

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INGRID RANGEL SANTIAGO

**Proposição de Requisitos de Desempenho para Elementos em  
Concreto Pigmentado em Edifícios**

São Paulo  
2021

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INGRID RANGEL SANTIAGO

**Proposição de Requisitos de Desempenho para Elementos em  
Concreto Pigmentado em Edifícios**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de pós-  
graduação *lato-sensu* em Tecnologia  
e Gestão na Produção de Edifícios

Orientador:  
Prof. MSc. Alexandre Britez

São Paulo  
2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catálogo-na-publicação

Santiago, Ingrid Rangel

Proposição de Requisitos de Desempenho para Elementos em Concreto Pigmentado em Edifícios / I. R. Santiago -- São Paulo, 2021.  
102 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Concreto Pigmentado 2.Concreto Aparente 3.Requisitos de desempenho I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Solange e Osmar pelo apoio  
e amor incondicional.  
Grata por tudo que proporcionaram.*

## **Agradecimentos**

À empresa onde atuo há quase 10 anos, Serviço Social do Comércio – Administração Regional do Estado de São Paulo, pelo apoio e incentivo aos estudos, contribuindo mais uma vez para realização de mais uma etapa da minha formação.

Aos professores e coordenadores do curso de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios Dra. Mércia Maria Semensato Bottura de Barros e Dr. Francisco Ferreira Cardoso pelos direcionamentos, contribuição e apoio.

Ao meu orientador Alexandre Britez e sua esposa Valéria Britez por toda assistência e amparo em todas as fases desta monografia.

À Química Tânia Regina Moreno da empresa Lanxess, que foi extremamente atenciosa e preocupada com as minhas solicitações.

Ao Arquiteto da Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP) Mauro Unti Halluli, que se disponibilizou e apresentou a obra do Museu do Ipiranga da USP, além de apresentar uma rede de contatos que auxiliaram os meus estudos.

Ao Arquiteto Eduardo Ferroni do escritório H+F Arquitetos, responsável técnico pelo projeto de ampliação e restauração do Museu do Ipiranga, pela disponibilidade e atenção.

À InterCement e sua equipe por me receber na central de concreto em São Bernardo do Campo e me explicar toda a logística e funcionamento do processo de dosagem do concreto.

À Concrejato e sua equipe, em especial ao Engenheiro Renato Encinas Lopes por permitir que eu acompanhasse os processos de execução da estrutura de concreto da obra do Museu do Ipiranga e a Engenheira Andreia Alves da Silva pela disponibilidade, colaboração, atenção e muita paciência comigo e por disponibilizar os dados e imagens que fazem parte deste trabalho.

Aos meus colegas de turma de pós-graduação que sempre estiveram presentes e me ajudaram de alguma forma, em especial: Rodolfo Ando Monteiro da Silva, Nicolý Lopes Fernandes, Líria Daniela M. Marangoni e Gabriela Frazão.

Aos meus familiares e amigos, em especial minha mãe Solange Rangel Claro Santiago e meu pai Osmar Santiago pelo apoio e incentivo, além de toda compreensão e auxílio para conclusão de mais um ciclo dos meus estudos e minha carreira profissional.

Ao meu noivo Daniel Nour Mourad que sempre apoiou minhas decisões e teve muita paciência durante a realização desta monografia.

**A Deus.**

## RESUMO

O uso do concreto já é bastante consolidado na construção civil e está em constante evolução através de diversos estudos de novas tecnologias que visam aprimorar suas propriedades. Por meio das pesquisas e estudos dos materiais, houve a inserção do concreto pigmentado, que trouxe inovação para os elementos em concreto aparente e a vantagem de não ter necessidade de revestimentos ou pinturas, agregando além da função estrutural, a perspectiva estética. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é indicar as principais diretrizes para execução de elementos em concreto pigmentado aparente para atendimento aos requisitos de desempenho propostos que estão relacionados à estética, durabilidade e manutenibilidade. Para atingir este objetivo, foi feito um estudo bibliográfico acerca do assunto, bem como, efetuado o estudo de caso através do acompanhamento do processo de execução do concreto pigmentado na obra de restauração, modernização e ampliação do Museu do Ipiranga do Museu Paulista da Universidade de São Paulo. Desta forma foi possível reunir as informações necessárias para propor os requisitos de desempenho estético, de durabilidade e manutenibilidade, e apresentar as diretrizes a serem seguidas e critérios mínimos a serem adotados para atender a esses requisitos.

