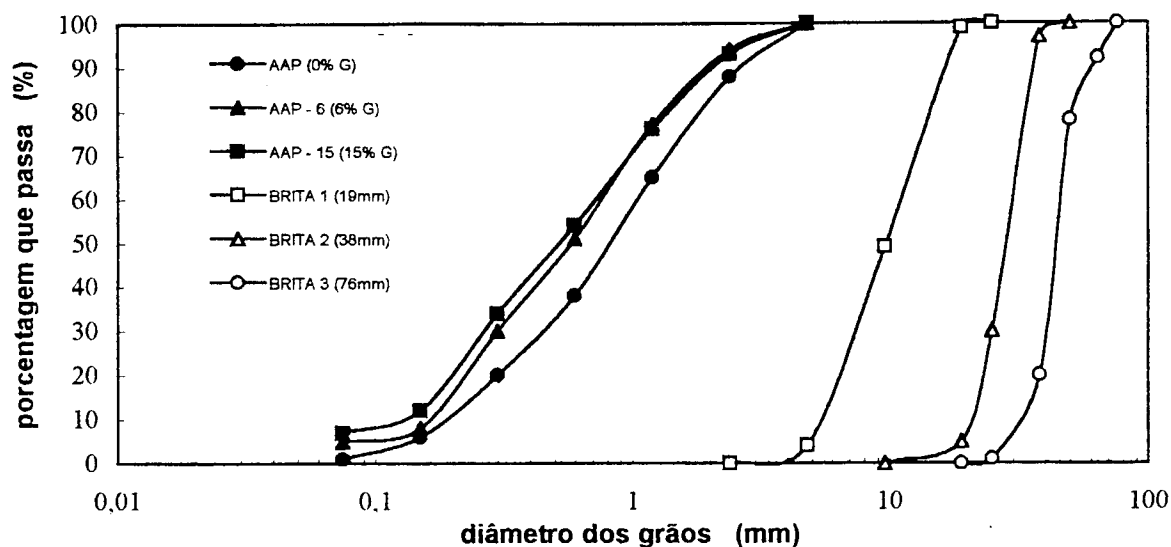


Figura 1 - Caracterização dos Agregados

Os finos ("Filler G") foram ensaiados como se fossem material pozolânico, com as seguintes adaptações:

- reatividade com os álcalis (ASTM-C-441) - além do teor especificado na metodologia (25% em volume), foram ensaiados teores de 37,5% e 50% de "Filler G" em reposição ao cimento;
- atividade pozolânica (ASTM-C-305 e ASTM-C-311) - além do teor especificado na metodologia (35 % em volume) foram ensaiados teores de 30 % e 40 % de "Filler G" em reposição ao cimento;
- atividade com cal (ASTM-C-311) - sem alterações.

Os valores obtidos são mostrados na Tabela 4. Salienta-se que o "Filler G" apresentou uma Finura - Superfície Específica Blaine - entre 1 700 cm²/g e 2 000 cm²/g.

Tabela 4 - Caracterização do “Filler G” e Material Pozolânico

	FILLER G	AAP	FLY
EXPANSÃO DA ARGAMASSA - %	25	0,004	0,002
	37,5	0,002	
	50	0,005	
REDUÇÃO DA EXPANSÃO - %	25	68,3	78,6
	37,5	75,2	
	50	97,9	
ÁGUA REQUERIDA - %	30	104	
	35	104,8	118
	40	108	
ÍNDICE DE ATIVIDADE COM CIMENTO - %	30	55,5	
	35	48,7	52,7
	40	42,5	
IND. DE ATIV. COM CAL - MPa		0,4	3,9

Fixação da Cal - A fixação da cal (hidróxido de cálcio - Ca(OH)_2) é uma forma de se avaliar a pozolanicidade de um material. Admite-se que 100 g de areia sejam capazes de absorver em sua superfície cerca de 30 mg de Ca(OH)_2 em uma solução 1 N, após 28 dias em suspensão.

