



ANAIIS DO 47º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2005

Setembro / 2005 ISBN 85-98576-07-7

Volume V - Inovações Tecnológicas para o Concreto

Trabalho 47CBCO186 - p. V125-138

© 2005 IBRACON.

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE CONCRETOS DOSADOS COM CIMENTO PORTLAND CINZA E CIMENTO BRANCO, ADITIVO POLICARBOXILATOS E A FRAÇÃO GRAÚDA DE UMA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA TERNÁRIA.

ANALYSES OF THE PROPERTIES OF CONCRETE DESIGNED WITH GREY PORTLAND CEMENT AND WHITE CEMENT, POLICARBOXILATE ADDITIVE AND THE LARGE FRACTION OF A TERNARY GRANULOMETRIC COMPOSITION.

Paulo de Araújo Regis (1); Arnaldo M. P. Carneiro (2) João M. F. Mota (3);
Rodrigo D. Oliveira (4); Allice P. Silva (5);

(1) *Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil e Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
e-mail: ampc@ufpe.br;*

(2) *Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil e Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
e-mail: pregis@ufpe.br*

(3) *Mestrando do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
e-mail: vieiramota@vieiramota.com.br;*

(4) *Mestrando do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
e-mail: rcaico@walla.com*

(5) *Aluna da Iniciação Científica do Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.*

*Av. Domingos Ferreira, n. 4333 Apto 1002, Recife – Pernambuco.
CEP 51.021-040.*

Resumo

Este trabalho tem por objetivo analisar algumas propriedades no estado fresco de concretos produzidos com cimentos Portland cinza (CP II Z 32) e branco (CPB 40), sendo a fração graúda do concreto, uma mistura ternária: areia natural, pedra 0 e pedra 1. O arranjo experimental do trabalho consistiu em dosar um grupo I de concretos com cimento cinza nos traços 1:3; 1:5 e 1:6, todos com mesmo teor de argamassa ideal para um mesmo abatimento; em seguida foi dosado um grupo II de concretos com cimento branco nos traços 1:3; 1:5 e 1:6 com um teor de argamassa também ideal e por fim, foi dosado o grupo III de concretos com cimento branco e aditivo para se obter o abatimento desejado, mas com a mesma relação água/cimento do grupo I, e o teor de argamassa do grupo II. Os agregados foram caracterizados com os seguintes ensaios: densidade de massa, composição granulométrica conforme NBR 7217 e coeficiente de uniformidade de acordo com o método de Allen-Hazen. Para os cimentos foram determinados os tempos de início e fim de pega. O método utilizado para a dosagem dos concretos foi o do IPT/EPUSP, sendo adotado para todos os casos o abatimento de (100 ± 10) mm. Os ensaios no estado fresco foram à determinação da densidade de massa no estado fresco e o ensaio de abatimento. Observou-se que o teor de argamassa ideal encontrado fora idêntico para os grupos de concreto I e II, bem como o teor de aditivo utilizado no grupo III foi bem abaixo do mínimo indicado pelo fabricante. Acredita-se que este fato ocorreu devido aos benefícios da utilização da mistura ternária.

Palavras-Chaves: cimento cinza; cimento branco; otimização granulométrica.

Abstract

The objective of this study is to analyse some properties of the fresh state of concrete produced with grey Portland cement (CP II Z 32) and white cement (CPB 40), considering that the large fraction of concrete is a ternary mixture: natural sand, stone 0 and stone 1. The experiment consisted of mix design the concretes of group I with grey cement in the mix proportion of 1:3, 1:5 and 1:6, all of them with the same ideal mortar content and slump. Then the concretes of group II were designed with white cement in the mix proportion of 1:3, 1:5 and 1:6 with an ideal mortar content and finally the concretes of group III were designed with white cement and additives to achieve the required slump, but with the same proportion water/cement of group I, and the grout content of group II. The aggregates were characterised using the following qualities: density of mass, granulometric composition conforming to NBR 7217 and the coefficient of uniformity according to the Allen-Hazen method. The beginning and the end of sampling were determined for these cements. The method used for dosing the concretes was IPT/EPUSP and in all cases battering of (100 ± 10) mm. The density of the samples in the fresh state and slump were determined. It was observed that the ideal content of grout was identical in concrete groups I and II, also the content of additives used in group III were considerably less than the minimum indicated by the manufacturer. It's believed this fact occurred due to the benefits of the use of the ternary mixture.

Keywords: grey cement; white cement; grain size optimization.

1 - Introdução

O consumo médio de cimento Portland branco estrutural no Brasil é inferior ao de países europeus e dos Estados Unidos, pois o consumo desses países chega a ser maior do que 4 kg/hab.ano enquanto no Brasil este consumo atinge pouco mais que 10 % deste valor. Sabe-se por outro lado da grande importância do cimento Portland branco para a construção civil por conta de sua coloração peculiar, uma vez que seu uso proporciona condições mais adequadas de coloração. Portanto entende-se que é necessário o aprofundamento dos estudos científicos referentes à produção de concreto com cimento Portland branco estrutural, tendo em vista haver um grande hiato no domínio tecnológico entre o cimento Portland cinza e o branco.

Este trabalho tem o objetivo de verificar e analisar algumas propriedades do concreto no estado fresco produzido com o cimento Portland cinza (CP II Z – 32) e branco (CPB – 40), relevando a mistura ternária da fração gráuda.