Palavras Chaves: Concreto Pigmentado. Concreto Aparente. Requisitos de Desempenho.

## **ABSTRACT**

The use of concrete is already well established in civil construction and is constantly evolving through several studies of new technologies that aim to improve its properties. Through research and studies of the materials, pigmented concrete was inserted, which brought innovation to the elements in exposed concrete and the advantage of not having the need for coatings or paintings, adding in addition to the structural function, the aesthetic perspective. In this context, the objective of this work is to indicate the main guidelines for the execution of elements in apparent pigmented concrete to meet the proposed performance requirements that are related to aesthetics, durability and maintainability. In order to achieve this objective, a bibliographic study was made on the subject, as well as, the case study was carried out through the monitoring of the pigmented concrete execution process in the restoration, modernization and expansion of the Museu do Ipiranga of the Museu Paulista da Universidade de São Paulo. In this way, it was possible to gather the necessary information to propose the aesthetic performance, durability and maintainability requirements, and present the guidelines to be followed and minimum criteria to be adopted to meet these requirements.

Keywords: Pigmented Concrete. Apparent Concrete. Performance Requirements.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Influência do tipo de cimento na cor do concreto pigmentado .....	21
Figura 2 – Diagrama de cromaticidade xy .....	41
Figura 3 – Representação do sólido de cor para o espaço de cor $L^* a^* b^*$ .....	42
Figura 4 – Esquema do Sistema CIELab simplificado.....	43
Figura 5 – Variação do desempenho de uma estrutura ao longo do tempo.....	49
Figura 6 – Edifício-Monumento Museu do Ipiranga em 24/07/2020 .....	51
Figura 7 – Novos espaços propostos no projeto de restauro e modernização do Museu Paulista.....	53
Figura 8 – Perspectivas Projetos de Fôrmas.....	58
Figura 9 – Protótipos de cor e percentual de pigmentos .....	61
Figura 10 – Protótipos Aprovados pela Arquitetura (pigmento preto: Bayferrox 318PF – 4,5% e pigmento marrom Bayferrox 975M – 3%) .....	61
Figura 11 – Recorte do projeto de estruturas - Pilares em concreto pigmentado preto da área técnica.....	62
Figura 12 – Fôrmas e armaduras montadas para concretagem dos pilares da área técnica.....	63
Figura 13 – Fôrmas e armaduras montadas para concretagem da parede “teste” ...	63
Figura 14 – Laje teste (a) fôrmas montadas (b) vista da parte inferior da laje (cubetas) (c) vista da cobertura da laje sendo concretada.....	64
Figura 15 – Projeto de Estruturas, destaque para lajes e vigas da área técnica.....	65
Figura 16 – Fôrmas e armaduras das lajes e vigas da área técnica .....	65
Figura 17 – Caminhão betoneira sendo carregado manualmente (a) vista do pátio e (b) vista da plataforma.....	68
Figura 18 – Carregamento de brita e areia diretamente no silo (a). Cabine de comando de pesagem e dosagem dos materiais, sistema automatizado (b).....	68
Figura 19 – Ensaio de abatimento <i>Slump test</i> – Concreto Preto.....	69
Figura 20 – Ensaio de abatimento <i>Slump test</i> – Concreto Marrom .....	69
Figura 21 – Corpos de provas moldados .....	70
Figura 22 – Bomba lança sendo preparada para concretagem dos pilares .....	70
Figura 23 – Lançamento do concreto nos pilares (a), na parede “teste” (b) e na laje com vigas (c).....	71