O ensaio de fixação da cal foi feito colocando-se a amostra (agregado miúdo ou Fly Ash) em contato com uma solução saturada de Ca(OH)_2 (10 g/l), e depois, nas idades de 7, 14, 21, 60 e 90 dias, foi determinado o teor de Ca(OH)_2 fixado em uma alíquota da solução sobrenadante. Uma alíquota “branca” (padrão) foi usada como referência. As avaliações foram feitas para as areias indicadas na Tabela 2 e para o Fly Ash, e os valores de fixação estão mostrados na Figura 2.

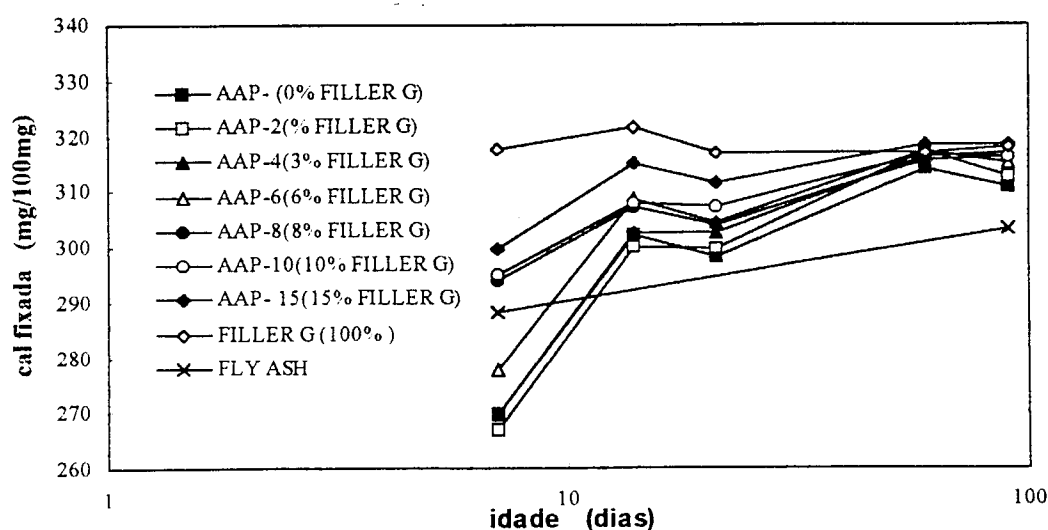


Figura 2 - Fixação da Cal

Reatividade Potencial - Método NBRI - África do Sul

Esse ensaio foi realizado de acordo com a metodologia NBRI - "National Building Research Institute" da África do Sul. Foram escolhidas amostras de basalto e vidro pirex, em misturas com cimento de teor de álcalis solúveis da ordem de 0,52%. Foram moldadas barras de argamassa com 100 % de cimento e argamassas com reposição (em peso) de cimento de 10%, 20% e 30% pelo "Filler G". Para efeito comparativo, os mesmos agregados foram ensaiados com argamassas com reposição de cimento por 10%, 20% e 30% de Fly Ash. Os valores obtidos são mostrados na Figura 3.

Ensaaios em Concretos

CCR - Concreto compactado a rolo

Foram utilizados nesses concretos areia artificial AAP-15 (com 15% de "Filler G") e cimento comum sem adições (CP-I-S). As misturas de CCR ensaiadas foram compostas de brita 1, 2 e 3, combinadas de modo a se obter o menor índice de vazios, com base em uma curva cúbica tipo $p = (d/MSA)^{1/3} \times 100 \%$. Para a determinação da consistência, foi estabelecido um tempo de 25 ± 5 segundos no ensaio de VeBe modificado. Definido o teor ótimo de água de amassamento, foram feitas três misturas, com consumos de cimento de 60, 90 e 120 kg/m³, e moldados corpos de prova cilíndricos integrais (250 x 500 mm), para ensaios de resistência à compressão axial simples nas idades de 28 e 90 dias. As características e valores obtidos são mostrados na Tabela 5. Os valores de rendimentos (resistência e consumo de cimento) são mostrados na Figura 4.

