

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO  
ESTRUTURAL: ANÁLISE DA ADIÇÃO DE PIGMENTOS  
QUANTO À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

**Cíntia Alves Aguiar**

Porto Alegre  
março 2006

**CÍNTIA ALVES AGUIAR**

**CONCRETO CIMENTO PORTLAND BRANCO  
ESTRUTURAL: ANÁLISE DA ADIÇÃO DE PIGMENTOS  
QUANTO À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Mestrado  
Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na  
modalidade Profissionalizante

Porto Alegre  
março 2006

A282c Aguiar, Cíntia Alves

Concreto cimento Portland branco estrutural : análise da adição de pigmentos quanto à resistência à compressão / Cíntia Alves Aguiar. – 2006.

Trabalho de conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Orientação : Prof<sup>a</sup> Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin

1. Cimento Portland branco. 2. Resistência à compressão. I. Dal Molin, Denise Carpena Coitinho, orient. II. Título.

**CÍNTIA ALVES AGUIAR**

**CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO  
ESTRUTURAL: ANÁLISE DA ADIÇÃO DE PIGMENTOS  
QUANTO À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pela professora orientadora e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante da escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, março de 2006

Prof. Denise Carpena Coitinho Dal Molin  
Dr.<sup>a</sup>. pela EPUSP/SP  
Orientadora

Prof. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora do Curso

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Hélio Adão Greven (UFRGS)**  
Dr.-Ing pela Universidade de Hannover

**Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)**  
Dr. Pela Universidade de Leeds/ Reino Unido

**Prof. Ângela Borges Masuero (UFRGS)**  
Dr.<sup>a</sup>. pela UFRGS



Dedico este trabalho aos meus pais, Rosa e Osni que sempre estiveram ao meu lado, incentivando e acreditando incondicionalmente.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a professora Denise Dal Molin pela orientação deste trabalho, pelo exemplo profissional e pela amizade.

À professora Ângela Masuero, que acompanhou a realização de toda a pesquisa, auxiliando em muitos momentos.

À colega Ana Paula Kirchheim, por mostrar o caminho e pelo exemplo de dedicação.

Aos professores do mestrado profissional, pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço aos meus colegas de mestrado da turma de 2002 e em especial “aos mesmos”: Adriana de Andrade Vieira, Pedro Amar de Lacerda, Rodrigo Schiavon Victória, Francisco Humberto Franck Filho, pela amizade, companheirismo e exemplo de vida.

Aos meus novos amigos do LEME, Airton e Éderson, por tornarem possíveis e prazerosos os ensaios.

À Construtora Camargo Corrêa e à Lanxen do Brasil, pela doação dos materiais

Ao Daniel Pagnussat, pela paciência em me ensinar a usar o programa Statistica.

Ao meu primo Arq. Daniel Moraes pela ajuda e apoio em todas as horas.

Aos meus pais, pelas oportunidades, pelo exemplo de vida, pelo incentivo, carinho e dedicação.

À toda a turma do mestrado profissional de 2002, pela amizade que certamente ficará para a vida toda.

A Deus por me iluminar e me dar forças em todas as horas, meu grande companheiro.

E por fim, a todos os meus amigos pela paciência de agüentarem as minhas lamentações e a minha ausência.

Nada de grande no mundo é feito sem paixão.

*Hegel*

## RESUMO

AGUIAR, C.A. **Concreto de Cimento Portland Branco Estrutural: Análise da Adição de Pigmentos quanto à Resistência à Compressão.** 2006. 84 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Com o crescimento industrial, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas, inclusive na área da construção civil. Observamos um elevado número de novos materiais e sistemas construtivos sendo introduzidos nas edificações, apresentando características e comportamento diferenciados e ainda pouco estudados. O cimento Portland branco estrutural enquadra-se neste contexto, visto que as modificações necessárias para a obtenção da cor, acabam afetando o seu comportamento. Devido ao crescimento no consumo deste material, pesquisas foram intensificadas. A possibilidade de introduzir tonalidades a este material vem conquistando cada vez mais adeptos, principalmente entre os arquitetos.

Com objetivo de colaborar com este panorama, elaborou-se um programa experimental, para avaliar a influência do teor de adição de pigmentos na resistência à compressão dos concretos de cimento Portland branco. Para tanto, o concreto foi avaliado com dois tipos de pigmentos em três tonalidades: vermelho, amarelo e verde. Além disso, foram estudadas três percentagens do pigmento em relação a massa do cimento: 3%, 6% e 9%.

Os resultados coletados indicaram que quando se acrescenta pigmento ao concreto de cimento Portland branco este baixa a sua resistência significativamente mesmo com índice de 3%, independente da cor e do tipo de pigmento. Ainda pode-se salientar a queda na trabalhabilidade.

**Palavras-chave:** cimento portland branco estrutural; cimento Portland branco pigmentado; pigmentos.

## **ABSTRACT**

**AGUIAR, C.A. Concreto de Cimento Portland Branco Estrutural: Análise da Adição de Pigmentos quanto à Resistência à Compressão.** 2006. 84 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

### **Concrete of Cement Portland Structural White: Analysis of the Addition of Pigments with relationship to the Resistance to the Compression.**

With the growth industrial, new technologies they have been developed, besides in the area of the building site. We observed a high number of new materials and constructive systems being introduced in the constructions, presenting characteristics and behavior differentiated and still little studied. The cement structural white Portland is framed in this context, because the necessary modifications for the obtaining of the color, end up affecting your behavior. Due to the growth in the consumption of this material, researches were intensified. The possibility to introduce tonalities to this material is conquering followers more and more, mainly among the architects.

With objective of collaborating with this panorama, an experimental program was elaborated, to evaluate the influence of the tenor of addition of pigments in the resistance to the compression of the cement concretes white Portland. For so much, the concrete was evaluated with two types of pigments in three tonalities: red, yellow and green. Besides, they were studied three percentages of the pigment in relation to mass of the cement: 3%,6% and 9%.

The collected results indicated that when pigment is increased to the cement concrete white Portland this it lowers your resistance significantly even with index of 3%, independent of the color and of the pigment type. It can still be pointed out the fall in the trabalhabilidade.

**Key Words:** cement structural white portland; cement Portland white pigments; pigments.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fachada principal prefeitura de Indaiatuba/ SP .....	15
Figura 2: Detalhe da Fachada prefeitura de Indaiatuba .....	15
Figura 3: Vista da fachada prefeitura de Indaiatuba .....	16
Figura 4: Ponte em Brusque/ SC .....	17
Figura 5: Vista aérea do Museu Iberê Camargo /RS.....	17
Figura 6: Embaixada brasileira no Japão .....	18
Figura 7: Fachada Industria Flextronics/ SP.....	24
Figura 8: Interior da Industria Flextronics/ SP.....	25
Figura 9: Detalhe pavimentação bairro da Liberdade/ SP.....	33
Figura 10: Piso em concreto pigmentado .....	34
Figura 11: Piso em concreto pigmentado .....	34
Figura 12: Fachada Edifício E- Tower / SP .....	35
Figura 13: Vista geral pilares Edifício E- Tower / SP .....	36
Figura 14: Detalhes colunas Edifício E- Tower / SP .....	36
Figura 15: Vista Fachada Catedral de Los Angeles /EUA .....	37
Figura 16: Detalhe Interior Catedral de Los Angeles /EUA .....	37
Figura 17: Produção do Hidróxido de Ferro .....	43
Figura 18: Produção do Hidróxido de Ferro .....	43
Figura 19: Moagem e Finalização .....	44
Figura 20: Materiais utilizados para a concretagem .....	59
Figura 21: Concretagem do Pigmento “A”: vermelho .....	60
Figura 22: Concretagem do Pigmento “A”: amarelo .....	60
Figura 23: Corpos-de-prova após concretagem.....	61
Figura 24: Corpos-de-prova após desforma .....	61
Figura 25: Abatimento do tronco de cone.....	62

Figura 26: Ensaio de resistência à compressão .....	62
Figura 27: Corpo-de-prova rompido após ensaio .....	63
Figura 28: Corpo-de-prova rompido após ensaio .....	63
Figura 29: Corpo-de-prova rompido após ensaio .....	63
Figura 30: Corpo-de-prova rompido após ensaio .....	63
Figura 31: Influência da adição de pigmento no abatimento de cone .....	65
Figura 32: Quantidade de aditivo necessário para regularizar o “slump” .....	67
Figura 33: Efeito Médio do teor de adição Pigmento “A” amarelo .....	71
Figura 34: Efeito Médio do teor de adição Pigmento “A” vermelho .....	72
Figura 35: Efeito Médio do teor de adição Pigmento “B” amarelo .....	74
Figura 36: Efeito Médio do teor de adição Pigmento “B” vermelho .....	75
Figura 37: Efeito Médio do teor de adição Pigmento “B” verde .....	76
Figura 38: Comparação entre os tipos de adição .....	77
Figura 39: Efeito médio dos tipos de adição .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Componentes do cimento .....	28
Tabela 2: Delimitações químicas .....	28
Tabela 3: Composição do cimento segundo vários autores .....	29
Tabela 4: Constituição química dos produtos a base de óxidos .....	41
Tabela 5: Comparativo entre óxidos naturais e sintéticos .....	42
Tabela 6: Traço utilizado na obra do museu Iberê Camargo .....	46
Tabela 7: Caracterizações químicas, físicas e mecânicas do cimento branco utilizado.....	47
Tabela 8: Características químicas e físicas da Sílica Ativa.....	49
Tabela 9: Características do Agregado Graúdo.....	51
Tabela 10: Características da Rocha .....	52
Tabela 11: Características do Agregado Miúdo.....	53
Tabela 12: Características do aditivo Superplastificante .....	54
Tabela 13: Características do aditivo Modificador de Viscosidade .....	55
Tabela 14: Características do aditivo Retardador .....	55
Tabela 15: Dados Físico-químicos do Pigmento “A” .....	56
Tabela 16: Dados Físico-químicos do Pigmento “B”.....	57
Tabela 17: Dados Físico-químicos do Pigmento “B” verde .....	57
Tabela 18: Análise granulométrica dos pigmentos utilizados .....	58
Tabela 19: Dados do abatimento do tronco de cone inicial e quantidade de aditivo .....	66
Tabela 20: Dados da resistência à compressão .....	69
Tabela 21: Análise de Variância para o Pigmento “A” amarelo .....	70
Tabela 22: Análise de Variância para o Pigmento “A” vermelho .....	72
Tabela 23: Análise de Variância para o Pigmento “B” amarelo .....	73
Tabela 24: Análise de Variância para o Pigmento “B” vermelho .....	75
Tabela 25: Análise de Variância para o Pigmento “B” verde .....	76





## **LISTA DE SIGLAS**

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

IBRACON: Instituto Brasileiro do Concreto

PPGEC: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVOS .....	19
1.2 HIPÓTESE .....	20
1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	20
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA .....	20
<b>2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO PIGMENTADO</b> .....	22
2.1 INTRODUÇÃO .....	22
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	25
2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....	26
2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS .....	27
2.5 DURABILIDADE E APARÊNCIA DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO ESTRUTURAL .....	30
2.6 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO PIGMENTADO.....	31
2.7 UTILIZAÇÃO DO CONCRETO PIGMENTADO.....	32
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	38
<b>3 PIGMENTOS</b> .....	39
3.1 PIGMENTOS ORGÂNICOS .....	40
3.2 PIGMENTOS A BASE DE ÓXIDO .....	41
<b>3.2.1 Produção dos Óxidos</b> .....	43
<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	45
4.1 TRAÇO DE CONCRETO UTILIZADO .....	45
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS .....	46
<b>4.2.1 Cimento</b> .....	46
<b>4.2.2 Sílica Ativa</b> .....	48

<b>4.2.3 Fíler</b> .....	49
<b>4.2.4 Agregado Graúdo</b> .....	50
<b>4.2.5 Agregado Miúdo</b> .....	52
<b>4.2.6 Aditivo Superplastificante</b> .....	54
<b>4.2.7 Aditivo Modificador de Viscosidade</b> .....	54
<b>4.2.8 Aditivo Retardador</b> .....	55
<b>4.2.9 Água</b> .....	56
<b>4.2.10 Pigmentos</b> .....	56
<b>4.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO</b> .....	59
<b>4.4 ENSAIO REALIZADO</b> .....	62
<b>5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	64
<b>5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	64
<b>5.2 COMPORTAMENTO DO CONCRETO EM ESTADO FRESCO</b> .....	64
<b>5.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO</b> .....	68
<b>5.4 ANÁLISE DE VARIÂNCIA</b> .....	70
<b>5.4.1 Pigmento “A”: amarelo</b> .....	70
<b>5.4.2 Pigmento “A”: vermelho</b> .....	72
<b>5.4.3 Pigmento “B”: amarelo</b> .....	73
<b>5.4.4 Pigmento “B”: vermelho</b> .....	74
<b>5.4.5 Pigmento “B”: verde</b> .....	76
<b>5.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE PIGMENTOS</b> .....	77
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	79
<b>6.1 CONCLUSÕES</b> .....	79
<b>6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS</b> .....	80
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	81



## 1 INTRODUÇÃO

Embora o concreto seja universalmente utilizado na construção civil, com grandes virtudes principalmente sob o ponto de vista estrutural, este material ainda é eventualmente censurado por seu aspecto atrativo, com pouco valor arquitetônico, quando se fala em concreto aparente. Associado a um aspecto insípido derivado de sua cor acinzentada, arquitetos ainda relutam em aceitá-lo como objeto de criatividade em seus projetos optando, na maioria das vezes, por outros tipos de materiais ou aplicando algum tipo de revestimento.

Segundo Coelho (2003), este paradigma tem-se modificado nos últimos anos e a aceitação do concreto como elemento arquitetônico tem evoluído graças à incorporação de pigmentos, que proporcionam um acréscimo de valor estético. O autor salienta: “Acrescentar cor às estruturas cinzentas de concreto é uma maneira de tirar-lhes a monotonia, dar-lhes calor e alegria”. Por estas razões partir desse panorama é que a utilização do concreto pigmentado vem crescendo nos últimos anos na construção civil, de uma maneira geral.

A história do concreto colorido não é recente. Conforme menciona Coelho (2003), em 1920 a empresa G. & T. Ltda, de Hull, na Inglaterra, produziu pela primeira vez um concreto colorido. Já a Art Pavements & Decorations, de Camden Town, foi a primeira empresa que inseriu cor na produção de peças pré-moldadas. Mas pode-se presumir que a primeira obra em concreto colorido foi a da fábrica de cigarros “The Carreras Black Cat”. Para fabricar o concreto colorido desta obra foi utilizada uma técnica que misturava cimento Portland e areia colorida com ocre, provenientes da África do Sul, fornecendo aos elementos de concreto reflexos em tons amarelados. Também foi utilizado vidro moído de Veneza em algumas colunas e cornijas, obtendo-se brilhos avermelhados, verdes e pretos.

Apesar do sucesso alcançado com esta construção, outros projetos não seguiram seu exemplo e a indústria do cimento acabou seguindo por outros caminhos. Foi apenas na década de 80 que o concreto colorido voltou a ser utilizado. Esta volta se deve, principalmente, à expansão do uso do cimento branco, principalmente nos Estados Unidos. Hoje diversas obras com este material podem ser encontradas em diferentes locais do mundo. Na Europa pode-se destacar as obras do arquiteto português Álvaro Siza, a maioria em Portugal, como a Torre do Tombo,

abóbada da Estação Metropolitana do Rato, Pavilhões da Expo 98 (NERO e NUNES, 2001 apud KIRCHHEIM, 2003).