Figura 24 – Adensamento do concreto fresco em cada um dos elementos estruturais .....	72
Figura 25 – Aspersão de água em parte da laje recém concretada, início do processo de cura. ....	73
Figura 26 – Parede "teste" após a desforma (a) vista frontal da parede (b) detalhe de aresta vertical (c) detalhe da aresta horizontal e encontro com a laje (d) vista na parte inferior da parede .....	74
Figura 27 – Laje “teste” (a) vista lateral e inferior (b) vista inferior, nervuras .....	75
Figura 28 – Laje “teste” (a) vista lateral e inferior (b) vista inferior, nervuras .....	76
Figura 29 – Pilar da Área Técnica desenformado .....	76
Figura 30 – Lajes e vigas da Área Técnica .....	77
Figura 31 – Execução de proteção do pilar em concreto pigmentado.....	78
Figura 32 – Pilares em concreto preto protegidos.....	78
Figura 33 – Planta chave com destaque para localização do Anexo de Serviços.....	81
Figura 34 – Ampliação do Anexo de Serviços.....	82
Figura 35 – Montagem das fôrmas do Anexo de Serviços.....	83
Figura 36 – Fôrmas do Anexo de Serviços montadas e protegidas .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Compostos principais do cimento Portland .....	22
Tabela 2 – Pigmentos Inorgânicos a base de óxidos .....	27
Tabela 3 – Efeitos dos aditivos sobre concreto cromático .....	29
Tabela 4 – Teores normalmente empregados de pigmentos .....	30
Tabela 5 – Valores totais de diferença de cor e avaliação a olho nu .....	44
Tabela 6 – Especificações materiais utilizados na mistura do concreto pigmentado	66
Tabela 7 – Resultados de ensaios de resistência à compressão.....	79
Tabela 8 – Ficha técnica empresas prestadoras de serviço .....	79
Tabela 9 – Teores normalmente empregados de pigmentos .....	89
Tabela 10 – Valores totais de diferença de cor e avaliação a olho nu .....	90
Tabela 11 – Vida útil de Projeto (VUP).....	94
Tabela 12 – Relação entre a classe de agressividade do concreto, qualidade do concreto e o cobrimento nominal .....	94

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Justificativa .....	16
1.2	Objetivos.....	17
1.3	Materiais e Métodos .....	17
1.4	Estruturação do trabalho .....	18
2	CONCRETO PIGMENTADO.....	19
2.1	Materiais Constituintes .....	19
2.1.1	Cimento Portland.....	20
2.1.2	Agregados .....	23
2.1.3	Adições Minerais .....	24
2.1.4	Pigmentos.....	26
2.1.5	Aditivos .....	28
2.2	Processo de Produção .....	29
2.2.1	Dosagem e Mistura.....	30
2.2.2	Fôrmas .....	31
2.2.3	Adensamento .....	34
2.2.4	Cura.....	36
2.2.5	Sistema de Proteção Superficial.....	38
2.3	Colorimetria .....	40
2.4	Durabilidade .....	45
2.4.1	Manifestações Patológicas .....	47
2.4.2	Manutenção.....	48
3	ESTUDO DE CASO – OBRA MUSEU DO IPIRANGA.....	51
3.1	Caracterização da obra .....	52

3.2	Especificações de Projetos – Concreto Pigmentado .....	54
3.2.1.	Projeto de Arquitetura .....	55
3.2.1.1	Fôrmas.....	55
3.2.1.2	Pigmentação do Concreto.....	55
3.2.1.3	Proteção Superficial.....	56
3.2.1.4	Recomendações Gerais.....	56
3.2.2	Projeto de Estruturas .....	57
3.2.3	Projeto de Fôrmas .....	58
3.2.4	Especificação dos Materiais, Dosagem e Diretrizes de Execução .....	59
3.3	Execução da Obra.....	60
3.3.1	Concretagem .....	61
3.3.1.1	Materiais e Dosagem .....	66
3.3.1.2	Carregamento e sequência de mistura .....	67
3.3.1.3	Recebimento.....	69
3.3.1.4	Lançamento .....	70
3.3.1.5	Adensamento.....	72
3.3.2	Cura.....	73
3.3.3	Acabamento e Proteção Superficial.....	73
3.3.4	Resultado .....	74
3.3.5	Ficha Técnica .....	79
4	DISCUSSÃO ESTUDO DE CASO .....	80
5	REQUISITOS DE DESEMPENHO.....	86
5.1	Desempenho Estético.....	86
5.1.1	Diretrizes .....	87
5.1.2	CrITÉrios de desempenho.....	89
5.2	Requisitos de Durabilidade.....	90

5.2.1	Diretrizes .....	92
5.2.2	Critérios de desempenho.....	93
5.3	Requisitos de Manutenibilidade.....	95
5.3.1	Diretrizes .....	96
5.3.2	Critérios de desempenho.....	97
6	CONCLUSÃO .....	98
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	100

## 1 INTRODUÇÃO

O segmento de construção civil está em constante crescimento e isso traz como consequência a inovação dos materiais e sistemas construtivos visando melhorar a produção, as propriedades e ainda a estética que, associadas aos conceitos de sustentabilidade, resultam em edifícios funcionais, eficientes e sofisticados.

Neste cenário de inovação, o uso de pigmentos para produzir concreto pigmentado foi inserido em projetos e obras no Brasil há alguns anos. Devido a suas diversas possibilidades de cores e durabilidade, é um material que pode agregar valor estético à edificação e ainda ter um fator econômico por não necessitar de revestimentos e pintura, o que também contribui para um cronograma mais enxuto da obra e menor custo de manutenção.