CCV - Concreto convencional

Foram utilizados, nesses concretos, agregados britados como citado anteriormente e areia artificial AAP (padrão-sem finos), AAP-6 (com 6 % de "Filler G") e AAP-15 (com 15 % de "Filler G"). O aglomerante utilizado foi o cimento Portland comum com adições (CP-II-F). As características e os valores de rendimento encontrados são mostrados na Tabela 5 e na Figura 4.

COMENTÁRIOS

Os estudos realizados com os finos de basalto obtidos na britagem, normalmente desprezados pelas especificações técnicas e caracterizados nesses estudos como “Filler G”, mostraram:

- uma ação pozolânica não desprezível no que se refere à reação com hidróxidos dos cimentos, embora o valor da atividade com cal tenha sido baixo, denotando a possibilidade de incremento da resistência pela ação com o cimento;
- A fixação do Ca(OH)_2 , assemelhando-se às reações com os hidróxidos disponíveis no cimento, demonstra valores análogos ao de um material pozolânico, aqui representado por uma cinza volante (Fly Ash), como se vê na Figura 2;
- Uma outra ação pozolânica, no que se refere à redução dos efeitos expansivos da reação álcali-agregado, como se evidencia na Figura 3, demonstra um benefício suplementar do “Filler G”;
- Os dados obtidos pelos ensaios nos concretos CCV e CCR demonstram, através dos rendimentos, que a utilização desse tipo de “Filler” tanto no CCR, bem como, principalmente nos concretos convencionais, incrementa a resistência;
- Os aumentos de resistência obtidos com o “Filler” no CCV, além da melhoria que se obtém na redução da permeabilidade do CCR, demonstram a validade do emprego desse material;
- Essas melhorias induzem à revisão dos parâmetros requeridos nas especificações técnicas dos concretos convencionais no que refere ao uso de finos, desde que os mesmos não tenham características coesivas (argilosas), como se tem praticado no CCR.
- A não lavagem dos agregados nas centrais de britagem podem trazer benefícios importantes, tanto econômicos como técnicos, e deve ser levada em consideração nos projetos de canteiro de obras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, J. A.; LACERDA, S. S.; DUARTE, J. D. C.; ROSÁRIO, L. C. (1989). Utilização de Finos - Sub-produto de Britagem nos Concretos Rolados e Convencionais. XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Foz do Iguaçu.
- ANDRIOLO, F. R.; BRAGA, J. A.; ZELESKI, J. M.; ZANELLA, M. R. (1991). Uso do Concreto Rolado - Projeto Capanda (Angola) - Ensaio Especiais. XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Aracaju.
- TAVARES, M.; SCHMIDT; RESENDE, F.; FONTOURA, P. T.; ANDRIOLO, F. R. (1995). Capanda-Angola Hydroelectric Development - Quality Control of Materials and Conventional and Roller Compacted Concrete. Simposio Internacional Sobre Presas de Hormigón Compactado. Spain.
- ANDRIOLO, F. R. (1995). RCC Properties. Simposio Internacional Sobre Presas de Hormigón Compactado. Spain.

Tabela 3. Caracterização dos Cimentos e Fly Ash

MATERIAL		CIMENTO CP-II-F	CIMENTO CP-I-S	FLY ASH
Identificação		21210	21055	5260
% retida na # 200		3,3	2,4	
% retida na # 325		19,3	16,1	55,1
Superf. específica Blaine		3 325	3 496	2 511
Diâmetro médio				11,4
Massa específica aparente		1,06	1,11	0,69
Massa específica absoluta		3,06	3,15	2,09
Reativ. com álcalis	Redução da expansão %			78,6
	Expansão da argamassa %			0,22
Índice de atividade pozolânica	Água requerida %			118,9
	com cimento %			52,7
	com cal MPa			3,9
água de consistência g		125	130	
Flow %		25	26	
Retração por secagem				-0,003
Tempo de pega h:min		2:16	2:48	
Resistência à compressão cilindros 50 x 100 mm	3 dias Mpa	24,6	24,9	
	7 dias Mpa	29,1	27,5	
	28 dias Mpa	39,4	32,1	
	90 dias Mpa	41,6	33,8	
Calor de hidratação cal/g	7 dias		80	
	28 dias		87	
Umidade %				0,4
Análise química %	Perda ao fogo	5,64	2,6	5,33
	Resíduo insolúvel	1,64	0,55	
	SiO ₂	18,24	18,23	53,8
	Fe ₂ O ₃	2,63	3,55	7,43
	Al ₂ O ₃	6,05	4,71	28,03
	CaO	61,97	61,6	
	MgO	1,11	4,56	0,12
	SO ₃	2,4	2,95	0,26
	Na ₂ O	0,23	0,15	
	K ₂ O	0,43	0,67	
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃			35,46
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ + SiO ₂			86,26
	Equiv. Alcalino	0,51	0,59	
	Cal livre como CaO	1,07	1,47	
	C ₃ S		61,11	
	C ₂ S		6,19	
	C ₃ A		6,47	
	C ₄ AF		10,8	