A alvura deste cimento é obtida através de baixos teores de óxido de ferro (menos que 0,3% da massa do clínquer) e óxido de manganês, utilização do caulim no lugar da argila, uso de óleo ou gás como combustível no forno para evitar contaminação pelas cinzas do carvão, uso de seixos ou bolas de liga de níquel e molibdênio na moagem do clínquer entre outras particularidades, NEVILLE (1997).

Observa-se que se deve dar uma grande importância ao tratamento otimizado dos agregados do concreto, fundamentalmente por esta fração inerte representar cerca de 80% da composição, contribuindo assim para a sua densidade de massa aparente, resistência mecânica, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional, conforme MEHT; MONTEIRO (1994). O agregado pode influenciar também no desempenho do concreto por conta de sua resistência ao esmagamento, forma e textura, reatividade com os álcalis do cimento, densidade de massa aparente e distribuição granulométrica.

Corroborando com o apresentado, Carneiro (1999) observou que a mistura otimizada de uma composição granulométrica ternária proporciona o aumento da resistência mecânica, redução da água de amassamento do teor de argamassa, e o aumento da trabalhabilidade, visto que melhora o rolamento entre as partículas.

Furnas (1931), que introduziu a idéia de “rolling ball”, disse que se a distribuição granulométrica das partículas for contínua, em função do “efeito parede”, ocorrerá um melhor rolamento entre as partículas, na medida em que as maiores rolem sobre as menores. Caquot (1936), introduziu a análise da trabalhabilidade dos concretos com base no efeito parede, mostrando que quanto menor forem os vazios melhor será o rolamento

entre as partículas e conseqüentemente maior será a trabalhabilidade. Desta forma entende-se que no contexto este concreto terá uma maior durabilidade.

Utilizou-se portanto, o método de dosagem do IPT/EPUSP com a fixação do abatimento de (100 ± 10) mm, para um arranjo experimental constituinte da dosagem de 3 grupos, todos com os traços 1:3, 1:5 e 1:6, sendo o grupo I apresentando dosagens com cimento cinza e obtenção do teor de argamassa ideal (α_c), grupo II com cimento branco e a obtenção também de seu teor de argamassa ideal (α_b) e por fim o grupo III com os concretos dosados com o teor de argamassa do grupo II (α_c) e as e as relações a/c do grupo I, utilizando aditivo policarboxilato para alcançar o abatimento fixado.

2 – Materiais

2.1 – Cimentos Portland

2.1.1 – Cimento Portland Cinza (CP II Z 32)

O concreto dosado teve em sua composição, o cimento Portland cinza (CP II Z 32), em sacos de 50 kg cada, pois a pozolana constituinte deste cimento, argila calcinada, é amplamente encontrada na região nordeste do Brasil. Seguem as tabelas com as características físicas e químicas deste material.

Tabela 1 – Fonte: Fabricante do Cimento (2004).

Ensaio Químicos					
Ensaio		Normas	Unidades	Resultados	Especificação Norma NBR 11578/91
Perda ao Fogo - PF		NBR NM 18	%	4,39	$\leq 6,5$
Óxido de Magnésio - MgO		PO 00435	%	2,66	$\leq 6,5$
Anidrido Sulfúrico - SO ₃		PO 00436	%	3,26	$\leq 4,0$
Resíduo Insolúvel - RI		NM 15:2004	%	6,89	$\leq 16,0$
Equivalente alcalino em Na ₂ O - $(0,658 \times K_2O\% + Na_2O\%)$		X	%	1,02	não aplicável
Óxido de Cálcio Livre - CaO (Livre)		NBR NM 13	%	1,44	não aplicável
Ensaio Físicos e Mecânicos					
Ensaio		Normas	Unidades	Resultados	Especificação Norma NBR 11578/91
Área Específica (Blane)		NBR NM 76	cm ² /g	3540	≥ 2600
Massa Específica		NBR NM 23	g/cm ³	3,04	não aplicável
Densidade Aparente		X	g/cm ³	1,2	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira 0,075mm (#200)		NBR 12826	%	2,2	$\leq 12,0$
Finura - Resíduo na Peneira 0,044mm (#350)		NBR 12826	%	15,6	não aplicável
Água na Pasta de Consistência Normal		NBR NM 43	%	26,8	não aplicável
Início de Pega		NBR NM 65	h:min	02:30	≥ 1 h
Fim de Pega		NBR NM 65	h:min	03:40	≤ 10 h
Expansibilidade de Le Chatelier - a Quente		NBR 11582	mm	0,3	≤ 5
Resistência a Compressão (MPa) - NBR 7215/96					
Idade (dias)	Min.	Max.	Média	Desvio	Especificação Norma NBR 11578/91
1					não aplicável
3	24,2	28	26,4	0,86	≥ 10
7	30,2	33,8	32,1	0,76	≥ 20
28					≥ 32

A tabela abaixo mostra um resumo para valores típicos de alguns componentes do clínquer cinza.

Tabela 2 – Composição típica do clínquer cinza.
Fonte: COSTA et al. (2004).

Caracterização Química % (Clínquer Cinza)	
Al ₂ O ₃	5,20
SiO ₂	20,60
Fe ₂ O ₃	3,50
CaO	65,00
C ₃ S (Silicato Tricálcico)	67,00
C ₂ S (Silicato Dicálcico)	7,80
C ₃ A (Aluminato Tricálcico)	7,80
C ₄ AF (Alumino Férreo Tetracálcico)	10,50

As características de alguns compostos do cimento, em resumo, são mostrados no quadro abaixo.