Apesar disso, mesmo não sendo novo no mercado, é um material ainda pouco explorado em obras de edifícios para fins arquitetônicos em território brasileiro. Isso pode ser devido ao seu custo mais alto quando comparado ao concreto convencional, e também por demandar maiores cuidados em sua produção, o que pode resultar em obstáculos para difundir seu uso e também pôr em dúvidas as suas vantagens.

Mesmo sendo um material com tecnologia bastante atraente sob o ponto de vista estético e funcional, são necessárias técnicas adequadas para execução para obter-se resultados satisfatórios de desempenho.

Quando o concreto pigmentado tem como função principal a estética, as fases de projeto e produção são consideradas as mais importantes. Deve-se ater-se à agressividade ambiental a qual estará submetida a edificação e ao tempo de vida útil, os tipos e quantidades de cada um dos materiais que compõe a mistura de concreto pigmentado, além de utilizar de técnicas mais precisas para executar o lançamento, o adensamento, a cura, a desforma e proteções superficiais a fim de evitar a porosidade do material e suas manifestações patológicas para assim garantir sua durabilidade, resistência e o aspecto superficial estético desejado.

Ainda que este material não seja novo na construção civil, observa-se que não há normas específicas pertinentes ao tema e também o número de trabalhos publicados que abordam procedimentos e métodos de execução são muito reduzidos. Desta forma este trabalho vem contribuir com o meio científico, apresentando as diretrizes mínimas para execução de concreto pigmentado para atingir os requisitos de qualidade estética, de durabilidade e manutenibilidade.

## **1.1 Justificativa**

O concreto é um material utilizado em larga escala no Brasil, principalmente devido às suas propriedades mecânicas e viabilidade econômica.

Para atender às exigências de mercado, este material é alvo de grandes inovações tecnológicas, principalmente com estudo de adições de outros tipos de materiais à mistura. Neste contexto está inserido o concreto pigmentado, onde há a adição de pigmentos e aditivos.

Este material veio para atender aos conceitos estéticos e arquitetônicos, porém pode apresentar características e propriedades diferenciadas ainda pouco estudadas.

No Brasil há uma carência de bibliografias sobre o tema citado, não havendo normas técnicas brasileiras específicas, e, portanto, sem parâmetros técnicos consolidados.

Tendo em vista tal demanda, este trabalho vem contribuir com a literatura sobre o tema, visando estabelecer parâmetros de desempenho para concreto pigmentado, abordando requisitos estéticos, de durabilidade e de manutenibilidade, bem como a proposição de diretrizes de execução e critérios de desempenho para atender a estes requisitos.

Atualmente a autora atua na empresa Serviço Social do Comércio – Sesc São Paulo, que está em fase de desenvolvimento de novos projetos que se inserem neste contexto, tendo como partido arquitetônico dos autores dos projetos, a utilização de concreto pigmentado em paredes e estruturas de parte das edificações.

O Sesc adota em seus projetos de novas unidades diversidade arquitetônica e sofisticação, porém, este material nunca fora utilizado em outras obras anteriormente, o que desencadeia certa insegurança da empresa em relação a sua execução e fiscalização dos serviços.

Desta forma, tendo em vista o desconhecimento sobre o uso de concreto pigmentado da empresa, principalmente no que diz respeito ao processo de produção, durabilidade e método e periodicidade de manutenção, é necessário um estudo aprofundado para obtenção de uma estrutura durável e com estética pretendida.

## 1.2 Objetivos

**Objetivo Geral:** Estabelecer as principais diretrizes para execução de elementos em concreto pigmentado aparente para atendimento aos requisitos de desempenho propostos.

**Objetivo específico:** Propor requisitos de desempenho estético, de durabilidade e de manutenibilidade.

## 1.3 Materiais e Métodos

Inicialmente foi feito o levantamento em bibliografias existentes disponíveis sobre concreto pigmentado, seus materiais e métodos de execução. Também se verificou bibliografias relacionadas à execução de concreto com cimento branco e aparente, bem como sua durabilidade, manifestações patológicas e manutenção.

Nessa etapa foram utilizados como referências bibliográficas livros, artigos e revistas técnicas, anais de congressos e seminários, dissertações e teses e sites de associações ou profissionais renomados.