Tabela 5. Dosagens - CCV e CCR com Finos de Britagem

IDENTIFICAÇÃO		UN	19 AAP	19 AAP6	19 AAP15	38 AAP	38 AAP6	38 AAP15	50 AAP	50 AAP6	50 AAP15	CCR-60	CCR-90	CCR-120
Ø MÁX		mm	19	19	19	38	38	38	50	50	50	50	50	50
% DE AREIA	VOLUME SOLIDO	%	45	45	45	42	42	42	34	34	34	43	43	43
MATERIAIS	CIMENTO	kg/m³	250	250	250	200	200	200	150	150	150	60	90	120
	AGUA	kg/m³	200	200	200	172	172	172	138	138	138	75	85	90
	AREIA ARTIFICIAL	kg/m³	872	879	879	867	874	874	746	751	752	1 047	1 047	1 047
	"FILLER G"	kg/m³		53	131		52	130		45	113			
	BRITA 19 mm	kg/m³	1 102	1 102	1 102	558	558	558	419	419	419	417	417	417
	BRITA 38 mm	kg/m³				681	681	681	510	510	510	558	558	558
	BRITA 50 mm	kg/m³							571	571	571	414	414	414
	AR INCORPORADO	%	0,07	0,09	0,12	0,09	0,11	0,13	0,16	0,24	0,48			
	RETARTADOR	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
	A/C OU A/Ceq		0,8	0,8	0,8	0,86	0,86	0,86	0,92	0,92	0,92	1,25	0,9444	0,75
DENSIDADE TEORICA		kg/m³	2 424	2 484	2 562	2 478	2 537	2 616	2 534	2 584	2 653	2 571	2 611	2 646
ENSAIOS NO CONCRETO FRESCO	DENSIDADE	kg/m³										2 531	2 510	2 510
	GRAU DE COMPACTACAO	%										0,98	0,96	0,95
	SLUMP	cm	5-7	5-7	5-7	4-6	4-6	4-6	3-5	3-5	3-5			
	VeBe MODIFICADO	s										20-30	20-30	20-30
RESISTENCIA	7 DIAS - PENEIRADO	MPa							8,1	8,4	9			
	28 DIAS - PENEIRADO	MPa							10,5	11,6	12,5			
	90 DIAS PENEIRADO	MPa							13,4	14,3	15,8			
	7 DIAS INTEGRAL	MPa	14,7	14,9	16,7	11,3	13,6	12,3	7,6	7,7	7,8			
	28 DIAS - INTEGRAL	MPa	18,9	19,8	22,9	14,8	17,4	17,1	9,4	10,3	10,6	7,7	11,3	16,6
	90 DIAS - INTEGRAL	MPa	22,3	24,7	27	17	20,8	20	11	12,8	12,6	8,8	10,6	19,9
RENDIMENTO MPa/(kg·m³)	7 DIAS - PENEIRADO								0,054	0,056	0,060			
	28 DIAS - PENEIRADO								0,070	0,077	0,083			
	90 DIAS - PENEIRADO								0,089	0,095	0,105			
	7 DIAS - INTEGRAL		0,059	0,060	0,067	0,057	0,068	0,062	0,051	0,051	0,052			
	28 DIAS - INTEGRAL		0,076	0,079	0,092	0,074	0,087	0,086	0,063	0,069	0,071	0,128	0,126	0,138
	90 DIAS - INTEGRAL		0,089	0,099	0,108	0,085	0,104	0,100	0,073	0,085	0,084	0,147	0,118	0,166