Tabela 3 – Fonte: PETRUCCI (1987).

Propriedade	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Resistência	Boa	Boa	fraca	fraca
Intensidade de reação	média	Lenta	rápida	rápida
Calor desenvolvido	médio	Pequeno	grande	pequeno

2.1.2 – Cimento Portland Branco (CPB – 40)

O cimento utilizado foi o CPB – 40 de fabricação nacional.

O cimento Portland branco que se evidencia pela sua alvura classifica-se em dois tipos: estrutural e não estrutural. O estrutural é usado fundamentalmente em estruturas de projetos arquitetônicos, e possui nacionalmente as classes de resistência 25, 32 e 40. O não estrutural é indicado para rejuntamento de ladrilhos cerâmicos, argamassas entre outras com funções não estruturais. A sua alvura obtém-se através da rígida seleção de sua matéria-prima, onde se faz necessário ter baixos teores de óxido de ferro e manganês. O processo de resfriamento do clínquer é de fundamental importância, visto que, o resfriamento sendo feito através de tanques d'água na saída do forno evita a oxidação desse clínquer por conta do contato com o ar ambiente.

A temperatura necessária para calcinação é de aproximadamente 1600°C sendo maior que a necessária para os cimentos cinza, já o combustível utilizado é o óleo mineral ou o gás, em lugar do carvão que é utilizado para o cimento cinza, basicamente por esse último conter óxidos que alteram a alvura do clínquer, diz MACEDO et al. (2004).

A NBR – 12989, que regulamenta no Brasil o cimento branco, prescreve para este cimento, um mínimo de 85% de CaCO₃ + MgCO₃, de tal forma que os fabricantes impõem durante a etapa de moagem do processo de fabricação, a adição de materiais carbonáticos ao clínquer branco. Por sua vez, o índice de brancura deve apresentar um percentual maior que 78%.

Verificam-se várias alterações na micro-estrutura do material, resultando na mudança de seu comportamento, uma vez que o cimento Portland branco possui maior teor de C₃A e menor teor de C₄AF, bem como também apresenta diferenciação nos percentuais de C₃S e C₂S, tudo isso com relação a outros tipos de cimento Portland. Destacam-se os maiores teores de C₃A, fato que tende a provocar alteração no início e fim de pega, conforme MATTOS & DAL MOLIN (2003).

A tabela 4 apresenta composições do cimento Portland branco.

Tabela 4 – composição dos cimentos Portland branco.
 Fonte: MACEDO et al. 2004.

Tipo de cimento Portland	Código de Identificação (sigla classe)	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer branco + gesso	Material carbonático	
Branco Estrutural	CPB – 25	100 – 75	0 – 25	NBR – 12989
	CPB – 32			
	CPB – 40			
Branco não estrutural	CPB	74 – 50	26 – 50	

Seguem as Tabelas que representam as características físicas do CPB – 40, assim como a composição típica do clínquer branco.

Tabela 5 – Fonte: Fabricante do Cimento (2004).

Cimento Branco Estrutural CPB-40	
Brancura %	81,28
Resistência Mpa(3 dias)	33,10
Resistência Mpa(7 dias)	39,80
Resistência Mpa(28 dias)	51,20

Tabela 6 - Composição típica do clínquer cinza.
 Fonte: COSTA et al. (2004).

Caracterização Química % (Clínquer Branco)	
Al ₂ O ₃	5,20
SiO ₂	23,50
Fe ₂ O ₃	0,32
Cão	58,70
C ₃ S (Silicato Tricálcico)	65,00
C ₂ S (Silicato Dicálcico)	17,80
C ₃ A (Aluminato Tricálcico)	13,10
C ₄ AF (Alumino Férrico Tetracálcico)	0,90

Foram feitos ensaios de início e fim de pega para os cimentos cinza e branco, sendo que para o último o teste foi elaborado com e sem a utilização de aditivo superplastificante. A seguir, apresentam-se os tempos de início e fim de pega bem como os gráficos de seu desenvolvimento.

Tabela 7 - Tempos de início e fim de pega.

Cimentos	Início da pega (h:m)	Fim da pega (h:m)
CP II Z-32	2:25	3:40
CPB – 40 s/ aditivo	2:10	3:30
CPB – 40 c/ aditivo	2:15	4:15

No gráfico a seguir, verifica-se que o CPB – 40 teve um menor tempo de início e fim de pega e de seu desenvolvimento, com relação ao CP II Z, provavelmente em decorrência da maior proporção de C₃A em sua composição bem como sua maior finura.