A segunda etapa da pesquisa deste trabalho foi o acompanhamento em campo do estudo de caso na obra de restauração, modernização e ampliação do Museu do Ipiranga da Universidade de São Paulo, onde foi verificado o processo de execução do concreto pigmentado desde a dosagem na central de usinagem de concreto até o lançamento e adensamento na obra pela construtora.

Essa etapa configurou-se pelo acompanhamento da concretagem em campo e entrevistas com arquitetos e engenheiros que participaram do projeto e/ou da execução da obra em relação ao concreto pigmentado, além de ter acesso aos

projetos, relatórios, resultados de ensaios, especificações dos materiais e traços que compõe o concreto pigmentado, entre outros documentos.

#### **1.4 Estruturação do trabalho**

O presente trabalho foi dividido em 6 capítulos que apresentam a seguinte estruturação:

**Capítulo 1:** é apresentada a introdução do tema deste trabalho, sua justificativa, os objetivos geral e específico a serem atendidos, o método de pesquisa e sua estruturação.

**Capítulo 2:** aborda as características do concreto pigmentado, seus materiais constituintes, o método de produção de cada etapa, conceitos básicos sobre colorimetria, bem como uma síntese sobre durabilidade do concreto pigmentado, discorrendo sobre suas manifestações patológicas e manutenção necessária.

**Capítulo 3:** apresenta o estudo de caso da obra de restauração, modernização e ampliação do Museu do Ipiranga em relação a dosagem e produção de elementos em concreto pigmentado.

**Capítulo 4:** discorre sobre a análise do estudo de caso acompanhado e verificado no capítulo 3, contendo as questões mais importantes observadas e proposições de melhorias no processo de produção do concreto pigmentado.

**Capítulo 5:** são propostos os requisitos de desempenho estético, de durabilidade e manutenibilidade, além do desenvolvimento de diretrizes para obter-se um concreto de qualidade, atendendo aos requisitos e critérios propostos, à luz do estudo da bibliografia e experiência adquirida no acompanhamento do estudo de caso.

**Capítulo 6:** apresenta as considerações finais sobre todo estudo desenvolvido até então.

Por último são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

## **2 CONCRETO PIGMENTADO**

Concreto é um material de construção composto por uma mistura de um aglomerante com um ou mais agregados e água. Deve oferecer condições de plasticidade para facilitar o manuseio quando em estado fresco, e adquirir com o tempo coesão e resistência. É constituído basicamente por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, no entanto frequentemente pode-se usar outro constituinte destinado a melhorar ou permitir propriedades especiais ao conjunto (PETRUCCI, 1987).

O concreto pigmentado ou colorido pode ser obtido através da adição de pigmento à mistura, que permite a coloração do material, o que pode agregar valor estético à peça acabada, sem a necessidade de execução de revestimentos de acabamento, reduzindo o prazo e os custos da obra.

Segundo Helene e Galante (1999) e Watanabe (2008), da perspectiva técnica o concreto pigmentado e o convencional são semelhantes. As propriedades como resistência e desempenho do concreto pigmentado não são alteradas praticamente, no entanto, sua utilização exige maior rigor no controle tecnológico, necessitando de maiores cuidados na produção da mistura e na execução da estrutura. Além desses cuidados, a seleção dos materiais constituintes e a dosagem são de extrema importância para não afetar a estética e a durabilidade da estrutura.

### **2.1 Materiais Constituintes**

Para obtenção de um concreto durável, de boa qualidade estética e de desempenho satisfatório, é necessário um sistema de controle de execução especializado, que verifique os diversos fatores que influenciam no resultado (PASSUELO, 2004).

A correta escolha dos materiais que constituem o concreto, bem como seu modo de produção e execução são fundamentais para um concreto que apresente qualidade e desempenho desejados.

Para Piovesan (2009), os materiais que compõe o concreto pigmentado são de fundamental importância para obtenção da cor desejada. Entre os fatores que

influenciam na cromacidade pode-se destacar a cor do cimento, a dosagem do pigmento, a graduação, cor e limpeza dos agregados e a dosagem de adições.

Na produção de concreto pigmentado, além da influência na cor, as características dos materiais constituintes também contribuem para um concreto com alto desempenho estético e de durabilidade.

Abaixo serão abordados os principais materiais que compõe a mistura do concreto pigmentado e sua influência na cromacidade do produto.

### **2.1.1 Cimento Portland**

Os diversos tipos de cimentos possuem tons diferentes de cinza. Mesmo cimentos do mesmo tipo têm diferentes tons dependendo de sua fonte, e essas diferenças afetam a cor final do concreto pigmentado. Desta forma, para peças que compõe um único elemento visual, é indicado utilizar cimento da mesma fonte na produção de concreto pigmentado (HELENE e GALANTE, 1999).