No Brasil o número de obras com concreto branco e pigmentado vem aumentando significativamente, podendo-se destacar a sede da Prefeitura de Indaiatuba, a 90 km de São Paulo, construída de 2000 a 2002, feita com blocos de concreto tipo split, conforme mostram as figuras 1, 2 e 3. O projeto arquitetônico é de autoria da arquiteta Yara Bittencourt Silva e contou com a colaboração da arquiteta Carina J. Pacheco Cunha.



Figura 1: Vista da fachada principal prefeitura de Indaiatuba/SP  
fonte:<http://www.revistaprisma.com.br/arquitetura>



Figura 2: Detalhe da fachada da Prefeitura de Indaiatuba/SP  
fonte:<http://www.revistaprisma.com.br/arquitetura>



Figura 3: Vista da fachada da Prefeitura de Indaiatuba/SP

fonte: <http://www.revistaprisma.com.br/arquitetura>

Outro exemplo é a ponte construída, em 2002, na cidade de Brusque/SC, moldada em concreto branco, conforme mostra a figura 4. O projeto consumiu dois mil metros cúbicos de concreto branco. A decisão pelo uso da técnica surgiu em função da alta resistência e beleza estética, segundo o Engenheiro Osvaldemar Marquetti, responsável pelos projetos estrutural e arquitetônico da nova ponte. A obra não só é um marco para a Cidade de Brusque como para toda a região sul do país, juntamente com o Museu Iberê Camargo em Porto Alegre/RS, projeto do Arquiteto português Alvaro Siza, que se encontra em fase de conclusão. A obra do Museu promete ser um marco no uso do Concreto Branco no país, conforme mostra a figura 5, com inauguração prevista para o segundo semestre de 2006.





Figura 4: Ponte em Concreto Branco em Brusque/SC  
fonte:<http://www.revistaprisma.com.br/arquitetura>



Figura 5: Vista do Museu Iberê Camargo em Porto Alegre/RS  
Fonte: <http://www.iberecamargo.com.br>

O arquiteto brasileiro Ruy Ohtake, é um entusiasta do concreto colorido. Ele declara que tem usado cores fortes nas obras para resgatar o colorido das cidades brasileiras. Dentre as obras do arquiteto pode-se destacar a embaixada brasileira em Tóquio, executado em Concreto amarelo, como mostra a foto da figura 6.

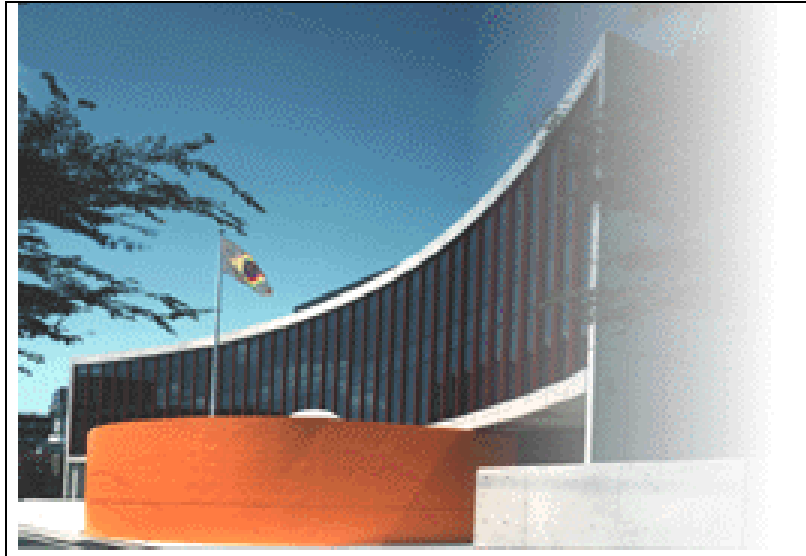


Figura 6: Embaixada Brasileira no Japão

Fonte: <http://www.direitovirtual.com.br>

Dentro deste panorama, o cimento branco pode ser utilizado em concreto estrutural, pré-fabricados e artefatos de cimento, argamassas de revestimento e rejuntamento, painéis de fechamento, blocos de concreto e pisos. Além do mais, permite a fabricação de concretos coloridos com adição de pigmentos. A versatilidade cromática possibilita introduzir uma nova esfera de criação, na qual ocorre a valorização da estrutura de concreto como elemento estético. Isto tem atraído o interesse dos profissionais da área que buscam introduzir diferenciais ou inovações em seus projetos. Como reflexo, observa-se um crescimento do número de obras que utilizam concreto branco. Para ampliar ainda mais o mercado, os fabricantes de cimentos nacionais estão promovendo a divulgação e utilização do cimento branco, por meio de palestras técnicas e oferecimento de suporte tecnológico para os escritórios de arquitetura e engenharia e para as empresas fabricantes de produtos à base de cimento (PASSUELO, 2004).

A bibliografia atual sobre o tema não é ampla, encontrando-se poucas publicações, na maioria das vezes estrangeiras, referentes à produção, propriedades químicas e físico-mecânicas do cimento Portland branco, algumas vezes comparando as propriedades avaliadas com cimentos Portland cinza. Observa-se, ainda, lacunas quanto às propriedades referentes à durabilidade de concretos moldados com esse tipo de cimento, sendo que até mesmo em países que já o utilizam em grandes obras, este conhecimento é deficiente.

No Brasil, tanto a utilização em obras quanto os estudos que esclareçam as propriedades de concretos com cimento Portland branco são ainda em número reduzido, despertando assim o interesse em entender as características e propriedades deste tipo de cimento, e com isso possibilitar o aumento da utilização correta do produto. Percebe-se assim, a necessidade de maiores investigações de parâmetros construtivos e propriedades do concreto de cimento Portland branco estrutural, principalmente quando associado à adição de pigmentos. O uso de pigmentos em concreto branco ainda é pouco explorado, e a consequência da pigmentação ainda é pouco conhecida. No Brasil, poucos estudos foram realizados em concreto colorido, utilizando cimento Portland branco com adição de pigmentos, como os de Helene e Galante (1999) e de Carvalho e Calavera (2002).

Percebe-se, assim, a necessidade de investigação de parâmetros construtivos e características do cimento Portland branco estrutural. Sendo um material relativamente novo no mercado ainda não se tem estudos suficientes, principalmente no que se refere à durabilidade e resistência do material. O crescimento do número de obras, o incentivo das empresas do ramo e a inovação tecnológica que a aplicação de cimento Portland branco estrutural, com e sem adição de pigmentos, a necessidade de novas pesquisas.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho consiste em avaliar a influência do teor de adição de pigmentos na resistência à compressão e trabalhabilidade dos concretos confeccionados com cimento Portland branco estrutural. Para tanto o concreto de cimento Portland branco foi produzido com dois tipos de pigmentos distintos: o pigmento “A” e o pigmento “B”, em três tonalidades: vermelho, amarelo e verde.

Como objetivos secundários tem-se a avaliação da influência:

- a) do teor de adição de pigmentos na trabalhabilidade de concretos com cimento Portland branco estrutural;
- b) do tipo de pigmento (pigmento “A” ou pigmento “B”) na resistência à compressão e na trabalhabilidade;
- c) da cor do pigmento (vermelho, amarelo e verde) na resistência à compressão e na trabalhabilidade.

## 1.2 HIPÓTESE

A adição de pigmentos em concretos de cimento Portland branco estrutural pode afetar sua resistência à compressão.

## 1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente trabalho será desenvolvido a partir do traço de concreto utilizado na construção do Museu Iberê Camargo, em Porto Alegre, que dispõe do acompanhamento tecnológico da UFRGS/RS. Os pigmentos aplicados ao concreto branco serão os mesmos existentes para o concreto convencional. A pesquisa foi feita utilizando dois pigmentos à base de hidróxido de ferro de marcas distintas, os mais utilizados no concreto convencional, em três tonalidades. Além dos pigmentos à base de hidróxido de ferro, ainda poderia-se utilizar os pigmentos à base de Hidróxido de Cromo e Cobalto, mas estes, além de serem difíceis de encontrar no mercado, pois são importados, tem um valor bastante elevado, o que restringe a sua utilização.

## 1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

O trabalho foi formulado em seis capítulos, conforme descritos a seguir.

O primeiro capítulo trata de uma breve introdução, que apresenta o tema da pesquisa e um enfoque geral do trabalho, justificando a importância do assunto. Neste capítulo ainda encontram-se os objetivos, hipóteses e delimitações da pesquisa.

No capítulo seguinte é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o Concreto de Cimento Portland Branco e a adição de pigmentos. Constam, ainda, um histórico de trabalhos e exemplos de obras no Brasil e no mundo.

O capítulo três contextualiza a parte de pigmentos, descrevendo os tipos mais usados na indústria da construção civil, a sua composição química e peculiaridades, bem como caracteriza os pigmentos utilizados.

Já o capítulo quatro apresenta o programa experimental definido para este trabalho, a metodologia utilizada na pesquisa e a descrição do ensaio realizado.

No capítulo seguinte são apresentados os resultados obtidos com o programa experimental e os procedimentos adotados para a interpretação dos dados.

O último capítulo trata das considerações finais e conclusões obtidas com o trabalho, além de apresentar futuros temas para novos trabalhos, visto que o assunto é muito amplo e ainda pouco analisado.

## 2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO E PIGMENTADO

### 2.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a NBR 12989 – cimento Portland branco (ABNT,1993), define-se o cimento Portland branco como aglomerante hidráulico constituído de clínquer Portland branco, uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições. Segundo esta mesma norma os cimentos brancos podem ser subdivididos em dois tipos: Cimento Portland branco estrutural e não estrutural.

Os cimentos Portland brancos estruturais se enquadram nas classes 25, 32 e 40 e podem ser utilizados na execução de concreto estrutural. Cabe ressaltar que os diferentes tipos de cimento apresentam variações de tonalidade e que sua substituição ao longo da obra poderá ocasionar variações na cor do concreto (HENAO CELEDÓN e AVENDANO, 1999). Como salienta Suárez (2002), cimentos do mesmo tipo podem variar de cor de acordo com o lote de fabricação.

Para a fabricação do cimento Portland branco utilizam-se matérias-primas que contenham pouco óxido de ferro (menos de 0,3% da massa do clínquer) e óxido de manganês. Geralmente se utiliza o caulim, juntamente com giz e calcário livre de impurezas específicas (NEVILLE, 1997 apud PASSUELO, 2004). Metha e Monteiro (1994) salientam que , quando a quantidade total de ferro no clínquer corresponde a menos de 0,5% de  $Fe_2O_3$ , o ferro é mantido no estado reduzido de  $Fe^{2+}$  e o clínquer resultante é branco.

Existem duas diferenças básicas entre o cimento branco e os tradicionais, do ponto de vista de características físicas que são inter-relacionadas: Início da pega e finura. No entanto, a brancura do material tende a aumentar com o aumento da superfície específica (IZAGUIRRE 1975 apud PÁLLAS, 2002), os cimentos brancos são em geral moídos mais finamente que os cimentos convencionais. Conseqüentemente, os mesmos se tornam mais reativos em contato com a água (FONSECA e NUNES, (1995) apud, PASSUELO, 2004).

O tipo de gesso utilizado na produção do cimento branco agrava a questão da reatividade. Para aumentar a brancura o gesso utilizado na adição de cimento Portland branco é desidratado. Assim sua eficiência como regulador de pega é muito inferior. (FONSECA e NUNES, 1995). Com relação às características químicas, o cimento Portland branco, apresenta os típicos compostos semelhantes do cimento Portland comum. Deve-se salientar, entre outros, que a relação entre os teores de  $C_3S$  e  $C_2S$  é uma tentativa de controlar a reatividade deste tipo de cimento, visto que estes compostos se hidratam a velocidades diferentes.

Por outro lado, sendo o cimento branco constituído por partículas de menor dimensão, a quantidade de água necessária para a aquisição de uma determinada trabalhabilidade nestes concretos é superior. Caso não sejam tomadas medidas compensatórias, isto poderá acarretar um aumento da retração plástica nos concretos produzidos com este cimento (FONSECA e NUNES, 1995 apud PASSUELO, 2004).

As características mecânicas do cimento branco são similares às do cimento cinza. Hamad (1995) apresenta um estudo comparativo entre cimento cinza e cimento branco, demonstrando que cimentos brancos não apresentam resistências inferiores ao seu similar cinza. Seus resultados apresentam valores superiores de resistência a compressão, quando comparado com concretos produzidos com cimento cinza.

Segundo Passuelo (2004), cabe entretanto ressaltar a pesquisa de Baroni (2003), que diagnosticou um comportamento distinto quanto ao desenvolvimento de flechas ao longo do tempo, mais intenso em vigas de concreto branco do que em vigas de concreto cinza, levantando assim a hipótese de que o concreto à base de cimento branco e agregado convencional, apresenta um comportamento diferenciado quanto à deformação lenta. Embora esses dados necessitem de confirmação, suscitam dúvidas quanto à possibilidade de que o módulo de deformação deste material seja afetado pelas mudanças em sua composição química e velocidade de hidratação.

As primeiras obras de concreto aparente foram construídas aproximadamente 50 anos após a descoberta do concreto armado, em 1848. Até a década de 70, o Brasil teve intérpretes entusiastas das perspectivas de aplicação que o concreto aparente oferecia à sua capacidade inventiva, como Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Affonso Reidy, Vital Brasil, Vilanova Artigas, Paulo da Rocha, Lina Bo Bardi, Marcelo e Milton Roberto, Rino Levi, entre outros

(FERREIRA, 1967 apud SILVA, 1995; MAZZA, 1989 apud SILVA, 1995). Atualmente a técnica do concreto de alto desempenho tem oferecido um rico potencial para o desenvolvimento de novas soluções estruturais e arquitetônicas, tal como o concreto aparente, já que esse material não recebe nas superfícies resultantes nenhum revestimento, como pasta ou argamassa, ficando exposto. Pode-se assim, obter resultados em formas e estruturas delgadas e contemporâneas. Assim, o concreto inventado há mais de um século, como pura necessidade estrutural, tem aumentado sua aceitação como elemento arquitetônico (CARVALHO E CALAVERA, 2002).

A execução de concreto aparente com cimento Portland branco vem como uma proposta atual e moderna, oferecendo novas possibilidades dentro do contexto da arquitetura e obras civis, desde construções de grande porte e muitas peças pré-moldadas. Em concretos não estruturais o cimento Portland branco é utilizado para pavimentação, bloquetes pigmentados, peças pré-fabricadas, entre outros. Em concretos estruturais, o cimento Portland branco estrutural já tem um uso bastante difundido, principalmente na Europa. No Brasil, algumas obras já podem ser apreciadas na última década. A primeira obra executada no Brasil em concreto branco foi a fábrica da empresa Flextronics, em Sorocaba, São Paulo, projeto do Arquiteto brasileiro Sidonio Porto, conforme ilustram as figuras 7 e 8, a seguir.



Figura 7: Primeira obra em concreto branco no Brasil, Flextronics – Sorocaba/SP 2000

Fonte: <http://www.arquitetura.com.br/flextronics>





Figura 8: Detalhe interno do prédio Flextronics - Sorocaba / SP 2000

Fonte: <http://www.arquitetura.com.br/flextronics>

## 2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil ocupa a sexta posição, em relação à produção mundial de cimento Portland, ficando atrás da China (33,49%), dos Estados Unidos (5,62%), da Índia (5,60%), do Japão (5,13%) e da Coreia do Sul (3,54%). A região Sudeste concentra 54% da produção, ficando o Nordeste com, 19%; o Sul, 15%, o Centro-Oeste, 9% e o Norte, 3% aproximadamente (ROBERTO, 2001 apud KIRCHHEIM, 2004)). O nosso país dispõe de um parque industrial de última geração e alto grau de desenvolvimento, comparável aos principais produtores mundiais de cimento. No período de 1988 a 2000, as exportações de cimento cresceram 277 %, passando de 49.314 toneladas para 185.754 toneladas. Este contexto existente, representa apenas 0,5% da produção nacional de cimento.