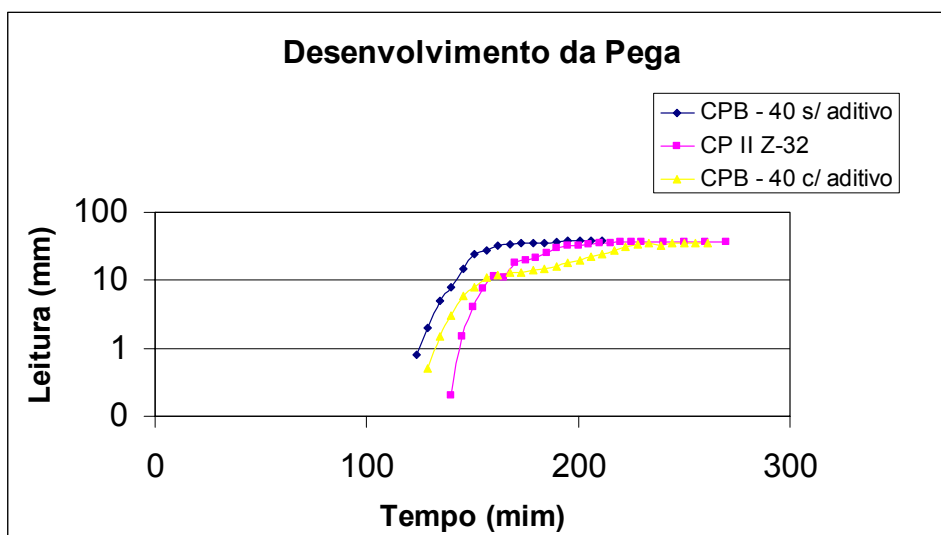


Figura 1 – Gráfico do desenvolvimento da pega dos cimentos.

2.2 – Agregados

2.2.1 – Agregado Miúdo

Foi utilizado areia natural de natureza quartzosa, pois é amplamente encontrada na Região Metropolitana do Recife. Esta areia foi caracterizada pela densidade de massa específica e aparente, determinação da curva granulométrica e coeficiente de uniformidade de acordo com o método de Allen-Hazem. Este coeficiente de uniformidade relaciona $C=d_{60}/d_{10}$, que significa a equivalência de 60% da percentagem passante de material, segundo CAPUTO (1983). Seguem os dados da areia natural na Tabela 8, bem como a curva de distribuição granulométrica no gráfico da Figura 2.

Tabela 8 – Características da areia natural.

Material: Areia					
Peneiras	Massa acum. (g)	% Retida	% Ret. Acumulada	% ret. Acum. SN	% passante
25	0	0,0	0,0		100,0
19	0	0,0	0,0	0,0	100,0
12,5	0	0,0	0,0		100,0
9,5	0	0,0	0,0	0,0	100,0
6,3	0,9	0,1	0,1		99,9
4,8	9,2	0,9	1,0	1,0	99,0
2,4	32,3	3,2	4,2	4,2	95,8
1,2	81,4	8,1	12,4	12,4	87,6
0,6	262,7	26,3	38,7	38,7	61,3
0,3	373,6	37,4	76,1	76,1	23,9
0,15	164,6	16,5	92,6	92,6	7,4
0,075	65,8	6,6	99,1		0,9
0,01	8,6	0,9	100,0	100,0	0,0
Massa total (g)	999,1				
Módulo de finura				2,25	
Coef. De uniformidade				3	
Densidade aparente (kg/dm³)				1,47	
Densidade real (kg/dm³)				2,63	

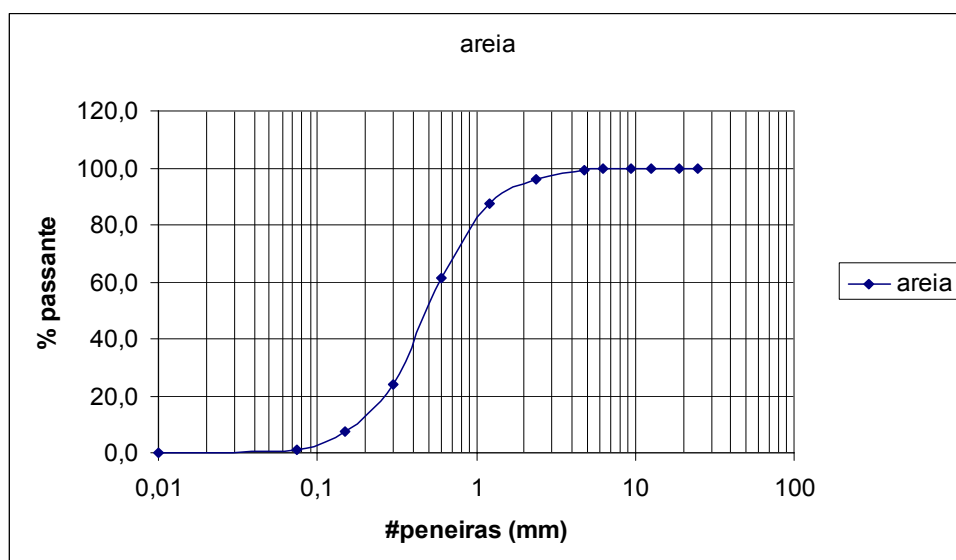


Figura 2 – Gráfico da distribuição granulométrica da areia.

2.2.2 – Agregados Graúdos

A natureza mineralógica dos agregados graúdos é granítica, o qual foi utilizado no seu estado seco sem lavagem. Foram caracterizados quanto à densidade específica, aparente e granulometria. Determinou-se também a massa unitária no estado seco de acordo com a NBR 7251.

Nas Tabelas a seguir, constam os dados das britas, bem como no gráfico da figura 3 as curvas granulométricas.

Tabela 9 – Granulometria da brita 0.

Material: brita 0					
Peneiras	Massa acum. (g)	% Retida	% Ret. Acumulada	% ret. Acum. SN	% passante
25	0	0,0	0,0		100,0
19	0	0,0	0,0	0,0	100,0
12,5	384,8	12,8	12,8		87,2
9,5	1006,4	33,6	46,4	46,4	53,6
6,3	1178,6	39,4	85,8		14,2
4,8	324,2	10,8	96,6	96,6	3,4
2,4	85,5	2,9	99,5	99,5	0,5
1,2	5,7	0,2	99,7	99,7	0,3
0,6	1,3	0,0	99,7	99,7	0,3
0,3	3	0,1	99,8	99,8	0,2
0,15	0	0,0	99,8	99,8	0,2
0,075	4	0,1	99,9		0,1
0,01	1,6	0,1	100,0	100,0	0,0
Massa total (g)	2995,1				
Módulo de finura			6,42		
Coef. de uniformidade			1,7		
Densidade aparente (kg/dm³)			1,52		
Densidade real (kg/dm³)			2,78		

Tabela 10 – Granulometria da brita 1.