Segundo Mehta e Monteiro (2008) a cor cinza natural do cimento limita as possibilidades de criação de superfícies com atrativo estético. A utilização do cimento branco, com adição de pigmentos adequados, pode servir como base para produzir concretos em cores variadas.

Para Benini (2005), a cor cinza absorve as outras cores, sendo assim, o concreto preparado com cimento Portland cinza comum não pode ser colorido de maneira tão nítida quanto o concreto feito com cimento branco. Desta forma para obter-se cores mais claras, utiliza-se a cimento branco.

A influência do tipo de cimento na peça acabada de concreto pigmentado pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Influência do tipo de cimento na cor do concreto pigmentado



Fonte: Hartmann e Benini (2011).

De acordo com Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, n.d.), o Cimento Portland Branco se distingue por sua cor e possui classificação em dois subtipos: estrutural e não estrutural. O estrutural possui classes de resistências 25, 32 e 40, e pode ser aplicado em estruturas de projetos arquitetônicos, de forma similar aos demais cimentos. O não estrutural não possui classes de resistência, e não pode ser utilizado para fins estruturais, sendo sua aplicação limitada a, por exemplo, rejuntamento de azulejos.

Watanabe (2008) afirma que o cimento cinza tradicional é obtido através do processo de fabricação que consiste na mineração e britagem de matérias-primas selecionadas, seguida da preparação adequada de uma mistura crua que é aquecida por volta de 1450°C em um forno rotativo. Esse processo de sinterização produz o clínquer, que devidamente moído e misturado, em proporções adequadas, com sulfato de cálcio, origina o cimento Portland.

Mehta e Monteiro (2008) destacam que a cor cinza do clínquer de cimento Portland comum se deve à presença de ferro. Com a redução do teor de ferro no clínquer, correspondendo a menos de 0,5% de  $Fe_2O_3$  e considerando que o ferro é mantido no estado de  $Fe^{2+}$ , o clínquer resultante é branco.

O minério de ferro é a principal fonte de  $Fe_2O_3$ , elemento importante que facilita a fundição da mistura, permitindo trabalhar com temperaturas de sinterização mais baixas. Para o caso da fabricação de cimentos brancos, a presença de  $Fe_2O_3$  é indesejável, desta forma, utiliza-se o menor teor de ferro (como se pode observar na Tabela 1) para não influenciar na cor do produto, pois o elemento apresenta coloração avermelhada (WATANABE, 2008).

Watanabe (2008) ainda ressalta que, além do ferro outros elementos que induzem à coloração do cimento também são evitados, como o Manganês (Mn), o Cromo (Cr) e o Titânio (Ti). A necessidade de se utilizarem matérias-primas isentas desses elementos encarece o processo de fabricação do cimento branco.

Tabela 1 – Compostos principais do cimento Portland

<b>Composto</b>	<b>Teores (%) CP Cinza</b>	<b>Teores (%) CP Branco</b>
Silicato tricálcio C <sub>3</sub> S – alita	50 – 70	50 – 70
Silicato dicálcio C <sub>2</sub> S – belita	15 – 30	15 – 30
Aluminato tricálcio C <sub>3</sub> A – aluminato	5 – 10	4 – 13
Ferro aluminato tetracálcio C <sub>4</sub> AF – Ferrita	3 – 8	≤ 1

Fonte: Kirchhein, Passuelo, Molin e Silva Filho (2011, adaptado).

Conforme Tabela 1, verifica-se que a grande diferença na composição química dos cimentos Portland branco e cinza está na limitação do teor de C<sub>4</sub>AF. Com a redução do teor de ferro na composição, há o conseqüente aumento do teor de C<sub>3</sub>A, que é a fase do clínquer mais reativa. O aumento da quantidade de C<sub>3</sub>A aumenta a reatividade, pois essa fase se dissolve rapidamente quando em contato com água, o que libera grande quantidade de calor (KIRCHHEIN et al., 2011).

Além disso, existem duas características físicas básicas que diferem o cimento branco do cimento cinza, as quais são finura e início de pega, ambas relacionadas entre si. Com o aumento da superfície específica do material, a brancura tende a aumentar, desta maneira, os cimentos brancos, normalmente são moídos de forma mais fina quando comparados aos cimentos cinza. Desta forma, o material torna-se mais reativo, pois as partículas menores se hidratam mais rapidamente, o que implica no ganho de resistência com o tempo (KIRCHHEIN et al., 2011).