No ano 2000, o Brasil importou uma quantidade relativamente baixa de cimento, de 157.296 toneladas, sendo que 99,2% deste contexto, correspondeu a cimentos Portland comuns e 0,80% a cimentos Portland brancos. As importações de cimentos Portland brancos procederam do México, Colômbia, França, Bélgica, Dinamarca e Estados Unidos, (KIRCHHEIM, 2003).

O cimento Portland branco estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, possuindo as classes de resistência 25, 32 e 40, similares aos 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. Este aspecto é estampado na embalagem do produto para evitar o uso indevido do material (ABCP, 2002).

A vantagem na utilização do cimento Portland branco estrutural, em comparação com o tradicional cimento cinza, é principalmente relacionada à estética, já que pode ser usado em combinação com pigmentos, dispensando o uso de pintura ou revestimentos. Por outro lado, sem a adição de pigmentos, confere um aspecto de bem-estar, características ideais para frigoríficos, indústrias de alimentos, hospitais e outros ambientes. Há ainda outros benefícios, como melhor visualização em aplicações aparentes, principalmente em obras públicas e de arte, e melhor sinalização em ruas, além de utilização em blocos pigmentados, (KIRCHHEIM, 2003).

### 2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO BRANCO

A NBR 12989 (ABNT,1993) é a norma que especifica exigências mecânicas e físicas para o cimento Portland branco. Segundo Metha e Monteiro (1994): a finura dos aglomerantes afeta a velocidade de hidratação, consistência, segregação, trabalhabilidade, retração e quantidade do ar incorporado. A finura do cimento influencia na velocidade de hidratação, a qual inicia na superfície das partículas; a área geral da superfície do cimento representa o material disponível para a hidratação (NEVILLE, 1997). A resistência inicial terá uma rápida evolução, no entanto, a velocidade inicial maior ocorrerá um desprendimento maior de calor de hidratação. Quando a pasta de cimento é fina, tende a apresentar maior fissuração e retração, mas diminui a exsudação do concreto. Cimentos mais finos apresentam uma elevada quantidade de  $C_3A$  disponível para a hidratação. Para melhorar a trabalhabilidade do concreto aumenta-se a quantidade de água na mistura (NEVILLE, 1997).

A finura do cimento também tem influência sobre a velocidade de desprendimento do calor, pois partículas mais finas reagem mais rapidamente, aumentando, portanto o desprendimento

de calor (NEVILLE, 1997 apud PASSUELO, 2004). Unindo os fatos que o cimento branco possui teores muito superiores de  $C_3S$ , e que é constituído por partículas muito finas, se comparado com outros tipos de cimento, concretos produzidos com este tipo de cimento apresentam tempos mais curtos para o início da pega. Desta forma, concretagens de elementos estruturais de grandes dimensões, em concreto branco, necessitam ser muito bem controladas, pois tendem a desenvolver picos de temperatura maiores, em virtude do elevado calor de hidratação nas baixas idades.

A hidratação dos compostos é exotérmica liberando energia de até 500j/g de cimento. Sua condutividade térmica é relativamente pequena, a hidratação pode gerar grandes elevações de temperatura. O concreto pode funcionar como um isolante térmico. No exterior da massa de concreto ocorre uma perda de calor para o ambiente, de modo que com esse acentuado gradiente de temperatura e o resfriamento do interior, podendo ocorrer várias fissurações. (NEVILLE, 1997).

## 2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CIMENTO BRANCO

A produção de cimento branco ocorre pela pulverização de um clínquer de cimento Portland branco. Diminuindo o teor de ferro do clínquer, pode-se produzir cimentos de cores claras. De óxidos de ferro e manganês devem ter teores menores que 0,5%, em massa. Como matéria-prima para alcançar essas condições de fabricação do cimento, usam-se argila e rochas carbonatadas sem ferro. Moinhos especiais de bolas com revestimentos e bolas de cerâmica são usados para triturar a mistura da matéria-prima, além de um combustível limpo, que pode ser óleo ou gás, para a produção do clínquer na área de alta temperatura do forno rotativo de cimento. A matéria-prima, sem dúvida, é mais cara e também o valor da moagem é maior. Assim, o custo do cimento branco, a alguns anos atrás, era de duas a três vezes maior que o cimento cinza. (METHA E MONTEIRO, 1994; HAMAD, 1995; NEVILLE, 1997; KIRCHHEIM, 2004). Atualmente este custo encontra-se por volta de 20 % a mais, tornando o material mais acessível e atraente para os mercado consumidor. A NBR 12989 (ABNT, 1993) especifica exigências químicas e alguns limites de teores dos componentes, mostrados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Componentes do cimento

Denominação	Classe	Componentes (% em massa)	
		Clínquer branco + sulfatos de cálcio	Materiais carbonáticos
Cimento Portland Branco estrutural	25	100 - 75	0 - 25
	32		
	40		
Cimento Portland Branco não estrutural	-	74 - 50	26 - 50

Fonte: NBR 12989 – ABNT (1993)

Tabela 2: Delimitações Químicas

Determinações químicas	Limitações (% em massa)			
	CPB - 25	CPB - 32	CPB - 40	CPB
Resíduo insolúvel (RI)	≤ 3,5		≤ 7,0	
Perda ao Fogo(PF)	≤ 12,0		≤ 27,0	
Óxido de magnésio(MgO)	≤ 6,5		≤ 10,0	
Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )	≤ 4,0		≤ 4,0	
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	≤ 11,0		≤ 25,0	

Fonte:NBR 12989 – ABNT (1993)

Para cimentos Portland comuns, as composições médias desses compostos variam, para o C<sub>3</sub>S entre 50% e 70%, o C<sub>2</sub>S entre 15% e 30%, o C<sub>3</sub>A entre 5% e 10 %, e o C<sub>4</sub>AF entre 5% e 15%, (LEA, 1970; TAYLOR, 1992; KIRCHHEIM, 2004).

Conforme Kirchheim (2004) a Composição química do cimento Portland branco estrutural segundo vários autores pode variar, como se observa na tabela 3 para fins de comparação entre cimentos Portland comuns.

Tabela 3: Composição química do cimento Portland branco segundo vários autores

Fonte	Composição de Bogue (%)			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Bensted (1983)	67,1	12,5	8,5	1,4
Singh e Singh (1989)	41,7	19,8	12,5	1,4
Dunster et al. (1993)	60,0	24,0	13,0	1,0
Stümer et al. (1994)	71,6	6,8	10,6	0,7
Hamad (1995)	48,5	30,7	13,5	0,8
Heren e Ölmez (1996)	51,2	27,5	12,1	0,9
Richardson e Groves (1997)	65,0	22,0	4,0	1,0
Stephan et al. (1999)	54,0	0,4	7,0	0,6
PCA(1999a)	60,0	19,0	11,0	1,0
Werner et al (2000)	72,0	9,0	12,0	0,6
Levinson e Akbari (2001)	68,0	14,0	13,0	0,6
Sora et al. (2001)	50,0	9,7	7,0	0,4
Rothstein et al (2002)	72,0	17,0	5,0	1,0
Hansen (2002)	61,7	24,9	4,5	0,9
Chandra e Björnström (2002)	63,0	25,0	4,0	1,0

Fonte: Kirchheim (2004)

## 2.5 DURABILIDADE E APARÊNCIA DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO ESTRUTURAL

Normalmente, ao pensar na qualidade do concreto, há uma preocupação maior com relação à sua resistência, sendo dada menos ênfase ao fator fundamental que é a sua durabilidade. Além disso, Silva (1995) salienta que, quando o produto é usado como material de acabamento, a aparência deve ser incluída como uma de suas qualidades essenciais, além da resistência e da durabilidade.

A aparência (estética) da estrutura é muito afetada pelo meio ambiente. Ocorrerá alteração da cor do concreto devido à poeira, sujeira e fuligem, que se depositam na superfície do material. Estes danos são ainda maiores nas estruturas de concreto aparente moldadas com cimento Portland branco estrutural.

Além disto, é necessário destacar que a vulnerabilidade do concreto diante de condições desfavoráveis é um fator bastante preocupante na avaliação da vida útil de estruturas, pois uma durabilidade inadequada pode gerar sérias complicações, comprometendo a utilidade do material e a saúde dos usuários.

Ainda são escassos os estudos que analisam a durabilidade de concretos moldados com cimento portland branco. No entanto, algumas pesquisas já realizadas, (SINGH et al, 1991; CARVALHO e CALAVEIRA, 2002; KATZ, 2002, entre outros) podem indicar, de alguma forma, características de concretos moldados com este tipo de cimento. Também pode-se destacar os trabalhos realizados na UFRGS/RS, quanto à carbonatação e absorção capilar (KIRCHHEIM, 2003) e sobre as mudanças calorimétricas ao longo do tempo (PASSUELO, 2004), além de diversos estudos realizados em parceria com a Fundação Iberê Camargo e com a Construtora Camargo Corrêa, com o objetivo de especificar adequadamente o concreto que seria utilizado para a construção do Museu Iberê Camargo em Porto Alegre (KIRCHHEIM,2004 et al).

Carvalho e Calavera (2002) investigaram a influência do tipo de cimento (branco e cinza), relação água/cimento e tipo de pigmento incorporado ao concreto. O estudo consistiu na exposição dos corpos-de-prova, durante um período aproximado de um ano, aos seguintes ambientes: câmara de cura, ciclos de molhagem / secagem, exposição à radiação ultravioleta e à intempérie. Sobre os corpos-de-prova curados em ambiente de laboratório foram

determinados, aos 35 dias de idade, as coordenadas cromáticas, porosidade, absorção por capilaridade, profundidade de carbonatação, permeabilidade à água sob pressão e resistência à compressão. Para o ensaio de porosidade os concretos foram ensaiados seguindo o método indicado pela ASTM C 642. Os valores obtidos com relação à permeabilidade indicam que o concreto fabricado com cimento branco é mais permeável que o fabricado com cimento cinza (CP-II). Para o ensaio de carbonatação natural, a incorporação de pigmento não afetou de forma significativa a profundidade de carbonatação, sendo que, apenas no concreto com adição de pigmento amarelo percebeu-se um incremento na mesma (CARVALHO E CALAVERA, 2002).

## 2.6 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO PIGMENTADO

O uso de concreto pigmentado de cimento Portland branco não é recente, mas nos últimos anos é que se expandiu o seu uso, tanto em bloquetes de concreto, como em telhas, pisos e, mais recentemente, atualmente em fachadas e grandes vão. Os concretos cromáticos podem ser produzidos de três formas: pintando a superfície do concreto depois de endurecido; incorporando pigmentos dentro da mistura ou simplesmente selecionando as cores dos agregados miúdos e graúdos e no tipo de cimento, obtendo assim uma coloração derivada da comparação das cores naturais nos materiais componentes.

Através da adição de pigmentos à mistura de concreto pode-se elaborar concretos cromáticos com qualquer tipo de cimento e agregados. No entanto, os cimentos Portland convencionais se caracterizam por tonalidades escuras, o que, limita a produção de concretos de cores escuras. Além disso, as cores produzidas com esses tipos de cimento não são fiéis às cores dos pigmentos acrescidos, pois acabam sofrendo influência da tonalidade acinzentada do cimento.

Com o surgimento do cimento Portland branco estrutural a possibilidade de produção de concretos cromáticos foi ampliada, já que com este tipo de cimento alcança-se uma melhor reprodução das cores dos pigmentos. Este tipo de cimento permite naturalmente a produção de concretos em tons muito mais claros, mais próximos dos pigmentos adicionados.

Segundo Passuelo (2004), a pintura da superfície de concreto, em relação às demais opções, é a menos atraente. Além de estar revestindo e alterando a textura e aparência natural do concreto, possui uma vida útil que pode ser muito inferior à do material que está cobrindo,

necessitando de um maior número de intervenções para a manutenção durante a vida útil da estrutura. É necessário equacionar todos os custos que estarão envolvidos no processo de pintura, principalmente aqueles que não serão imediatos.

Em relação à utilização de pigmentos na mistura, surge a necessidade de se adicionar um novo elemento constituinte, que além de elevar o custo, acarreta a necessidade de ajustar o traço para sua dispersão na mistura. Mesmo assim, o uso de pigmentos tem aumentado, pois permitem uma liberdade cromática maior. Na Europa, 50% da produção de óxido de ferro já é utilizada para colorir o concreto. No Brasil a destinação da produção é apenas de 5% do total. (MAWAKDIE, 1998).

Com a adição de pigmentos, pode-se elaborar concretos cromáticos com qualquer tipo de cimento e agregados. Entretanto, os cimentos Portland convencionais se caracterizam por tonalidades escuras e são incapazes de produzir concretos de cores claras. As cores produzidas com cimentos convencionais não serão fiéis às cores dos pigmentos, pois essas sofrem forte influência da cor cinza do cimento. Utilizando o cimento Portland branco obtém-se uma melhor reprodução das cores dos pigmentos. Esse tipo de cimento permite ainda a produção de concretos de cores brancas, sem nenhum tipo de pigmento seja adicionado. A opção mais atraente, sem dúvida, é a de manipular os elementos e acrescentar o pigmento à mistura, mas para isso, é necessário verificar a influência destes pigmentos nas propriedades do concreto fresco e endurecido, que será foco da parte experimental desta pesquisa.

## 2.7 UTILIZAÇÃO DO CONCRETO PIGMENTADO

O custo de uma obra em concreto colorido pode superar em 30% o valor de uma obra em concreto tradicional, segundo Mawakdiye (1998), apud Passuelo (2004). Esse aumento não se deve apenas ao acréscimo de pigmento à mistura do concreto, mas também, diversos outros fatores de tecnologia de produção necessitam ter um controle mais rigoroso. O controle da colorimetria do concreto se torna tão importante quanto da resistência e durabilidade do concreto.

Segundo Mawakdie (1998), menos de 1% da produção total de concreto no Brasil é cromática representando, algo em torno de doze milhões de metros cúbicos por ano. O Brasil ainda tem



preferência pelo cimento cinza, mas já se pode destacar algumas obras em concreto pigmentado.

As primeiras peças pré-fabricadas em concreto colorido, no Brasil, a ganharem destaque foram os pavimentos intertravados denominados “*pavers*”. Diversas praças e parques foram construídos utilizando esse material, conforme ilustra a figura 9. Esse sistema construtivo permite que o projetista faça desenhos e formas no piso, o que deixa muito atrativo esteticamente.



Figura 9: Pavimentação Bairro da Liberdade em São Paulo

fonte: <http://www.revistaprisma.com.br/arquitetura>

Pisos industriais de alta resistência ao tráfego de pedestres e de máquinas estão sendo executados com concreto cromático moldado “*in loco*” . Também pode-se destacar, conforme ilustram as figuras 10 e 11, o aspecto estético de pisos em concreto colorido que estão sendo executados em shopping centers, galerias, halls de entrada de hotéis, entre outros.