Material: brita 1					
Peneiras	Massa acum. (g)	% Retida	% Ret. Acumulada	% ret. Acum. SN	% passante
25	0	0,0	0,0		100,0
19	8,3	0,3	0,3	0,3	99,7
12,5	1483,2	49,5	49,8		50,2
9,5	1315	43,9	93,7	93,7	6,3
6,3	184,8	6,2	99,8		0,2
4,8	2,8	0,1	99,9	99,9	0,1
2,4	0,4	0,0	99,9	99,9	0,1
1,2	0	0,0	99,9	99,9	0,1
0,6	0	0,0	99,9	99,9	0,1
0,3	0,4	0,0	100,0	100,0	0,0
0,15	0	0,0	100,0	100,0	0,0
0,075	0,9	0,0	100,0		0,0
0,01	0,3	0,0	100,0	100,0	0,0
Massa total (g)	2996,1				
Módulo de finura			6,94		
Coef de uniformidade			1,4		
Densidade aparente (kg/dm ³)			1,43		
Densidade real (kg/dm ³)			2,78		

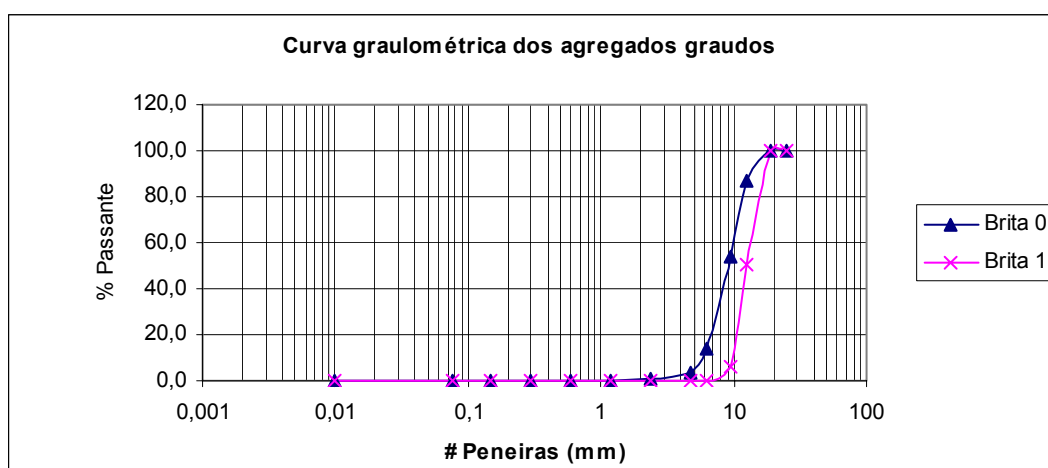


Figura 3 - Gráfico da distribuição granulométrica das Britas 0 e 1.

Na tabela 11 são apresentados os percentuais retidos dos materiais das concentrações granulométricas.

Tabela 11 – Composições granulométricas.

Peneiras	Areia	Brita 0	Brita 1
	% Retida	% Retida	% Retida
25	0,0	0,0	0
19	0,0	0,0	0,3
12,5	0,0	12,8	49,5
9,5	0,0	33,6	43,9
6,3	0,1	39,4	6,2
4,8	0,9	10,8	0,1
2,4	3,2	2,9	0
1,2	8,1	0,2	0
0,6	26,3	0,0	0
0,3	37,4	0,1	0
0,15	16,5	0,0	0
0,075	6,6	0,1	0
0,01	0,9	0,1	0

A partir da análise dos dados, observa-se que:

92,5 % do material da areia fica retido na peneira com abertura 0,15 mm;

96,6 % do material da brita 0 fica retido na peneira com abertura 4.8 mm e

93,7 % do material da brita 1 fica retido na peneira com abertura 9,5 mm.

2.2.3 – Mistura Ternária

A mistura ternária foi composta pela areia natural e britas 0 e 1 nas proporções de 18,5%, 29,5% e 52% respectivamente.

A prática de utilização de misturas ternárias tem o objetivo de buscar atingir uma maior continuidade da curva granulométrica da fração inerte do concreto, objetivando enriquecer as propriedades do mesmo, para uma maior durabilidade do produto final, uma vez que conforme Carneiro (1999), cerca de 80% da composição de um concreto é a fração inerte, pela qual contribui para o módulo de elasticidade, estabilidade dimensional e resistência mecânica. Por sua vez, Carneiro et al. (2002), diz que a otimização da granulometria dos agregados gera: maior compactidade, menor relação água/cimento, menor consumo de cimento para uma mesma resistência, menor índices de vazios, maior trabalhabilidade bem como menor necessidade de argamassa.

Na tabela 12, observa-se a distribuição granulométrica teórica da mistura ternária e na figura 4 o seu gráfico, onde fica demonstrada de forma mais clara a sua continuidade.

Tabela 12 – Granulometria teórica da mistura ternária.