Observa-se que no Brasil há pouca utilização de cimento branco para produção de concreto pigmentado. Isso pode ser motivado pelo elevado preço de fabricação e importação desse material, que encarece ainda mais os custos da obra.

Verifica-se que o cimento branco permite a maior nitidez de cor quando comparado ao cimento cinza para produção de concreto pigmentado, no entanto, para obtenção de concretos pigmentados com cores com tons escuros, o cimento cinza não interfere negativamente na cor final, porém deve-se garantir o mesmo fabricante e tipo de cimento para não haver variação de tonalidade.

### **2.1.2 Agregados**

A princípio, a cor dos agregados não tem grande influência na cor final da peça de concreto pigmentado.

O pigmento colore apenas a pasta de cimento, que depois de endurecida forma uma camada fina ao redor das partículas de agregados. Com a exposição, essa fina camada tende a erodir, deixando à mostra as partículas dos agregados, o que muda o aspecto superficial do concreto. Para minimizar a mudança de aparência no produto é necessário que a cor natural do agregado não seja muito diferente da cor da pasta de cimento endurecida (HARTMANN & BENINI, 2011 e HELENE & GALANTE, 1999).

Helene e Galante (1999) ainda salientam que um teor de argamassa maior mantém a tonalidade melhor, mesmo após a abrasão superficial do concreto, a coloração revelada é função da pasta de cimento endurecida entre os agregados. Assim sendo, a proporção da pasta de cimento entre os agregados aumenta com o aumento do teor de argamassa do concreto, desta forma, o concreto com a maior quantidade de areia e cimento, dentro do que é possível tecnicamente, manterá a tonalidade.

Tutikian e Helene (2011) lembram que é importante utilizar o mesmo agregado miúdo durante todo período da obra, de forma a evitar variações de coloração. Esse material deve ser submetido à caracterização mineralógica e petrográfica, objetivando a identificação possíveis materiais reativos, como algumas piritas que ao passar do tempo reagem resultando em manchas com aparência de ferrugem.

Mesmo que os agregados não tenham influência diretamente na cor do concreto pigmentado à primeira vista, é importante escolhê-los da melhor maneira possível, fazendo o controle no momento da compra e recebimento para garantir que não

haverá impurezas e que ao decorrer da obra sejam oriundos da mesma fonte para diminuir o risco de alteração de cor superficial no resultado final.

### **2.1.3 Adições Minerais**

As adições minerais utilizadas na mistura do concreto contribuem para melhorar sua resistência e permeabilidade, conferindo maior durabilidade à estrutura. Devido as características específicas do concreto pigmentado e para evitar problemas relacionados principalmente a estética e durabilidade do material, o uso das adições minerais pode ser bastante importante.

Passuelo (2004) destaca que variados tipos de adições podem ser inseridos no concreto, as quais são as principais: os fílers, a cinza volante, a sílica ativa e também o metacaulim.

Hartmann e Benini (2011) também lembram que essas adições podem afetar a cor final do concreto pigmentado, por isso deve-se utilizar o mesmo tipo, quantidade e fornecedor das adições.

O fíler é um material moído de forma muito fina, apresentando finura similar ao do cimento Portland. Ele contribui para algumas propriedades físicas, como trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, capilaridade, exsudação e tendência à fissuração. Os fílers são, em geral, quimicamente inertes e podem ter origem natural ou de processamento de minerais inorgânicos. Além disso, o fíler não deve aumentar a demanda de água no concreto, nem afetar negativamente a resistência do concreto ao intemperismo ou a proteção dada à armadura pelo concreto. (NEVILLE, 1982).

Em relação as adições quimicamente ativas, Mehta e Monteiro (2008) informam que a cinza volante é obtida através da queima de carvão mineral em usinas termelétricas e possuem alto teor de sílica e alumina. Neville (1982) complementa que a cinza volante possui partículas esféricas (o que pode ser benéfico sob a ótica da demanda de água) e têm seu grau finura muito elevado.

Mehta e Monteiro (2008) explicam que a cinza volante confere ao concreto duas propriedades importantes, que resultam no aumento da resistência em longo prazo,

da durabilidade e da impermeabilidade, que são: refinamento do tamanho dos poros e refinamento do tamanho dos grãos.

Kirchhein et al. (2011) informa que a cinza volante, embora muito utilizada em concretos convencionais, não são recomendados para uso em concretos brancos e pigmentados devido a variação de cor e a não garantia de homogeneidade em sua produção.