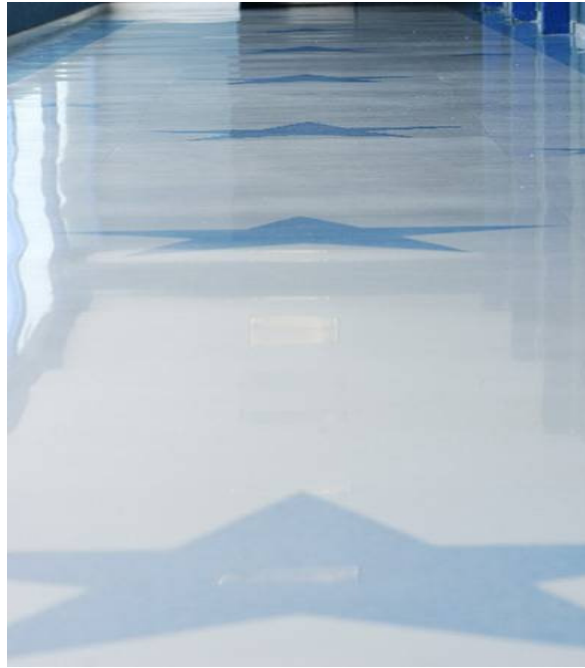


Figura 10: Piso em concreto pigmentado

Fonte: livro Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, (Ibracon 2005)



Figura 11: Piso em concreto pigmentado

Fonte: livro Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, (Ibracon 2005)

Destacam-se ainda, as estruturas em concreto armado aparente, que incluem edifícios, pontes e viadutos. Uma das obras mais recentes que utilizou concreto colorido foi o Edifício E-Tower, em São Paulo, conforme ilustrado nas figuras 12, 13 e 14. O projeto arquitetônico é assinado pelo escritório de arquitetura Aflalo e Gasperini. Trata-se de um edifício comercial tipo torre, de 148 metros, que é o terceiro mais alto da cidade. Com a utilização de pigmentos de óxido de ferro foi assim dar uma tonalidade avermelhada ao concreto dos pilares. Conforme descreve Passuelo (2004), esta obra foi projetada com altíssimas resistências, batendo recordes de resistência. Adicionando pigmento ao concreto que foi utilizado nos elementos estruturalmente mais importantes, facilitou o controle tecnológico do mesmo. Assim, grandes pilares de concreto aparente e pigmentado na coloração avermelhada caracterizam o arranha céu, construído na Vila Olímpia, zona sul de São Paulo.

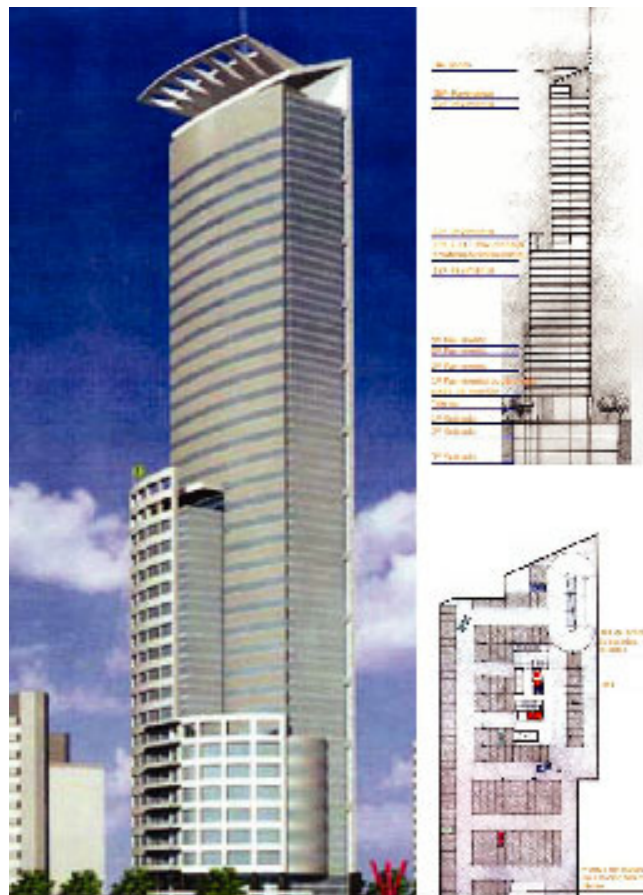


Figura 12: Projeto Edifício E- Tower

Fonte: <http://www.construsite.com.br>



Figura 13: Vista geral do pilares do Edifício E- Tower /SP

Fonte: <http://www.construsite.com.br>



Figura 14: Detalhe colunas Edifício E- Tower/SP

Fonte: <http://www.construsite.com.br>

No cenário internacional, a construção da Catedral de Los Angeles, ilustrada nas as figuras 15 e 16, teve repercussão ao utilizar metacaulin e um pigmento ocre à mistura, como explica, (Selna e Monteiro, 2001). O projeto arquitetônico desta obra é assinado pelo arquiteto espanhol José Rafael Moneo.



Figura 15: Vista da Fachada Catedral de Los Angeles/USA

Fonte: <http://www.olacathedral.org>

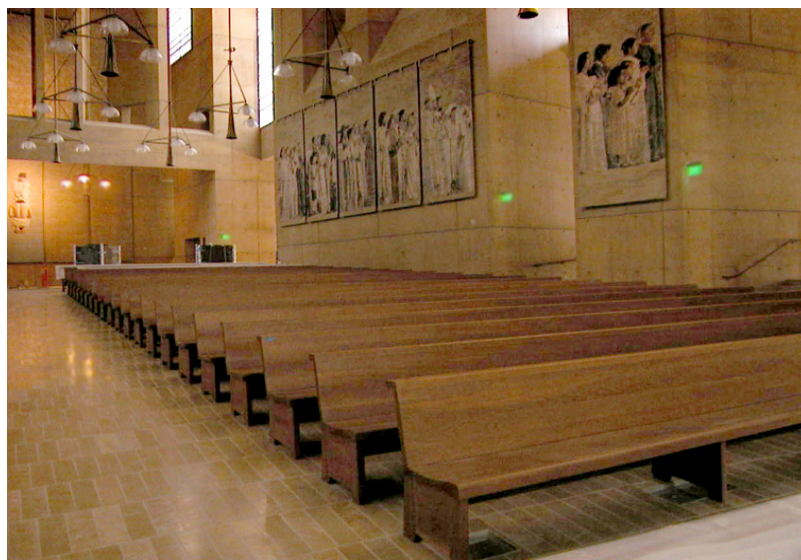


Figura 16: Detalhe interior da Catedral de Los Angeles/USA

Fonte: <http://www.olacathedral.org>

De acordo com a PCA– Associação de Cimentos Portland, o concreto de cimento Portland branco pode oferecer outras vantagens, além dos propósitos estéticos. A alta refletância representada por este material pode ser útil até mesmo para a redução de energia elétrica.

Como por exemplo, a sua utilização em pisos de ambientes internos de edificações, reduzindo o grau necessário de iluminação artificial. O aspecto de higiene que o concreto branco transfere é muito interessante para a indústria de alimentos, frigoríficos e hospitais.

Nos Estados Unidos, na cidade de Chicago, o Departamento de Transportes decidiu utilizar meios-fios produzidos em concreto branco em um trecho da Avenida Norte. A cor branca do concreto proporciona melhor visibilidade na demarcação, chamando a atenção dos pedestres e motoristas e facilitando o fluxo do trânsito. Além do mais, os meios-fios em concreto branco requerem menores custos de manutenção, tornando a sua utilização mais atrativa. (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2002)

## 2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo existindo poucas pesquisas que caracterizam os concretos pigmentados moldados com cimento Portland branco, os resultados apresentados por elas, demonstram o desempenho similar ou até superior aos dos concretos moldados com cimento Portland cinza. Assim, o uso deste material, justifica-se não só pelo aspecto estético mas principalmente pelo alto desempenho apresentado. A variedade cromática, que possibilita os concretos pigmentados, tem conquistado novos adeptos e expandindo a criatividade dos projetistas.

Neste capítulo, pode-se destacar os elementos artísticos dentro dos projetos e o potencial na utilização de concretos cromáticos, novas tendências e exemplos. No capítulo seguinte é realizada uma revisão bibliográfica sobre os pigmentos possíveis de acréscimo à mistura.

### 3 PIGMENTOS

O homem utiliza as cores há mais de 20 mil anos. O primeiro corante a ser conhecido pela humanidade foi o Negro-de-Fumo (*Carbon Black*). De acordo com investigações, por volta de 3.000 a.C., foram produzidos alguns corantes inorgânicos sintéticos, como o Azul Egípcio. Sabe-se que os caçadores do Período Glacial pintavam, com fuligem e ocre, as paredes das cavernas reservadas ao culto, criando obras que resistem há milênios. Com o tempo, muitos corantes naturais foram sendo descobertos. O vermelho das capas dos centuriões romanos era obtido de um molusco chamado *Murex*, um caramujo marinho. Outro corante também muito utilizado era o índigo natural, conhecido desde os egípcios até os bretões, extraído da planta "*Isatis tinctoria*". O primeiro corante orgânico sintetizado com técnica mais apurada foi o Mauve, obtido em 1856, por William H. Perkin. O cientista trabalhava em seu laboratório caseiro, estudando a oxidação da fenilamina, também conhecida como anilina, com dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ).

As construções, num âmbito geral, têm passado por mudanças. Hoje o uso de pigmentos para colorir o concreto é uma alternativa viável e esteticamente aceitável. Sobre esse aspecto é que o seu uso tem se tornado cada vez mais freqüente. Utilizados há bastante tempo, os pigmentos vem passando por uma evolução acentuada nos últimos anos. Os fabricantes oferecem os pigmentos em pó ou diluídos em água, facilitando assim a mistura do concreto. Os pigmentos mais utilizados atualmente são produzidos a partir da sucata de ferro velho, de onde é extraído o óxido de ferro, conhecido como ferrox.

As linhas ferrox mais utilizadas são sintéticas, com uma cartela de tonalidades variadas. As cores se multiplicam em tons de amarelo, ocre, areia, terra, laranja, preto, marrom e vermelho, entre outras, e são utilizadas em artefatos de concreto: telhas, pisos, blocos, fachadas pré-fabricadas, argamassas, rejuntas e todos os tipos de produtos à base de cimento e peças estruturais de concreto. Dependendo do cimento a que são adicionados, branco ou cinza, os pigmentos produzem diferentes resultados cromáticos.

A versatilidade do óxido de ferro para pigmentos é abrangente, pois os diferentes processos de oxidação resultam em cores distintas, de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). A primeira cor é o amarelo; com uma determinada variação de temperatura,

consegue-se o vermelho. Retirando-se o oxigênio do processo, obtêm-se o preto. As outras cores são combinações desses pigmentos básicos.

Já os pigmentos nas cores azul ou verde e suas nuances quase não são utilizados no Brasil, devido ao alto custo. Para essas nuances é preciso utilizar pigmentos inorgânicos, o óxido de cromo e o óxido de cobalto. Estas cores também podem ser obtidas com pigmentos orgânicos, porém estudos indicam que a sua durabilidade em áreas externas é pequena. Em áreas internas já é possível utilizá-lo com mais segurança.

Segundo trabalhos apresentados pela Bayer, empresa que comercializa alguns desses pigmentos, a partir de 5% de adição de pigmento em relação à massa do cimento, o concreto resultante começa a perder sua resistência. Esta afirmação também está presente em outros artigos da empresa Lanxess que produz pigmentos para a construção civil.

Alguns fatores podem influenciar no resultado final do concreto pigmentado, conforme descreve, Rojas (2003):

- a) procedência e cor do cimento;
- b) acabamento superficial;
- c) relação com a quantidade de poros;
- d) relação água/cimento;
- e) cor e tipo dos agregados;
- f) quantidade de pigmento.

### 3.1 PIGMENTOS ORGÂNICOS

Os pigmentos orgânicos se caracterizam funcionalmente para o conferir cor a um sistema. Sua aplicação é bastante difundida em diferentes materiais e substratos. São materiais orgânicos sintéticos obtidos através de sínteses químicas, derivados do petróleo e do carvão. Podem ser aplicados em tintas e vernizes empregados na indústria automotiva, da construção civil e diversos produtos industriais. A versatilidade das aplicações deve-se à possibilidade de obtenção de pigmentos orgânicos não só de todas as nuances de cores, como também de todos



os níveis de resistência solicitados pelos materiais onde serão aplicados. Além disso, são materiais não poluentes.

### 3.2 PIGMENTOS À BASE DE ÓXIDO

A tabela 4 apresenta as constituições químicas de pigmentos a base de óxidos de ferro

Tabela 4: Constituição química dos produtos a base de óxidos de ferro.

Cor	Componente	Fórmula	Variações de Cor
Vermelho	Óxido de ferro III	$\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$	Amarelo - Azul
Amarelo	Hidróxido de Ferro	$\alpha - \text{FeOOH}$	Verde - Vermelho
Preto	Óxido de ferro II e III	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Azul - Vermelho
Marrom	Óxido de ferro	Misturas	
Verde	Óxido de Cromo	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Azul - Amarelo
Azul	Óxido de Cobalto	$\text{Co}(\text{Al},\text{Cr})_2\text{O}_4$	Vermelho - Verde

Fonte: <http://abiquim.org.br/corantes>

Esses pigmentos são largamente utilizados no mercado e suas principais características são:

- a) opacidade elevada;
- b) alto poder de cobertura;
- c) facilidade de uso;
- d) ótima relação custo/ benefício;
- e) possibilidade de produtos micronizados e de baixa absorção de óleo.

Os óxidos, por sua forte ligação química metálica, possuem resistência extremamente forte à luz. Isso também se dá devido ao fato de que a ligação do íon ferro ser mais estável, ou seja, a sua oxidação garante uma estabilidade que, em condições normais, não é quebrada. O pH dos óxidos pode variar dependendo da tonalidade e da finura do grão. A aplicação desses pigmentos são diversas, e cada vez mais atrativa para o mercado consumidor.

Devido à alta opacidade e poder de cobertura, são comumente utilizados em combinação com outros corantes orgânicos e corantes, para reduzir os custos da formulação. Existem ainda alguns óxidos amarelos que são constituídos por  $\text{Fe.ZnO}$ ,  $\text{Fe (MnO}_4\text{)}$ , que são produtos especiais para altas resistências térmicas, especialmente desenvolvidos para o mercado de plásticos. Os óxidos naturais (em geral de ferro) são produtos diferentes dos óxidos sintéticos. Eles mantêm as propriedades químicas dos mesmos, porém, mesmo existindo produtos com excelente qualidade, em geral, possuem teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em proporção menor e contaminantes.

A tabela 5 apresenta um comparativo entre os óxidos naturais e sintéticos

Tabela 5: Comparativo entre as propriedades dos óxidos naturais e sintéticos.

Natural	Sintético
Minério processado	Processo Químico
Baixo teor de $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Alto teor de $\text{Fe}_2\text{O}_3$
Alto consumo	Baixo consumo
Alto teor de impurezas	Baixo teor de impurezas
Custo mais baixo	Custo mais alto
Opacidade mais baixa	Opacidade mais alta
Poder colorístico menor	Poder colorístico maior
Saturação de cor menor	Saturação de cor maior
Estável no concreto e resistente a intempéries	Estável no concreto e resistente a intempéries
Limitações Colorimétricas	Alta faixa colorimétrica

Fonte: Revista Ibracon

### 3.2.1 Produção dos óxidos

As figuras 17 à 19 ilustram o caminho para a confecção dos óxidos de ferro.