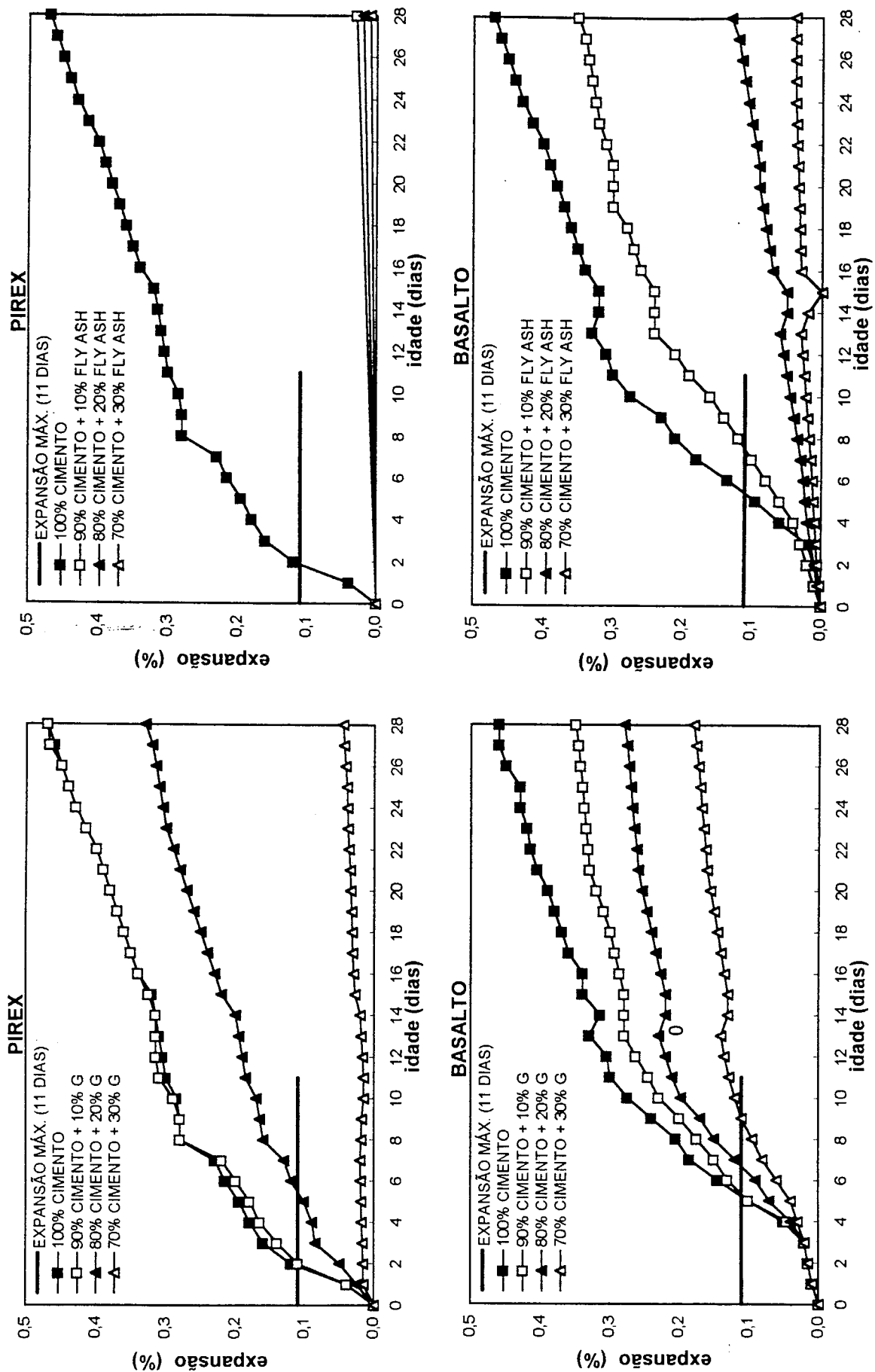


Figura 3 - Reatividade Potencial pelo Método das Barras de Argamassa Acelerado (N.B.R.I.)