<i>Granulometria teórica da mistura ternária</i>			
<i>Peneiras</i>	<i>% Retida</i>	<i>%Ret Ac</i>	<i>% Passante</i>
19	0	0	100
12,5	31	31	69
9,5	21	52	48
6,3	15	67	33
4,8	10	78	22
2,4	7	85	15
1,2	5	90	10
0,6	4	94	6
0,3	3	96	4
0,15	2	98	2
0,075	1	99	1
0,01	1	100	0

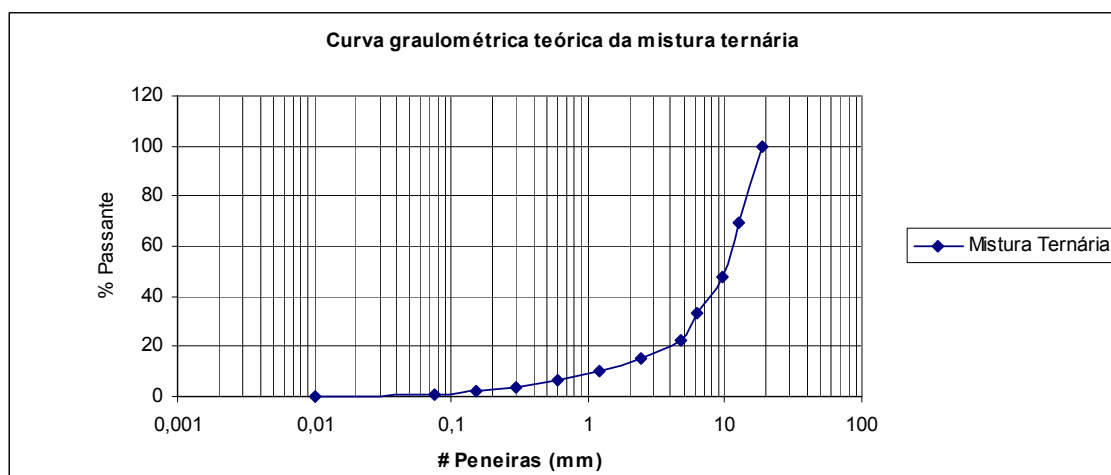


Figura 4 – Curva granulométrica teórica da mistura ternária.

2.3 – Água

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa).

2.4 – Aditivo Químico

O aditivo utilizado foi um superplastificante, com base de poliéster carboxilado. O superplastificante é um aditivo redutor de água de alto desempenho. É um líquido de baixa viscosidade pronto para o uso, bem como cumpre com as especificações de aditivos químicos para concreto ASTM C 494 TIPO F. Seu peso específico é 1,08 kg/l.

3 – Procedimento de dosagem

Neste trabalho caracterizamos o concreto no estado fresco através do seu abatimento, onde este valor é dado em relação à altura do tronco de cone de acordo com NM 67:96.

Para a dosagem do concreto utilizou-se o método IPT/EPUSP, HELENE e TERZIAN (1992). O arranjo experimental foi operado de tal forma a consistir a dosagem de três grupos de concreto, sendo o Grupo I com cimento Portland cinza (CP II Z-32), o grupo II com cimento Portland branco (CPB-40) e o Grupo III também com cimento Portland branco e com a utilização de aditivo policarboxilato. Determinou-se para os três grupos de dosagem a execução dos traços 1:3, 1:5, e 1:6, havendo para todos os casos a fixação do abatimento em (100 ± 10) mm. Encontrou-se o teor de argamassa ideal do Grupo I para os três traços dosados, da mesma forma para o grupo II, e para o Grupo III adotou-se o teor de argamassa do Grupo II e as relações a/c dos traços dosados no grupo I, juntamente com a adição do aditivo, visto que a maior finura e alteração da composição química inferiam para tal.

4 – Análise de Resultados

O objetivo deste estudo foi analisar algumas propriedades do concreto fresco produzidos com os cimentos cinza e branco, visto que, o aprofundamento nos estudos comparativos entre esses concretos faz-se necessário, na medida em que o concreto estrutural produzido com cimento branco, produz extremos benefícios em diversas circunstâncias por conta preferencialmente de sua coloração peculiar.

Na tabela 13 são apresentados os abatimentos medidos para cada um dos traços moldados, as relações água/cimento obtidas para as misturas e os consumos dos aglomerantes, aglomerados e mistura ternária. Observa-se que os abatimentos estão dentro do intervalo especificado inicialmente.

Verifica-se um aumento da relação água/cimento, dentro de cada grupo, à medida que se aumenta a proporção dos agregados.

Também é observado que os concretos dosados com cimentos cinza e branco obtiveram os mesmos teores de argamassa, fato que pode ser atribuído à relevância dos benefícios da utilização da mistura ternária em dosagens de concreto, de acordo com CARNEIRO (2002).

Não foi necessário dosar o traço de 1:6 no grupo III, uma vez que o teor de argamassa ideal e a relação água cimento deste traço nos grupos I e II foram idênticos.

Tabela 13 – Dados dos traços.