Figura 17: Componentes de Hidróxido de Ferro

Fonte: Brentag indústria química



Figura 18: Produção de Hidróxido de Ferro

Fonte: Brentag indústria química

## PROCESSO DE ACABAMENTO

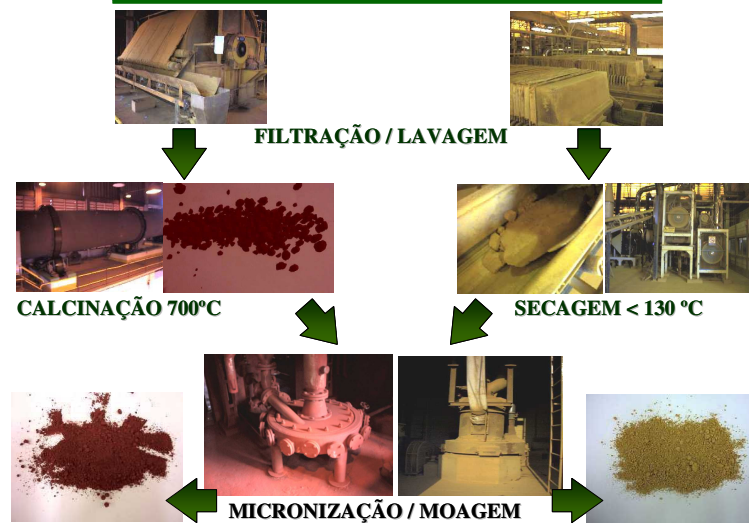


Figura 19: Moagem e finalização

Fonte: Brentag indústria química

## **4 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

No presente capítulo encontra-se a descrição do Programa Experimental, que foi desenvolvido com base no traço de concreto utilizado no Museu Iberê Camargo, acrescentado de dois tipos de pigmentos distintos, em três cores. Foram adicionados à mistura do concreto dois tipos de pigmentos, de fabricantes distintos, à base de hidróxido de ferro, denominados pigmento “A” e pigmento “B”. Por tratar-se de produtos largamente utilizados na indústria da construção civil. As cores experimentadas foram o vermelho e amarelo para o pigmento “A” e o vermelho, o amarelo e o verde para o pigmento “B”. Segundo especificações do fabricantes dos pigmentos, é recomendado a adição de 5% de pigmento em relação à massa de cimento. Foram escolhidas três percentagens (3%, 6% e 9%) para avaliar o comportamento desses concretos pigmentados. Essas porcentagens foram sugeridas com base na bibliografia, que sugere a diminuição da resistência com teores superiores a 5%. Adotou-se assim, um percentual mais baixo e dois acima desta percentagem. Todas as atividades foram desenvolvidas nos laboratórios de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) e do Núcleo Orientado para inovação da edificação (NORIE). A seguir são descritos os materiais e métodos utilizados ao trabalho.

### **4.1 TRAÇO DE CONCRETO UTILIZADO**

O traço de concreto utilizado no programa experimental foi o mesmo utilizado na construção do Museu Iberê Camargo, em Porto Alegre. Este foi desenvolvido em conjunto pela empresa construtora e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NORIE/LEME), sofrendo diversos ajustes em função da adequação às condições de canteiro, otimização dos materiais e métodos. Para este trabalho foi utilizado o traço que estava sendo aplicado em agosto de 2005 pela construtora, e que consta na tabela 6.

Tabela 6: Traço utilizado na obra do Museu Iberê Camargo em agosto de 2005

Materiais	Traço (em massa)
Cimento	1
Sílica Ativa	0,60
Filer	1,60
Areia	2,13
Pedrisco	0,04
Água	0,45
Aditivo Superplastificante	0,0133
Aditivo Retardador de pega	0,0053
Aditivo modificador de viscosidadeVMA	0,008

Fonte: Construtora Camargo Corrêa

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

A seguir estão caracterizados os materiais utilizados no programa experimental deste trabalho.

### 4.2.1 Cimento

O cimento utilizado no programa experimental foi um cimento branco estrutural CPB 40, proveniente de uma fonte nacional. Segundo as especificações do fabricante, o mesmo possui brancura superior a 85%, proporcionando grande fidelidade de cor quando pigmentado. Todo o cimento empregado foi proveniente de um mesmo lote. A tabela 7 apresenta as características químicas do cimento utilizado, sendo esta caracterização efetuada pelo laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER/UFRGS e as característica físicas e mecânicas, estas fornecidas pelo fabricante do cimento utilizado. Pode-se observar um elevado teor de

óxido de cálcio e reduzido teor de óxido de ferro, responsável pela cor acinzentada dos cimentos convencionais. Cabe ainda ressaltar que o cimento foi o mesmo utilizado no trabalho de Passeulo em 2004.

Tabela 7 – Caracterizações químicas, físicas e mecânicas do cimento branco utilizado.

Caracterização Química			Caracterização Física	
Composição	Teor (%)			
Óxido de Cálcio	CaO	68,9567	Finura – 325%	1,82
Dióxido de Silício	SiO <sub>2</sub>	18,4629	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,02
Trióxido de Enxofre	SO <sub>3</sub>	5,1197	Área Específica – Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4398
Óxido de Alumínio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,683	Início de Pega	1h 50 min
Óxido de Magnésio	MgO	2,3962	Fim de Pega	2h 30 min
Óxido de Potássio	K <sub>2</sub> O	0,5277	Resistência à compressão (Mpa)	
Óxido de Estrôncio	SrO	0,2521		
Óxido de Sódio	Na <sub>2</sub> O	0,2146		
Óxido de Manganês	MnO	0,0423	3 dias	7 dias
<b>Cloro</b>	Cl	0,0344	30,1	38,02

Fonte: Passeulo (2004)

#### 4.2.2 Sílica Ativa

Pode-se incorporar ao concreto diversos tipos de adições, dentre elas se destacam os fílers, a cinza volante, a sílica ativa e, mais recentemente, o metacaulin. No caso de concretos brancos o cuidado mais evidente que se deve ter é em relação a cor, já que a fração fina presente na mistura terá forte influência na coloração final do concreto (FONSECA E NUNES,1995 apud Passuelo, 2004).

Conforme Serra (2003), a sílica ativa contribui largamente para melhorar o desempenho do concreto, as propriedades reológicas do concreto fresco; a granulometria torna a mistura mais compacta. Com isso eleva a resistência da pasta e sua durabilidade. Segundo Mehta e Monteiro (1994), a sílica ativa é um subproduto de fornos das indústrias de silício metálico e ligas de ferro-silício. A redução de quartzo a silício, em temperaturas de até 2000°C, produz vapor de SiO, que oxida e condensa, em zonas de temperatura mais baixa, formando a sílica não cristalina.

Segundo Dal Molin (1995), as propriedades do concreto em estado fresco e endurecido são modificados com a utilização da sílica ativa. A adição de sílica ativa exerce um papel mais efetivo que os fílers na pasta de concreto, por que age de forma química, reagindo com o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  e formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H). A substituição do hidróxido de cálcio por C-S-H secundário tem grande importância técnica, pois estes cristais grandes e de baixa resistência acabam por se constituir na fase mais fraca da matriz. A tonalidade da sílica ativa varia de cinza claro a cinza escuro, quando da sua utilização, deve tomar cuidado para não afetar na tonalidade do concreto branco. A sílica ativa utilizada no traço do Museu Iberê Camargo, foi proveniente de um mesmo lote. As características químicas e físicas da sílica ativa, fornecida pelo fabricante, encontra-se na tabela 8 a seguir.



Tabela 8: Características químicas e físicas da sílica ativa

Elementos Químicos	Teor(%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00
CaO	0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09
MgO	0,44
K <sub>2</sub> O	0,93
Na <sub>2</sub> O	0,22
SiO <sub>2</sub>	95,1
Perda ao Fogo (%)	2,32
Massa Específica (kg/cm <sup>3</sup> )	0,43
Superfície Específica (m <sup>2</sup> /g)	14,20
pH	8,48
Umidade (%)	0,67

Fonte: Construtora Camargo Corrêa

#### 4.2.3 Fíler

Trata-se de materiais moídos finamente, que apresentam aproximadamente a mesma finura do cimento Portland. Este tipo de adição é geralmente inerente, mas possui um efeito físico muito importante. Ao preencher os vazios deixados pelos agregados, estes materiais têm efeito benéfico sobre várias propriedades do concreto, tais como trabalhabilidade, densidade, permeabilidade, capilaridade ou tendência à fissuração (Neville, 1997 apud Passuelo, 2004). O filer utilizado no traço é proveniente de uma mineradora de Hulha Negra, no Rio grande do sul.

#### 4.2.4 Agregado Graúdo

Os agregados ocupam, normalmente, mais da metade do volume do concreto. Com isso os mesmos influenciam diretamente no seu comportamento. A natureza do agregado e sua granulometria são as características que mais afetam a mistura de concreto. A relação entre o agregado e a qualidade do concreto pode ser percebida tanto no estado fresco como após o seu endurecimento. (PASSUELO, 2004).

O agregado graúdo tem um papel menos relevante e normalmente não é visível na superfície do material e tem pouca influência sobre a cor, se não estiver contaminado de material pulverulento. A tonalidade destes materiais tem que ser considerada ao se dimensionar o teor de argamassa do concreto, pois a tonalidade final pode ser afetada pelo uso de um agregado graúdo de cores fortes (FONSECA E NUNES, 1995 apud KRASOWSKY, 1997).

A adoção de procedimentos para a retirada de materiais pulverulentos quanto à necessidade de um teor de argamassa mais elevado influenciam no custo final do concreto. Desta forma agregados graúdos de cores mais claras poderão apresentar vantagens econômicas em relação aos demais. Os agregados graúdos mais utilizados no estado do Rio Grande do Sul são de origem basáltica ou granítica.

Com o intuito de se conseguir uma tonalidade mais clara, pode-se ampliar o leque de opções de material a serem considerados como agregados potenciais na mistura do concreto. A opção por agregados mais claros acaba tornando mais fácil o controle da aparência superficial de estruturas realizadas com concreto branco. Dentro desse panorama é que se encaixam, como opção de uso, os agregados provenientes das rochas calcárias.

O agregado graúdo utilizado no programa experimental possui origem calcária e é procedente de Hulha Negra. Sua composição granulométrica e química estão descritas nas tabelas 9 e 10 respectivamente. A sua composição química está ilustrada na tabela 10. Segundo a NBR 7211 pode ser classificado como brita 1 e com dimensão máxima característica de 19mm. O processo de obtenção desse material é o mesmo do que aquele empregado para o basalto. Este foi o mesmo utilizado no programa experimental de Kirchheim em 2003.

Tabela 9: Características do agregado graúdo

Determinações	Método de Ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida	
		ABNT (mm)	Individual	Acumulada
Composição granulométrica	NBR 7217	19,00	0	0
		12,5	61	61
		9,5	28	89
		6,3	9	98
		4,8	1	99
		2,4	1	100
		1,2	-	100
		0,6	-	100
		0,3	-	100
		0,15	-	100
		<0,15	-	100
		Dimensão máxima característica (mm)	NBR 7117	19,0
Módulo de finura	NBR 7117	6,88		
Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	NBR 9776	2,681		
Absorção da brita (%)		1,67		

Fonte: Kirchheim, (2003)

Tabela 10: Característica da rocha

CaO	28,27%
MgO	14,12%
Resíduo Insolúvel	11,30%

Fonte Mineradora de Hulha Negra

#### 4.2.5 Agregado Miúdo

Segundo Metha e Monteiro (1994), as características dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto incluem porosidade, absorção de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade, composição granulométrica, forma e textura superficial das partículas e os tipos de substâncias presentes.

O calcário também foi utilizado como agregado miúdo. A grande quantidade de finos nas misturas com a utilização deste material cria uma preocupação para se obter uma trabalhabilidade adequada no estado fresco e um bom acabamento superficial do concreto quando endurecido.

O pó calcário é produzido nos mesmos equipamentos que se produz para a agricultura e tem sua classificação específica para areia mediante peneiramento. As características físicas e distribuição granulométrica estão relacionadas na tabela 11. De acordo com a NBR 7220 (ABNT,1987), não se constatou impurezas orgânicas.

Tabela 11: Caracterização do agregado miúdo

Determinações	Método de Ensaio	Resultados obtidos		
Composição granulométrica	NBR 7217	Abertura da peneira	Percentagem retida	
		ABNT (mm)	Individual	Acumulada
		4,80	0	0
		2,40	5	5
		1,20	16	21
		0,60	31	52
		0,30	40	92
		0,15	8	100
		<0,15	0	100
Dimensão máxima característica	NBR 7117	2,4mm		
Módulo de finura	NBR 7117	2,70		
Massa específica	NBR 9776	2,626 kg/dm <sup>3</sup>		

Fonte: Kirchheim, (2003)

#### 4.2.6 Aditivo Superplastificante

Trata-se de um aditivo superplastificante de última geração com, base em uma cadeia de éter carboxílico modificado. A tabela 12 apresenta a caracterização do aditivo utilizado na pesquisa.

Tabela 12: Características do aditivo superplastificante

Função Principal:	Superplastificante de 3ª geração
Base química:	policarboxilatos
Aspecto:	Líquido viscoso
Cor:	Bege
Densidade:	1,067 a 1,107g/cm <sup>3</sup>
pH:	5 a 7
Sólidos:	28,5 a 31,5%
Viscosidade:	95 a 160 cps

Fonte: Degussa Construction Chemicals Brasil

#### 4.2.7 Aditivo Modificador de Viscosidade

Foi utilizado um aditivo líquido modificador de viscosidade. Trata-se de uma solução aquosa de polímeros de alto peso molecular. Este aditivo pode auxiliar em concretos com a ausência de finos, incrementando a sua bombeabilidade.

Em estado fresco possui as propriedades de aumentar a estabilidade durante o transporte e lançamento, ocasionando uma redução da segregação mesmo em traços altamente fluídos, reduzindo ou eliminando a exodação e promovendo uma, ação tixotrópica que enrijece o concreto depois de colocado, efeito mínimo no tempo de pega e evita segregação durante o

bombeamento. A tabela 13 apresenta a caracterização do aditivo modificador de viscosidade utilizado.

Tabela 13: Características do aditivo modificador de viscosidade

Aspecto:	Líquido
Cor:	Transparente
Densidade:	0,980 a 1,020
pH:	9 a 10,5
Viscosidade:	250 a 550 cps

Fonte: Degussa Construction Chemicals Brasil

#### 4.2.8 Aditivo Retardador

O aditivo líquido retardador utilizado possibilita o controle de hidratação do cimento por até 72 horas, permitindo a realização de concretagens a longa distância da usina e concretagens complexas relacionadas ao tempo de pega do concreto. Foi utilizado no Museu Iberê Camargo em função das dificuldades relacionadas ao lançamento do concreto. Na tabela 14 observa-se a caracterização do aditivo retardador adotado.

Tabela 14: Características do aditivo retardador

Aspecto:	Líquido
Cor:	Incolor
Densidade:	1,080 a 1,120 g/cm <sup>3</sup>
pH:	1 a 5
Dissolução:	Total
Estabilidade Térmica	+ 1°C

Fonte: Degussa Construction Chemicals Brasil

#### 4.2.9 Água

Para a confecção deste trabalho foi utilizada água da rede de abastecimento local.

#### 4.2.10 Pigmentos

Foram utilizados pigmentos provenientes de 2 fabricantes, ambos à base de hidróxido de ferro, nas cores vermelho, amarelo e verde.

O pigmento “A” tem aspecto de um pó fino, insolúvel em água. O composto hidróxido de ferro utilizado é um pigmento inorgânico de tonalidade vermelho e amarelo, com fórmula química (FeOH) e forma de partícula acicular. Sua produção passa por diversos estágios, conforme descrito anteriormente, envolvendo a precipitação do oxi-hidróxido férrico. Após é purificado através da filtração com lavagem da massa para retirada de sais solúveis, secagem e moagem, recebendo controle analítico em todas as fases do processo. A tabela 15 ilustra as propriedades físico-químicas do pigmento “A”.

Tabela 15: Dados físico-químicos do pigmento “A”

	Mín.	Máx.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	85	89
Umidade (%)	-	0,50
Absorção de óleo (g/100g)	15	25
Densidade Específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,80	4,20
Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,50	0,90
pH	4,0	8,0

Fonte: Rojas, (2003)



O Pigmento “B” é um subproduto à base de óxido de ferro, é bastante utilizado para pigmentar telhas, pisos, argamassas e blocos, entre outros. Não é tóxico. O fabricante recomenda que em ambientes externos venha acompanhado de impermeabilizantes, vernizes ou resinas para manter sua tonalidade inalterada ao longo do tempo. Possui as mesmas características físico-químicas do pigmento “A”, conforme ilustra a tabela 16., passando pelo processo de lavagem para a retirada de sais solúveis.