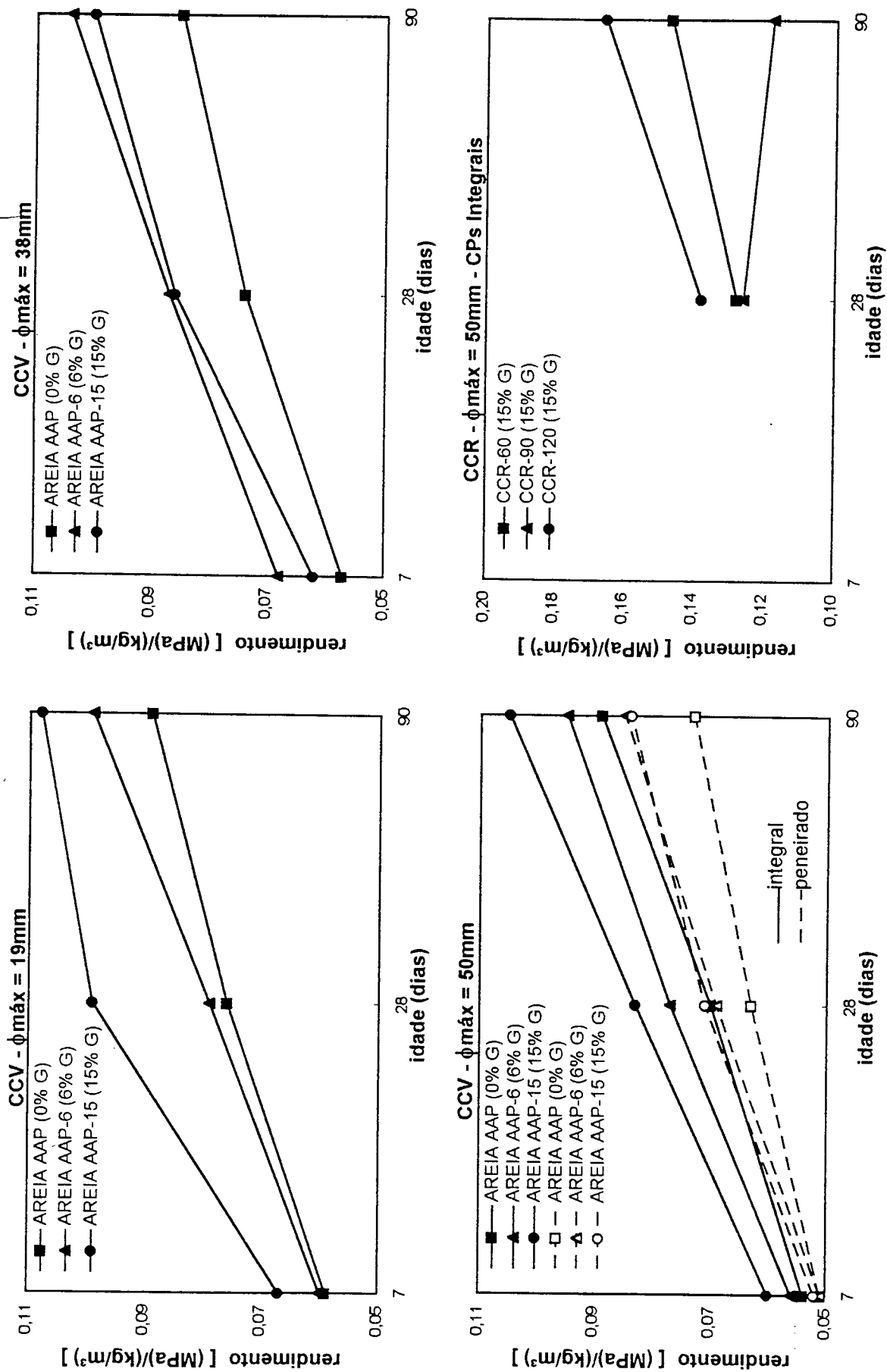


Figura 4 - Rendimentos dos Concretos CCV e CCR Estudados