Grupo	Traços	a/c	Abatimento (mm)	Teor de argamassa ideal encontrado (α) %	Consumo de cimento (kg/m^3)	Consumo de areia (kg/m^3)	Consumo da mist. ternária (kg/m^3)
I (CPIIZ-32)	1:3	0,42	110	40	524	350	1399
	1:5	0,59	107	40	353	549	1411
	1:6	0,65	95	40	301	587	1369
II (CPB-40)	1:3	0,44	105	40	527	339	1356
	1:5	0,62	105	40	355	550	1415
	1:6	0,65	95	40	297	563	1315
III (CPB-40)	1:3	0,42	95	40	531	341	1363
	1:5	0,59	95	40	358	557	1433
	1:6	--	--	--	--	--	--

Na figura 5 pode-se observar um acréscimo da relação a/c dos concretos dosados com cimento branco (Grupo II) com relação ao cinza (Grupo I), fato esperado, e que pode ser justificado provavelmente em decorrência da sua maior finura, bem como maior proporção de C_3A em sua composição.

Em seguida no Grupo III observa-se a diminuição da relação a/c para valores iguais aos do Grupo I, que foram conseguidos com a utilização do aditivo superplastificante.

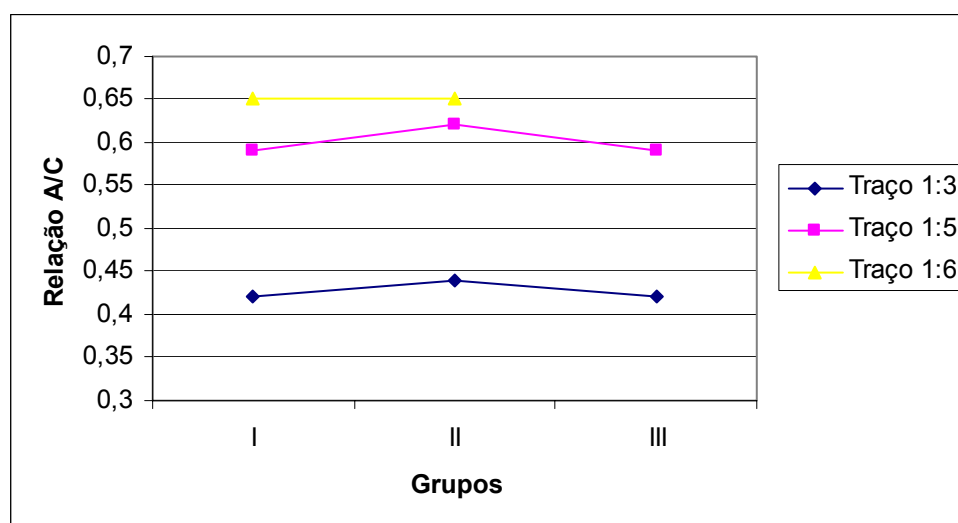


Figura 5 – Relações a/c.

A tabela 14 apresenta o traço em massa dos concretos dos três grupos dosados, onde foi observada uma similaridade dos traços. Essa similaridade possivelmente se deu devido ao encontro dos mesmos teores de argamassa ideal, tanto para os concretos dosados com o cimento cinza quanto para com o branco.

Observa-se que as quantidades de aditivo utilizado para os concretos do Grupo III, fora bem abaixo do mínimo especificado pelo fabricante (0,2%), justificado provavelmente pelo bom rolamento entre as partículas, proporcionado pelo tratamento otimizado do agregado. Ratificado por FURNAS (1931), e, CAQUOT (1936).

Tabela 14 – Traços em massa.

Grupo	Traços	Traço em massa (1:a:p)	Aditivo (g)
I (CPIIZ-32)	1:3	1:1,05:1,95	--
	1:5	1:2,09:2,93	--
	1:6	1:2,60:3,43	--
II (CPB-40)	1:3	1:1,05:1,96	--
	1:5	1:2,09:2,93	--
	1:6	1:2,60:3,42	--
III (CPB-40)	1:3	1:1,05:1,96	6 (0,04%)
	1:5	1:2,09:2,93	3,8 (0,04%)
	1:6	--	--

Na tabela 15, são apresentadas as densidades do concreto no estado fresco bem como a relação água/materiais secos, onde aquele representa um importante parâmetro para a resistência a compressão e este tem sua importância elevada para a formatação dos traços de concreto no estado fresco no que se refere à sua consistência (Lei de Lyse). Sabe-se que a relação água/materiais secos influencia também no teor de ar, uma vez que quanto maior for esta relação, maior será o aprisionamento do ar durante a mistura, conforme JOSSERAND (2002). Entretanto não foi verificada integralmente esta tendência neste experimento, devido a possíveis erros experimentais, que são inerentes no processo.

Observa-se também na tabela 15, o rendimento e o teor de ar, conforme norma NM 56:96, onde o rendimento (R) resulta da relação VR/Vt , sendo VR (volume resultante do concreto em metros cúbicos) e Vt (volume total dos componentes da betonada em metros cúbicos), e o teor de ar (A) resultado da equação 1:

$$A = (1 - 1 / R) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Tab. 15 – Densidade e Relação água/Mat. Secos.