Tabela 16: Dados físico-químicos do pigmento “B”

	Mín.	Máx.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	85	89
Umidade (%)	-	0,50
Absorção de óleo (g/100g)	15	25
Densidade Específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,60	4,30
Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,40	0,85
pH	4,5	8,0

Fonte: Rojas, (2003)

Existe uma peculiaridade no pigmento verde, a sua formulação tem base orgânica. Suas características físico-químicas estão descritas na tabela 17 a seguir.

Tabela 17: Dados físico-químicos do pigmento “B” verde

	Mín.	Máx.
Umidade (%)	-	0,50
Absorção de óleo (g/100g)	10	15
Densidade Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,6	2,8
Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,0	1,1
pH	8,0	9,0

Fonte: Rojas, (2003)

A tabela 18 a seguir ilustra as características granulométricas dos pigmentos utilizados no programa experimental.

Tabela 18: Análise granulométrica dos pigmentos utilizados

Pigmento		Abertura de Peneiras conforme ABNT (mm)				
		0,6	0,3	0,15	0,075	Fundo
Pigmento "A"	% retida	0	31,76	29,78	29,56	8,18
amarelo						
Pigmento "A"	% retida	0	0,26	21,88	50,34	26,98
vermelho						
Pigmento "B"	% retida	0	16,00	34,12	34,16	15,20
amarelo						
Pigmento "B"	% retida	0	7,74	28,98	36,82	26,46
vermelho						
<b>Pigmento "B"</b>	% retida	0	0	0,9	8,4	90,7270
<b>verde</b>						

A figura 20 a seguir ilustra a quantidade de cada material a ser utilizado em uma concretagem.



Figura 20: Materiais Utilizados para a concretagem

### 4.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO

No trabalho experimental foram feitas dezesseis misturas de concreto branco. A primeira permaneceu sem a adição de pigmento para ser o concreto testemunho. Esta então se caracteriza por ser similar ao traço utilizado na construção do Museu Iberê Camargo, em Porto Alegre. As outras quinze foram feitas com a mesma composição do testemunho, mais a adição de pigmentos, nas tonalidades vermelho, figura 21, amarelo, figura 22, e verde. A sua porcentagem de pigmento variou entre 3%, 6% e 9%, em relação à massa do cimento. Para cada tonalidade e quantidade de pigmento, foram confeccionados dez corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm, totalizando 160 corpos-de-prova. Os materiais foram colocados sempre na mesma ordem, utilizando-se uma betoneira de eixo vertical. O processo de moldagem seguiu as especificações previstas na norma brasileira NBR 5738 (1994). Como desmoldante foi utilizada parafina líquida, aplicada com esponja embebida na forma minutos antes da concretagem, evitando a utilização dos óleos habituais de desmoldagem, sob pena de surgirem manchas de gordura. O adensamento foi feito de forma mecânica com vibrador de imersão. Após os corpos-de-prova serem desmoldados, conforme ilustra as figuras 23 e 24, foram dispostos em câmara úmida, com umidade superior a 95% e temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , onde permaneceram por mais 28 dias, conforme NBR 9479 (1986). O capeamento foi realizado com enxofre, 24 horas antes do rompimento.



Figura 21: Mistura de concreto, pigmento “A” Vermelho



Figura 22: Mistura de concreto pigmentado “A” amarelo





Figura 23:Corpos-de-prova após concretagem



Figura 24:Corpos-de-prova após desforma

O controle de trabalhabilidade foi realizado através do ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump*), segundo o procedimento sugerido pela norma NBR 7223/82, como ilustra a figura 25. O abatimento inicial foi fixado em  $16 \pm 2$  cm, o mesmo fixado pela obra.



Figura 25: Abatimento de tronco de Cone “Slump”

#### 4.4 ENSAIO REALIZADO

Os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples, de acordo com a norma técnica NBR 5739 (ABNT,1994), com a idade de 28 dias, conforme ilustra a figura 26. Para o ensaio foi utilizada uma prensa computadorizada japonesa SHIMADZU, com 2000 kN de capacidade máxima de aplicação de carga e precisão de 0,1kN. A velocidade de aplicação de carga foi definida em 0,3 MPa/s.



Figura 26: Ensaio de resistência à compressão



As figuras 27, 28, 29 e 30 mostram o aspecto dos corpos-de-prova após rompimento.



Figura 27: Corpo de prova testemunho



Figura 28: Corpo de prova amarelo



Figura 29: Corpo de prova verde



Figura 30: Corpo de prova vermelho

## **5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados dos ensaios executados no trabalho. Os dados obtidos no ensaio de resistência à compressão com o rompimento dos corpos-de-prova receberam tratamento estatístico, que permitiu eliminar valores espúrios.

Após este tratamento preliminar foi realizada uma análise de variância (ANOVA), com o software STATISTICA, para verificar o efeito e o grau de significância apresentado por cada uma das variáveis de controle.

### **5.2. COMPORTAMENTO DO CONCRETO EM ESTADO FRESCO**

A figura 31 a seguir ilustra a influência da adição de pigmento no abatimento medido pelo tronco de cone antes do acréscimo para correção da trabalhabilidade pelo aditivo superplastificante e uniformização em  $16\pm 2\text{cm}$ .



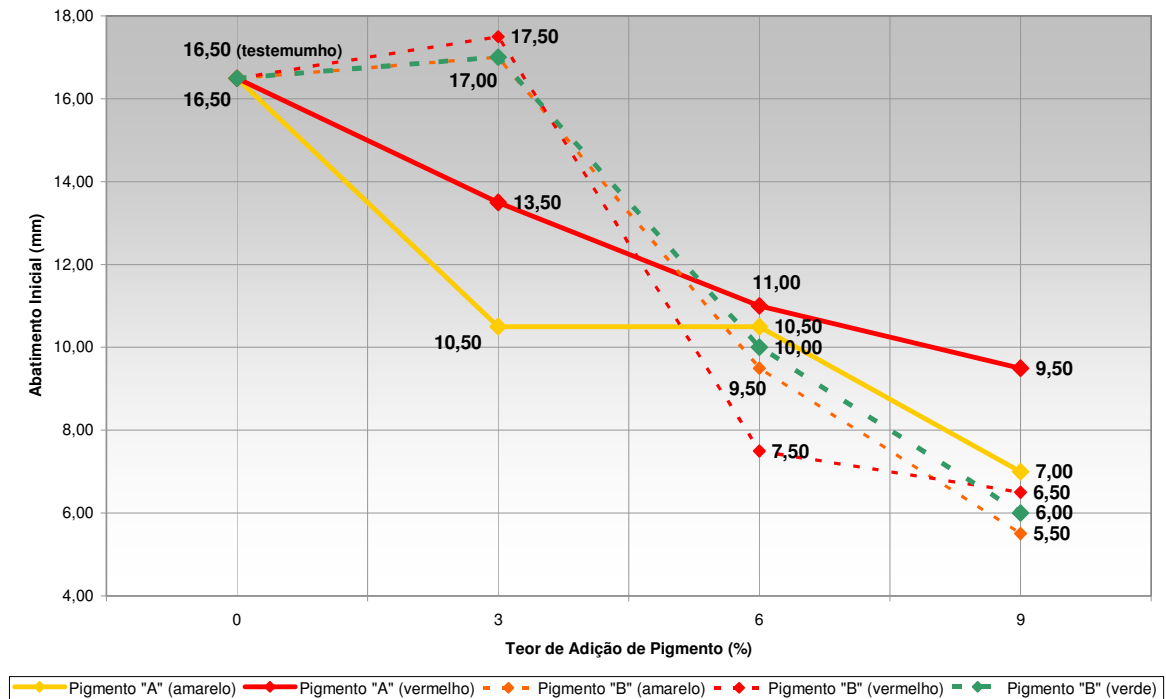


Figura 31: Influência da adição de pigmento no abatimento de cone “Slump”

A tabela 19 apresenta o abatimento de tronco de cone inicial, após a adição do pigmento e a quantidade de aditivo superplastificante necessária para a correção e uniformização do abatimento em  $16 \pm 2$  cm.

Tabela 19: Abatimento do tronco de cone inicial e a quantidade de aditivo necessária para regular o traço

Pigmento	Teor de Pigmento (%)	Abatimento inicial (mm)	Acréscimo de aditivo superplastificante (%)	Abatimento Final (mm)
Testemunho	teor	16,5	0,00	16,5
Pigmento "A" (amarelo)	teor	10,5	171,86	18,0
	teor	10,5	190,12	16,0
	teor	7,0	190,12	17,0
Pigmento "A" (vermelho)	teor	13,5	190,12	16,5
	teor	11,0	75,19	17,5
	teor	9,5	155,75	16,5
Pigmento "B" (amarelo)	teor	17,0	0,00	17,0
	teor	9,5	190,12	17,0
	teor	5,5	305,05	18,0
Pigmento "B" (vermelho)	teor	17,5	0,00	17,5
	teor	7,5	190,12	16,5
	teor	6,5	247,05	18,0
Pigmento "B" (verde)	teor	17,0	0,00	17,0
	teor	10,0	310,42	18,0
	teor	6,0	305,05	16,5

Conforme se verifica na figura 31 o abatimento de tronco de cone diminui à medida que aumenta o teor de adição de pigmentos, sendo necessário, então, aumentar o teor de aditivo superplastificante, para a correção da trabalhabilidade, o que encarece o concreto. A exceção é o pigmento "B" com 3%, o abatimento de tronco encontra-se dentro do limite, então podemos concluir que, com o pigmento "B" até 3% de adição de pigmento não necessita o acréscimo de aditivo e com isso, não encarecendo assim a massa.

A inclusão de materiais finos, como os pigmentos, tende a aumentar a demanda de água devido à elevada superfície específica, para que seja mantida a trabalhabilidade. Isto explica a perda de abatimento das misturas com o aumento do teor de pigmento, quando mantido o proporcionamento original do concreto. Outro fator que pode explicar as diferenças de perda

de abatimento é a forma das partículas, que quando esféricas tendem a afetar menos que partículas poliédricas e angulares, o que poderia ser investigado a partir de uma microscopia dos pigmentos utilizados.

A figura 32 ilustra a quantidade de aditivo utilizada para corrigir o abatimento de tronco de cone do traço em  $(16 \pm 2 \text{ cm})$ .

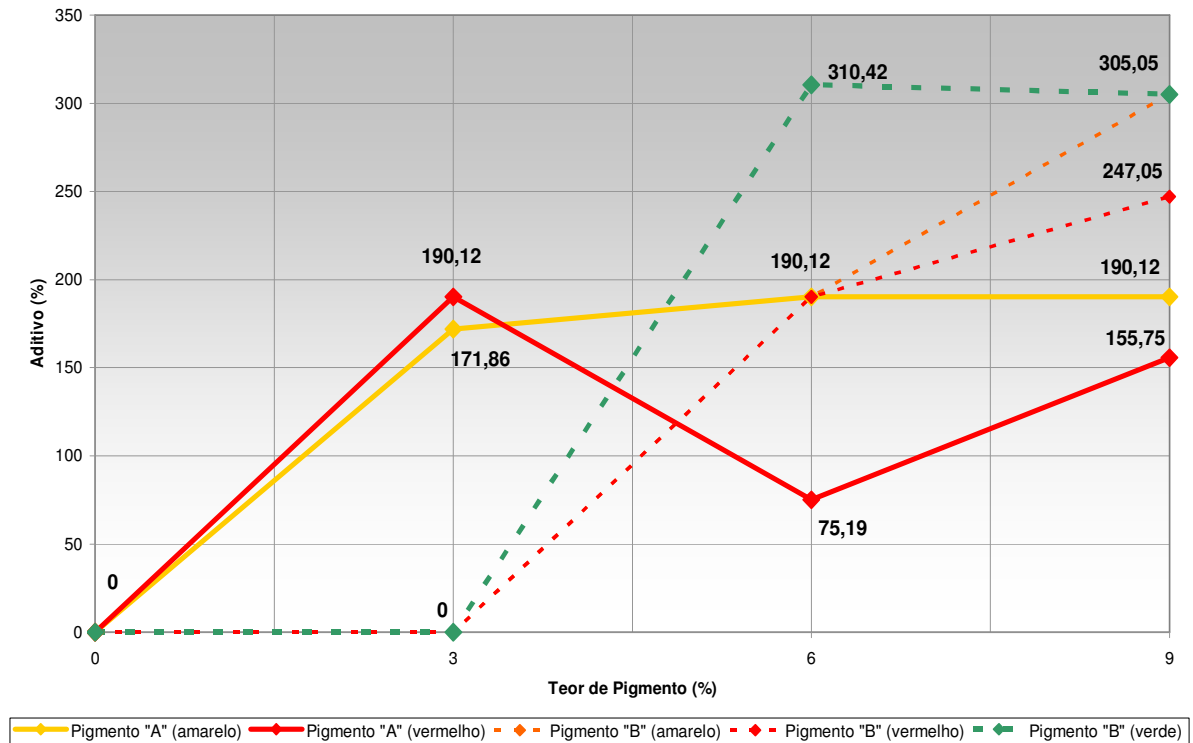


Figura 32: Quantidade de aditivo necessária para regularizar “slump”

O pigmento “B” foi o que precisou de maior quantidade de aditivo. Segundo especificações do fabricante, por se tratar de um subproduto do pigmento “A”, o pigmento “B” se comportaria dessa forma. Ainda, segundo o fabricante, o pigmento “B”, pode desbotar mais facilmente.

Até 3% o pigmento “B” não necessita acréscimo de aditivo, já o pigmento “A”, precisará em todos os índices do acréscimo de aditivo. Analisando os resultados pode-se afirmar que o acréscimo de pigmento afeta a trabalhabilidade e faz-se necessário a correção do traço, o que encarece a mistura.

O pigmento “B” até 3% não necessita de acréscimo de aditivo e analisando visualmente a tonalidade do pigmento no corpo de prova, a diferença entre 3%, 6% e 9% é muito pequena, quase imperceptível.

### 5.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A tabela 20 a seguir ilustra os valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova, bem como sua média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 20: Dados da Resistência à compressão

Pigmento	Teor de Pigmento (%)	Resistência à Compressão (MPa) - 10 Cps										Média (Mpa)	Desvio Padrão (Mpa)	Coef.de de Variação (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Testemunho	0	54,74	59,25	59,89	59,46	60,59	60,17	61,44	59,04	59,61	55,02	58,92	2,24	4
Pigmento "A" (amarelo)	3	28,07	52,06	54,95	53,75	39,01	49,24	42,89	36,19	56,01	46,49	45,86	9,21	20
	6	52,69	49,24	54,03	47,90	56,22	47,83	53,89	36,33	55,44	51,42	50,50	5,80	11
	9	53,82	47,47	48,04	37,60	58,83	51,63	54,17	49,66	53,89	48,88	50,40	5,69	11
Pigmento "A" (vermelho)	3	47,76	48,67	57,70	41,62	46,98	57,56	40,84	30,97	47,47	48,60	46,82	7,86	17
	6	59,82	46,63	38,51	41,12	33,93	53,89	45,64	58,12	39,93	55,73	47,33	9,07	19
	9	42,25	53,26	46,27	55,37	55,80	56,15	42,32	53,82	50,58	52,83	50,87	5,37	11
Pigmento "B" (amarelo)	3	58,48	59,04	57,70	59,75	57,28	57,35	59,75	57,98	57,91	51,78	57,70	2,27	4
	6	55,73	55,23	54,53	47,47	52,48	50,58	49,31	52,13	52,83	54,39	52,47	2,69	5
	9	60,81	59,61	58,90	39,43	56,50	57,49	57,77	53,47	58,76	59,54	56,23	6,24	11
Pigmento "B" (vermelho)	3	43,73	49,45	48,95	52,98	54,88	53,89	51,00	50,15	50,65	55,09	51,08	3,40	7
	6	44,30	42,96	45,15	43,81	46,20	39,29	45,64	43,10	44,86	48,04	44,33	2,33	5
	9	42,61	53,19	48,74	50,79	48,11	45,99	51,99	45,15	51,56	46,13	48,43	3,44	7
Pó Xadrez (verde)	3	44,93	52,27	51,78	52,90	53,54	50,93	50,93	49,73	49,94	52,20	50,92	2,43	5
	6	44,72	44,37	46,56	43,95	46,13	37,88	45,57	44,51	44,51	46,27	44,45	2,48	6
	9	34,42	42,46	43,52	43,24	43,45	44,16	42,82	43,81	36,68	41,90	41,65	3,32	8

## 5.4 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Para verificar quais fatores exercem um efeito estatisticamente significativo sobre a resposta, foi realizada uma análise de variância. A análise de variância compara estatisticamente a influência de cada fator estudado no experimento, bem como verifica se existe alguma interação entre eles. O uso da análise de variância na comparação de grupos está baseada na relação da variabilidade das médias entre grupos e na distribuição de Fischer (F), com nível de significância de  $\alpha$ . Para o presente estudo, toda a análise estatística foi realizada adotando um nível de significância de 95%. Adotou-se como variável de resposta dos ensaios mecânicos a resistência à compressão axial.

### 5.4.1. Pigmento “A”: amarelo

A tabela 21 mostra a análise de variância (ANOVA) realizada sobre dados, de modo a identificar a significância ou não das variáveis bem como sua interação do pigmento “A” na tonalidade amarela, na resistência à compressão.

Tabela 21: Análise de Variância para o pigmento “A” amarelo

Efeito	F (Calculado)	Significância	Significativo
Teor de adição de Pigmento	7,609703	0,000458	sim

Conforme a análise de variância, o teor de adição do pigmento “A” (amarelo) influencia significativamente a resistência à compressão dos concretos. A figura 33 mostra essa influência.

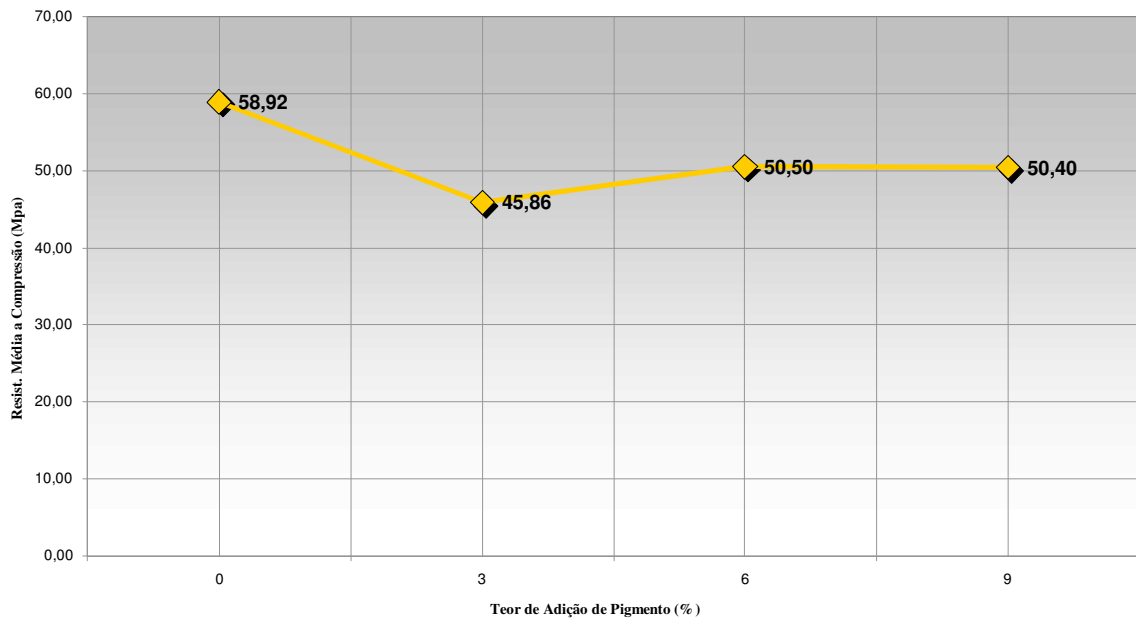


Figura 33: Efeito Médio de resistência à compressão em relação ao teor de adição do pigmento “A” amarelo

Com base nos resultados obtidos pela ANOVA e na figura 34, nota-se que houve diferenças significativas entre os valores de resistência, como esperado. Aumentando a adição de pigmento, a resistência dos concretos diminui. O que pode-se constatar é que no caso do Pigmento “A” amarelo a resistência em 3% de adição de pigmento é a mais baixa entre os teores, sendo 22% menor do que a do testemunho. Já quando aumenta para 6% a adição de pigmento, o concreto continua com a resistência menor em relação ao testemunho, reduzindo para 14% e permanece nesse patamar com 9% de adição de pigmento.

### 5.4.2. Pigmento “A”: vermelho

A tabela 22 ilustra a análise de variância (ANOVA) realizada sobre dados, de modo a identificar a significância ou não do teor de pigmento “A” vermelho na resistência à compressão.

Tabela 22: Análise de Variância para o pigmento “A” vermelho

Efeito	F (Calculado)	Significância	Significativo
Teor de adição de Pigmento	7,0280	0,000771	sim

Conforme a análise de variância, o teor de adição do pigmento “A” (vermelho) influencia significativamente a resistência à compressão dos concretos. A figura 34 mostra esta influência, o gráfico a seguir ilustra o efeito médio do teor de adição de pigmento:

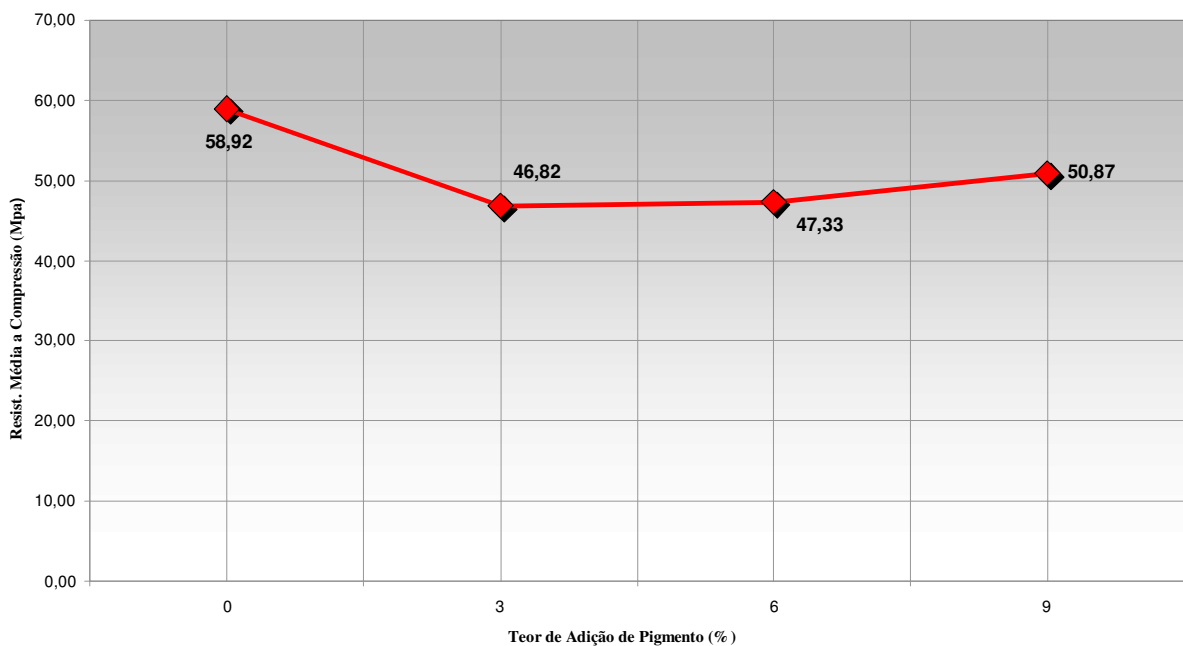


Figura 34: Efeito Médio de resistência à compressão em relação ao teor de adição do pigmento “A” vermelho



Para o pigmento “A” vermelho também se verifica uma diminuição da resistência com o acréscimo de pigmento a mistura, ficando o teor de 3% de pigmento 20% menos resistente que o testemunho. Já com 6% de adição este índice se mantém em 19%. Contrariando a bibliografia, com 9% de adição de pigmento à mistura essa aumenta a resistência chegando a ficar 13% menor que a do testemunho. Pode-se ressaltar ainda, que este pigmento nesta tonalidade foi o único que apresentou um aumento de resistência com o acréscimo de pigmento. Isso ocorreu com 9% de adição.

#### 5.4.3 Pigmento “B”: amarelo

A tabela 23 ilustra a análise de variância (ANOVA) realizada sobre dados, de modo a identificar a significância ou não do teor de pigmento “B” na tonalidade amarela.

Tabela 23: Análise de Variância para o pigmento “B” amarelo

Efeito	F (Calculado)	Significância	Significativo
Teor de adição de Pigmento	5,5676	0,003039	sim

Conforme a análise de variância, o teor de adição do pigmento “B” (amarelo) influencia significativamente a resistência à compressão dos concretos. A figura 35 mostra esta influência, o gráfico a seguir mostra o efeito médio do teor de adição de pigmento:

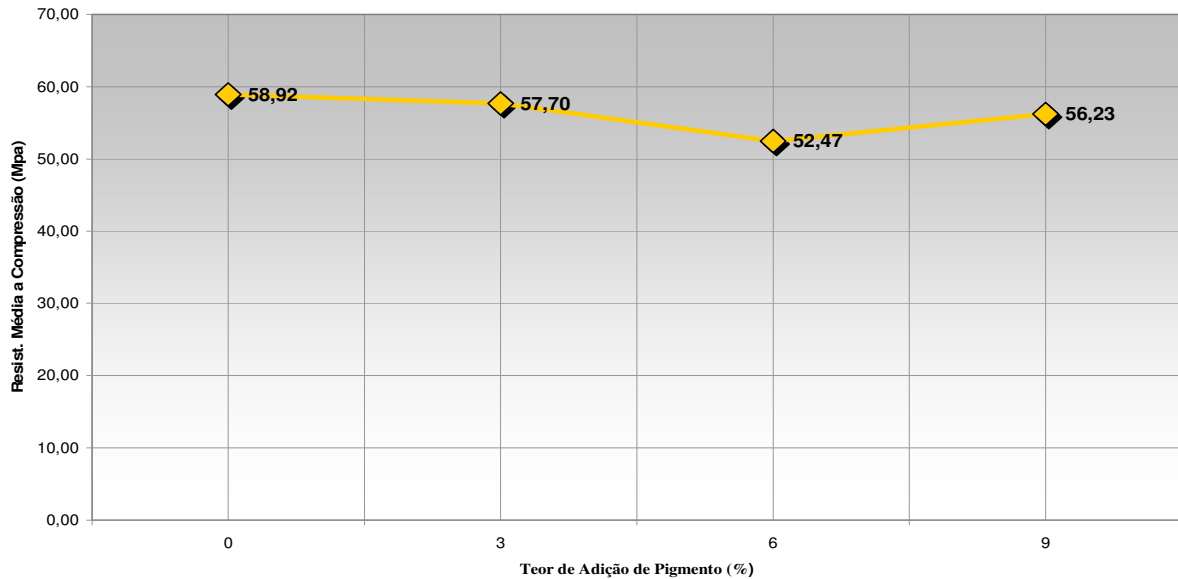


Figura 35: Efeito Médio do Teor de adição do pigmento “B” amarelo

No pigmento “B” amarelo, observa-se uma pequena diminuição na resistência com 3% de adição, apenas 2%. Já o índice de adição de pigmento a 6% resultou em uma diminuição de 10%, mantendo-se assim também a 9% no valor de 4% em relação ao concreto testemunho. Este é o pigmento que menos variou a sua resistência, ficando mais próximo do concreto testemunho.

#### 5.4.4 Pigmento “B”: vermelho

A tabela 24 ilustra a análise de variância (ANOVA) realizada sobre dados, de modo a identificar a significância ou não do teor de pigmento “B”, na tonalidade vermelha, na resistência à compressão.

Tabela 24: Análise de Variância para o pigmento “B” vermelho

Efeito	F (Calculado)	Significância	Significativo
Teor de adição de Pigmento	54,4371	0,0000	sim

Conforme a análise de variância, o teor de adição do pigmento “B” (vermelho) influencia significativamente a resistência à compressão dos concretos. A figura 36 mostra esta influência, o gráfico 41 a seguir ilustra o efeito médio do teor de adição de pigmento:

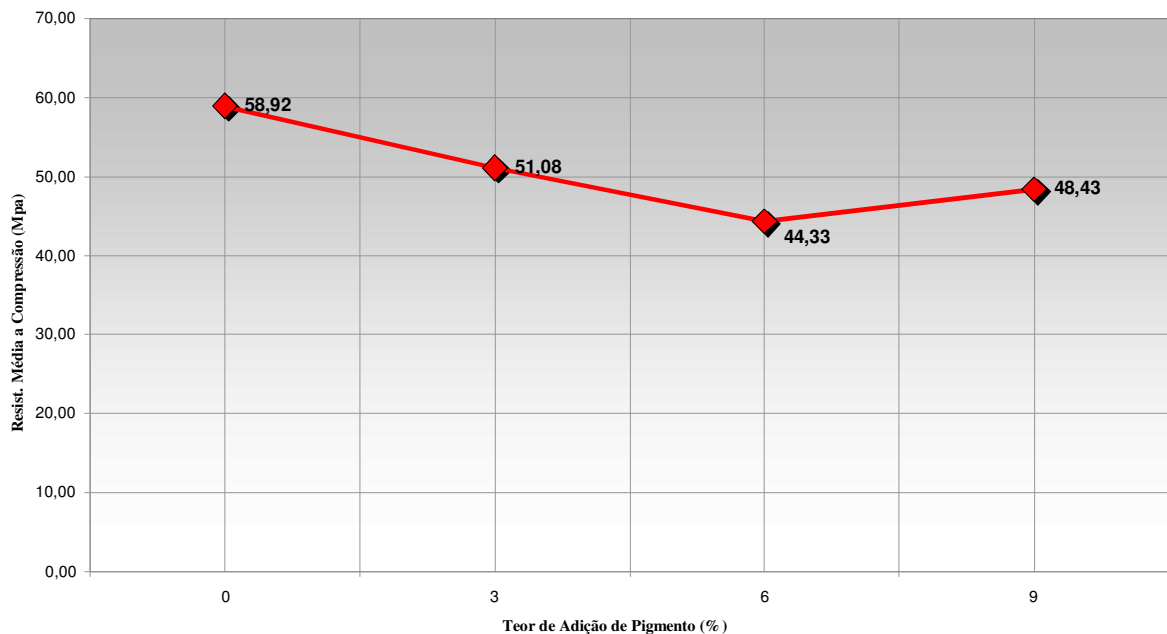


Figura 36: Efeito Médio do Teor de adição do pigmento “B” vermelho

O pigmento “B” vermelho teve uma diminuição da resistência com 3% de adição de 13%, chegando a cair 24% com adição de pigmento a 6%. Também contrariando a bibliografia, a 9% de adição de pigmento a resistência teve um declive de 17% em relação ao testemunho.

### 5.4.5 Pigmento “B”: verde

A tabela 25 ilustra a análise de variância (ANOVA) realizada sobre dados, de modo a identificar a significância ou não do teor de pigmento “B” na tonalidade verde, na resistência à compressão.