Grupo	Traços	Densidade do conc. (Kg/m ³)	Relação água/mat. secos %	Rendimento	Teor de Ar (%)
I (CPIIZ-32)	1:3	2320	10,5	1,03019	2,9
	1:5	2331	9,8	1,02530	2,5
	1:6	2310	9,3	1,03849	3,7
II (CPB-40)	1:3	2340	11,0	1,01493	1,5
	1:5	2360	10,3	1,00584	0,6
	1:6	2278	9,3	1,05316	5,1
III (CPB-40)	1:3	2350	10,5	1,01704	1,7
	1:5	2362	9,7	1,01330	1,3
	1:6	--	--	--	--

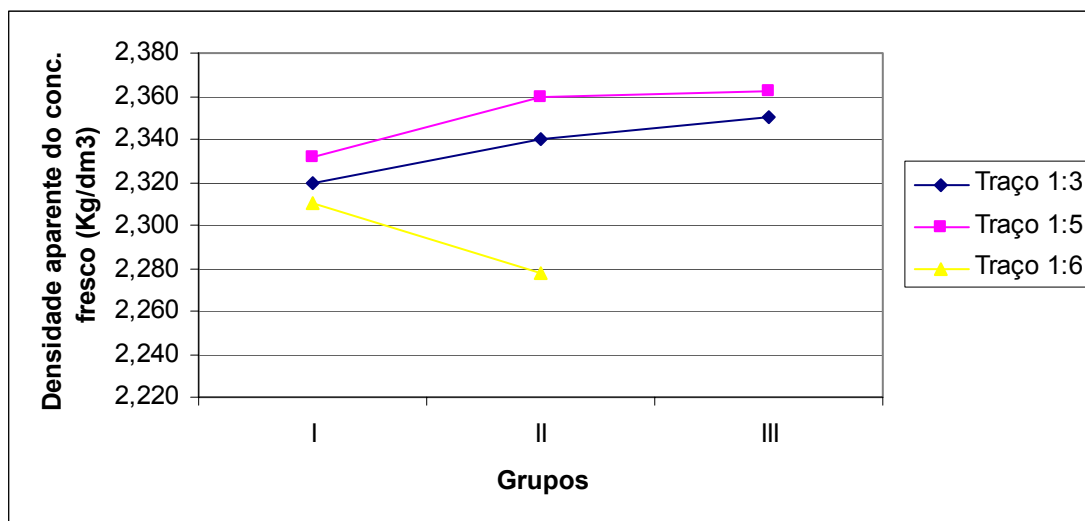


Fig. 6 – Densidade aparente do concreto fresco

5 – Conclusão

A partir da análise dos resultados obtidos dos traços 1:3, 1:5 e 1:6 dos concretos dosados com mistura ternária, dos grupos I (CP II Z-32 com o seu teor de argamassa ideal), II (CPB – 40 sem aditivo, com seu teor de argamassa ideal), e III (CPB – 40 com aditivo, mesma relação a/c do Grupo I e teor de argamassa do Grupo II), com a fixação do abatimento (100 ± 10) mm, verificou-se que a otimização da distribuição granulométrica do aglomerado, ou seja, a busca do aumento da continuidade da curva da mistura ternária gerou a diminuição das diferenças existente nas propriedades dos cimentos Portland cinza e branco, tendo em vista, o mesmo teor de argamassa encontrado, fundamentalmente pelo menor índice de vazios, bem como o melhor rolamento das maiores sobre as menores partículas, facilitando assim a trabalhabilidade, e, gerando a utilização do aditivo abaixo do mínimo especificado pelo fabricante.

Foi observado de forma geral, um aumento na densidade aparente no estado fresco do concreto, em virtude possivelmente do maior empacotamento da mistura, causado pela otimização granulométrica, fato que provoca uma maior compacidade da pasta.

6 – Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR NM 248 – Agregados – determinação da composição granulométrica**, Rio de Janeiro, 2003.

NORMA MERCOSUR, **NM 56:96 – Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar, pelo método gravimétrico**, 1996.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – Fundamentos**. Rio de Janeiro, LTCE S. A, 5ª edição, 1983.

CAQUOT, M. A. **Le role des Matériaux inertes dans Béton**. Memories de la Société des Ingénieurs Civils de France. 90° Année, Fascicule n. 5, septembre-October, 1936. p. 563 - 582.

CARNEIRO A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PCC, São Paulo, 1999.

CARNEIRO, A. M. P. et al. **Otimização de misturas binárias de agregados para a produção do concreto.** In: 44° Congresso Brasileiro do Concreto, 2002. Belo Horizonte, MG.

COSTA A. C. et al. **Propriedades mecânicas do concreto colorido de alta resistência** in: 46° Congresso Brasileiro do Concreto, 2004, Florianópolis - SC.

FURNAS, C.C. **Grading Agregates, I-Mathematical Relations for Bends of Broken Solids of Maximum Density.** Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 23, n. 9; September, 1931. P. 1052-1058.

HELENE, P. R. L. & TERZIAN P. R. **Manual de Controle e Dosagem do Concreto,** São Paulo, PINI, 1993.

JOSSERAND L. **Ressuage des Betons Hydrauliques.** These pour obtenir le grade de Docteur de L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussees. Ecole Nationale des Ponts et Chaussees. Paris, 2002.

MATTOS, L.R.S. & DAL MOLIN, D.C.C. **Avaliação da influência do cimento Portland branco estrutural na resistência à penetração acelerada de íons cloretos e na absorvidade de concretos com diferentes relações água/cimento.** In: 45° congresso Brasileiro de Concreto, 2003. Vitória, Espírito Santo.

MACEDO, D. B. M. et al. **Concreto de alto desempenho colorido com materiais de Goiânia Goiás.** In: 46° Congresso Brasileiro do Concreto, 2004, Florianópolis – SC.

MEHTA MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994.

NEVILLE A. M. **Propriedades do Concreto.** Tradução: Salvador E. Giammusso. São Paulo-SP. PINI. São Paulo, 2ª edição (1997).

PETRUCCI, ELADIO G. R. **Concreto de Cimento Portland,** 11ª ed., Rio de Janeiro: Globo, 1987.