Tabela 25: Análise de Variância para o pigmento “B” verde

Efeito	F (Calculado)	Significância	Significativo
Teor de adição de Pigmento	83,9050	0,0000	sim

Conforme a análise de variância, o teor de adição do pigmento “B” (verde) influencia significativamente a resistência à compressão dos concretos. A figura 37 mostra esta influência, o gráfico a seguir ilustra o efeito médio do teor de adição de pigmento:

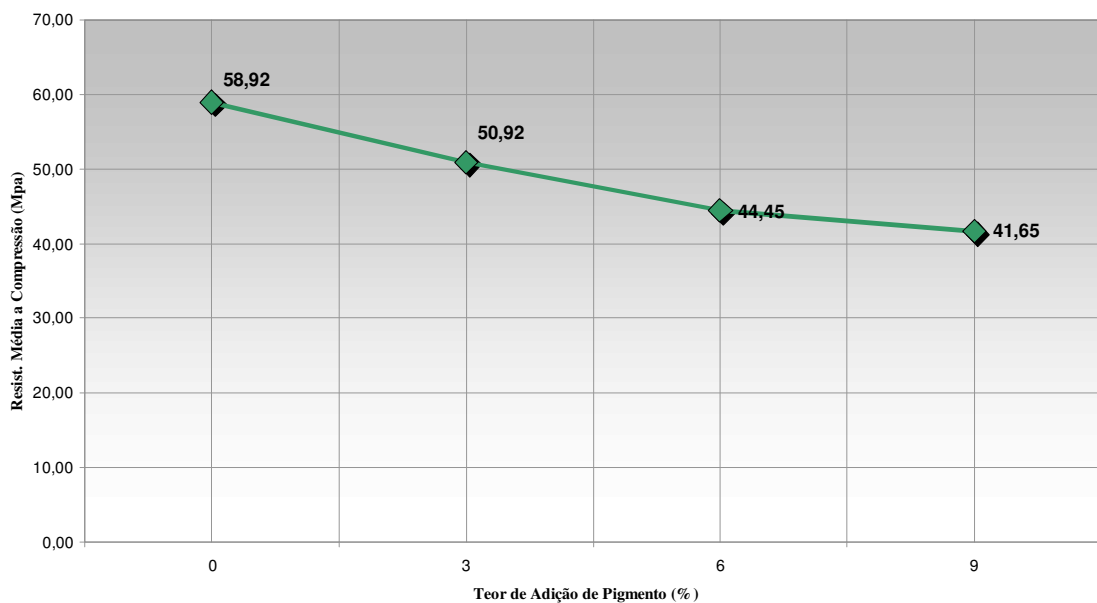


Figura 37: Efeito Médio do Teor de adição do pigmento “B” verde

O pigmento “B” verde teve uma diminuição da resistência com 3% de adição de 13%, chegando a cair 24% com adição de pigmento a 6%. Esta tendência continuou a 9% de adição de pigmento a resistência atingindo 29% em relação ao testemunho. O pigmento “B” na tonalidade verde foi o que mais diminuiu a sua resistência, confirmando o que argumenta a bibliografia. Em se tratando de uma mistura para atingir a tonalidade verde, este apresenta resistência menor.

## 5.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE PIGMENTOS

As figuras 38 e 39 a seguir ilustram as resistências dos concretos conforme o tipo e teor de pigmento utilizado.

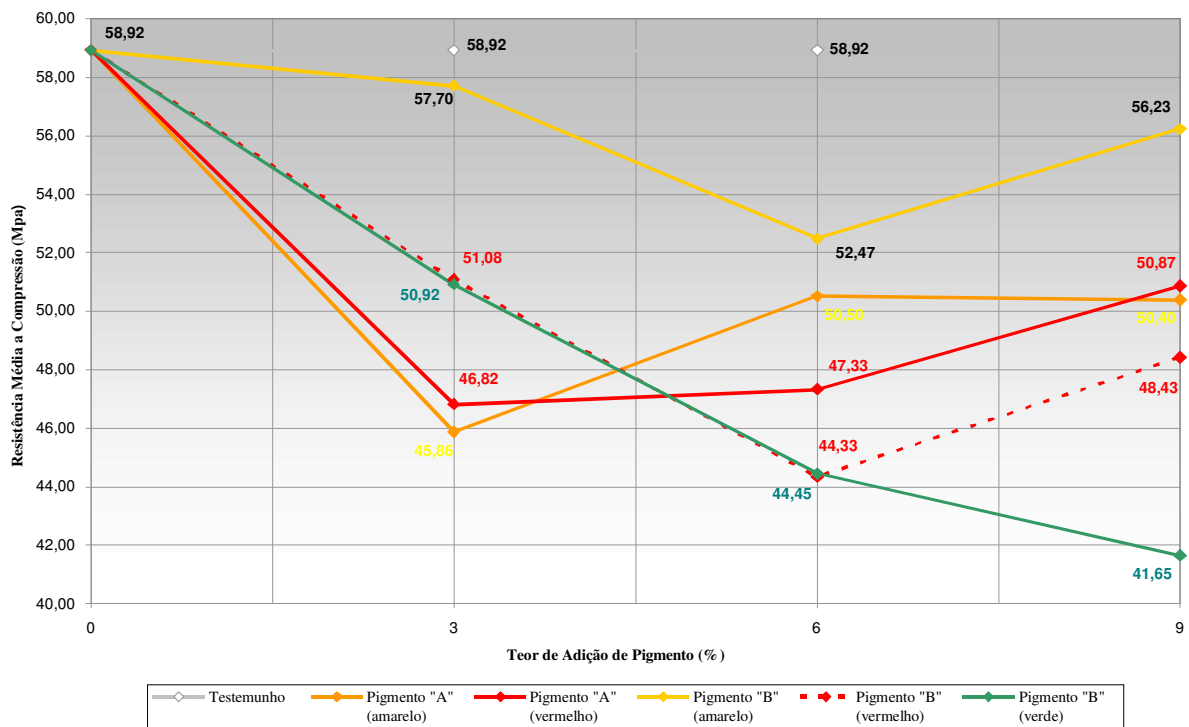


Figura 38: Comparação entre os tipos de pigmentos

Efeito Médio do Tipo de Adição

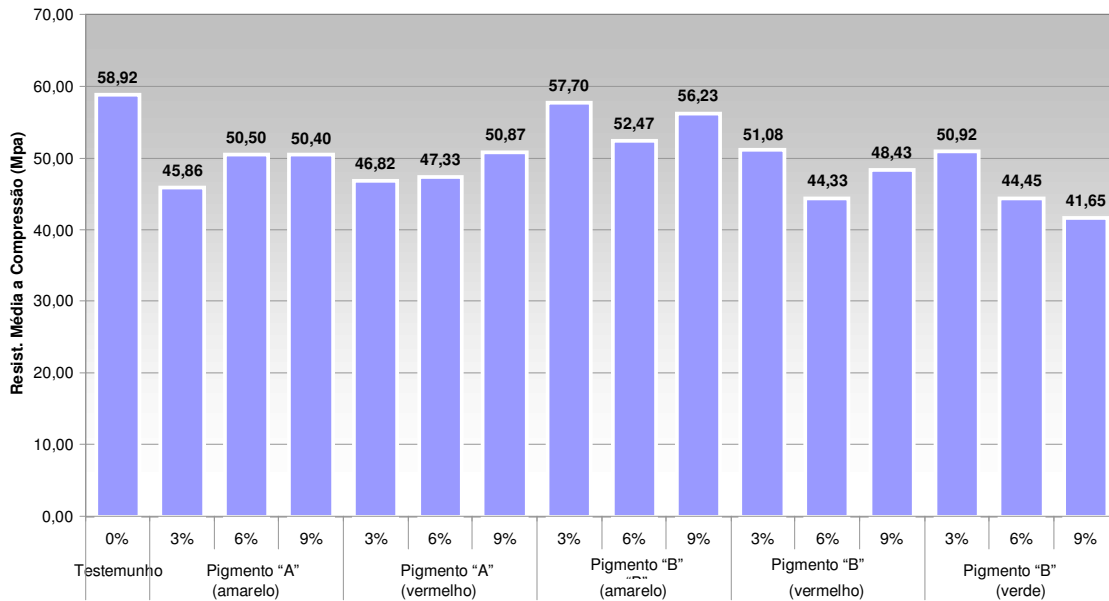


Figura 39: Efeito médio do tipo de adição

Uso de pigmentos, independente do tipo e da cor, resulta em queda de resistência, corroborando a bibliografia (ROJAS, 2003). No entanto, embora os autores coloquem que esta queda aconteça somente para teores superiores a 5%, neste trabalho observam-se quedas para todos os tipos e cores de pigmentos com apenas 3% de adição, chegando até a perdas de 29%.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento da demanda de obras com concreto branco pigmentado, o sucesso dessas novas obras só será atingido quando estiver disponível um conhecimento maior quanto ao seu comportamento estrutural e arquitetônico. Para isso este trabalho buscou colaborar, através do estudo da adição de dois tipos de pigmentos, em três tonalidades, com três diferentes percentuais, em concretos brancos.

Neste capítulo serão apresentados as principais conclusões extraídas da pesquisa, obtidas a partir da análise dos resultados dos ensaios de comportamento mecânico de Concretos pigmentados produzidos com cimento Portland branco estrutural. Ainda neste capítulo, são apresentados alguns temas para futuros trabalhos.

### 6.1 CONCLUSÕES

A partir do programa experimental e tomando como base os valores encontrados ao longo do desenvolvimento do trabalho pode-se afirmar que o concreto de cimento Portland branco estrutural perde resistência quando adicionado pigmentos. De um modo geral, quanto maior é a porcentagem do pigmento adicionado, em relação ao cimento, maior é a perda de resistência. Também pode-se constatar ainda que o pigmento “B”, por ser um subproduto do pigmento “A”, é o que mais perde resistência, principalmente em se tratando da tonalidade verde. Além disso, diferente do que nos informa a bibliografia, com 3% de adição de pigmento já se observa a diminuição na resistência em torno de 14%.

Com a adição de pigmento observa-se uma mudança significativa na trabalhabilidade do concreto de cimento Portland branco estrutural, sendo preciso o acréscimo de aditivo para regularizar o traço em doses elevadas, o que aumenta significativamente o custo deste concreto. Em relação ao tipo de pigmento, “A” ou “B”, não se observa diferenças significativas, por se tratar de pigmentos com a mesma origem, o Hidróxido de ferro, não pode-se afirmar que algum deles é superior.

O pigmento que teve sua resistência à compressão menos atingida foi o pigmento “B” na tonalidade amarela, o que também contraria a bibliografia, visto que o pigmento “B” seria inferior ao “A”.

## 6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O trabalho apresentado vem contribuir para o desenvolvimento das pesquisas sobre o concreto branco pigmentado. Como já foi citado anteriormente, o concreto branco pigmentado é um material relativamente novo no mercado e fazem-se necessário, ainda, muitos outros estudos, dentre estes podemos salientar:

- a) avaliação dos resultados do concreto branco pigmentado ao longo do tempo;
- b) influência da exposição ao tempo na tonalidade dos pigmentos;
- c) análise do uso de aditivos Hidrofugantes na composição do concreto colorido;
- d) análise do uso de aditivos anti-pichação na composição do concreto colorido;
- e) análise da influência da adição de pigmentos com teores inferiores a 2%;
- f) medidas cromáticas para avaliar diferentes porcentagens de pigmentos.



## REFERÊNCIAS

AÏTCIN, C. **Concreto de Alto desempenho**. São Paulo: PINI, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Atividades setoriais. Disponível em: [http://www.abquim.org.br/corantes/cor\\_aplicacoes.asp](http://www.abquim.org.br/corantes/cor_aplicacoes.asp) Acesso em: 20 ago. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. **Anais...** São Paulo, 2002. 28

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739 - **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738 – **Moldagem e cura de corpos de prova, cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 1994.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9479 – **Câmeras úmidas para a cura de corpos de prova de cimento e concreto**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica**: NBR 6474. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7223 – **Concreto determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM67: **Concreto determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1992.

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...** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Concreto, 2002 (CD-ROM).

CHANDRA, S.; BJÖRNSTRÖM, J. Influence of cement and superplasticizers type and dosage on the fluidity of cement mortars – Part I. **Cement and Concrete Research**. n. 32, 1605-1611, 2002.

DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com adição de microssilica**. 1995, 286 f. Tese (doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica, Universidade de São paulo, São Paulo, 1995.

FONSECA, A. A., NUNES, A. Betão Branco: fabrico, características e utilização estrutural. In: Jornadas de Betão,1995. **Anais...** Portugal: FEUP,1995

HAMAD, B. S. Investigations of chemical and Physical properties of white cement. **Advanced Cement based Materials**, 1995

HELENE, R. L.; GALANTE, R. Concreto Colorido, São Paulo,1999. In: Congresso Brasileiro do Cimento,5°. **Anais...** São Paulo: Congresso Brasileiro de Cimento (CBO),1999 (CD-ROM)

ISAÍÁ, G. C. Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. In **Concreto branco**, Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo,2005, IPISIS

KATZ; A. Properties of concrete made with recycle aggregate freon partially hydrated old concrete. **Cement and Concrete Research**,2002.

KIRCHHEIM, A. **Concreto de Cimento Portland Branco estrutural: avaliação da carbonatação e absorção capilar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,2003.

KIRCHHEIM, A. ; SOMMER L.; PASSUELO, A., DAL MOLIN, D.C.C.;SILVA FILHO,L.C. Estudo da absorção capilar em argamassas de cimento portland branco estrutural com diferentes teores de adições pozolânicas. In: Estac, São Paulo, 2004a.

KIRCHHEIM, A. ; PASSUELO, A., DAL MOLIN, D.C.C.;SILVA FILHO,L.C. Avaliação da penetração acelerada de cloretos em concretos moldados com cimento Portland branco estrutural. In: Seminário de Engenharia Oceânica, Rio grande do sul, Rio Grande, 2004b.

KIRCHHEIM, A. ; PASSUELO, A., DAL MOLIN, D.C.C.;SILVA FILHO,L.C. Durabilidade do Concreto Branco. In: Seminário de Patologia e novos materiais. Leme 30 anos, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004c.

KRASOWSKY, J. Concreto Arquitetónico: cuidados especiales em su fabricación. **Construcción y Tecnología**, 1997.

LEME. **Análise de Materiais e Definição de traço para utilização na confecção de concreto branco para o Museu Iberê Camargo**. Porto Alegre: Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LEA, F. M.; **The Chemistry of Cement and Concrete**. Ed. Edward Arnould. Great Britain, 1970.

MAWAKDIYE, A. Traço cromático. **Construção São Paulo**. São Paulo: n- 2617, 11-14, 1998.

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

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

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997, 2ª ed. 828 (Tradução da 4ª ed. em inglês).

PÁLLAS, O. **La fabricación del cemento blanco**. Cemento-Hormigón. Madrid: Ediciones Cemento S. L., 2002

PASSUELO, A. **Análise dos parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos a base de cimento branco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). What is the classroom. Disponível em: <http://www.cement.org/basics>. Acesso em 10 de outubro de 2005

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). Overview of the cement industry. Disponível em: <http://www.cement.org/basics/cementindustry.asp>. Acesso em 03 de novembro de 2005

ROBERTO, F. A. Da C. Balanço Mineral Brasileiro 2001. Disponível em [www.Drupm.gov.br/balanço01/pdf/cimento.pdf](http://www.Drupm.gov.br/balanço01/pdf/cimento.pdf). Acesso em 02 de outubro de 2005

ROJAS, D. L. O Fenômeno da Eflorescência , soluções construtivas. Bayer do Brasil, São Paulo,2003

SELNA, D.; MONTEIRO, J. M. Of Our Lady of the Angels. **Concrete International**. p 26-33, november 2001.

SILVA, F. A.; **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. São Paulo, PINI:1995

TAYLOR, H.F.W. **Cement Chemistry**. British Library, 1992.