Quanto a sílica ativa, Neville (1982) explana que é um resíduo da produção de silício ou de ligas de ferrossilício, obtido a partir de quartzo de alto grau de pureza e de carvão em forno elétrico a arco submerso. O  $\text{SiO}_2$  gasoso que se libera sofre oxidação e se condensa na forma de partículas esféricas bastante finas de sílica amorfa ( $\text{SiO}_2$ ). Kirchhein et al. (2011) esclarece que sua utilização é benéfica ao concreto de forma mais ampla do que os fílers. Isso ocorre devido a possuir partículas cerca de 100 vezes menores do que a do cimento, tendo como consequência um efeito físico de empacotamento e uma aceleração nas reações de hidratação do cimento, e também efeito químico pozolânico.

Embora sua utilização seja favorável, segundo Passuelo (2004), dependendo do teor de carbono, sua tonalidade pode variar de cinza claro à cinza escuro. Dessa forma, deve-se observar o uso e o teor dessa adição para não prejudicar o resultado do concreto pigmentado.

Já o metacaulim é um produto originário do processo de calcinação de argilas e é formado, sobretudo por compostos à base de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), em fase amorfa. Assim como a sílica ativa, é uma adição pozolânica, ou seja, reage com o hidróxido de cálcio oriundo da hidratação dos compostos de cimento, resultando C-S-H secundário. Além disso, também pode preencher os espaços vazios na pasta de cimento como fíler, dependendo da granulometria atingida no processo de moagem (PASSUELO, 2004).

O metacaulim, segundo Kirchhein et al. (2011) pode ter dois processos de fabricação, sendo o primeiro através da calcinação da argila caulínica em temperaturas entre  $500^\circ\text{C}$  e  $800^\circ\text{C}$ , com posterior processo de moagem que pode reduzir em grãos com partículas de granulometria menores que  $5\mu\text{m}$ , o que assegura a reatividade do metacaulim. No entanto sua utilização em concretos

pigmentados deve ser cautelosa, pois sua tonalidade resultante desse processo é um rosado, o que pode influenciar negativamente na cor final do elemento.

A outra forma de obter o metacaulim é fazendo o uso de rejeitos da indústria de papel, executando o mesmo método de calcinação e moagem. A utilização deste material confere benefícios pela excelente atividade pozolânica, além de trazer vantagens sob a ótica do meio ambiente, pois dá destinação aos resíduos oriundos da produção de papel. Este tipo de metacaulim pode ser interessante para ser aplicado na mistura de concreto pigmentado, pois apresenta tonalidade clara (KIRCHHEIN, 2011).

A utilização de adições na mistura de concreto pigmentado pode trazer muitas vantagens por permitir a coesão e melhorar o adensamento do concreto, tendo como resultado um aumento na resistência e durabilidade. Deve-se observar, no entanto, que a dosagem deve ser conduzida de forma cautelosa para não haver variações nos teores das adições, e conseqüentemente alterações significativas na tonalidade do concreto pigmentado.

#### **2.1.4 Pigmentos**

Os pigmentos podem ser divididos basicamente em orgânicos e inorgânicos. Aguiar (2006) define pigmento orgânico como um composto sintético derivado de petróleo e carvão. Corsini (2011) alerta que esse tipo de pigmento tem maior poder de coloração do concreto, porém no processo de cura pode ocorrer a migração de cor e manchas. Chaves (2016) complementa que os pigmentos orgânicos não são adequados para uso com materiais à base de cimento Portland, pois afeta as reações de hidratação e podem se tornar sais solúveis, podendo provocar eflorescências na superfície do concreto. Além disso, Chaves (2016) afirma que este pigmento sofre alterações de cor em curto prazo devido às intempéries.

Já os pigmentos inorgânicos têm maior durabilidade de cor, devido a maior estabilidade de suas ligações químicas. São geralmente produzidos à base óxidos de ferro, cobalto e cromo (Corsini, 2011).

Helene e Galante (1999) destacam que o pigmento utilizado para colorir o concreto deve ser resistente à alcalinidade do cimento, à exposição solar e às intempéries.

Esses requisitos somente são atendidos pelos pigmentos inorgânicos a base de óxido, demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Pigmentos Inorgânicos a base de óxidos

<b>Cor desejada do concreto</b>	<b>Especificação do pigmento</b>	<b>Composição química</b>
Vermelho	Óxido de ferro Vermelho	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Amarelo	Óxido de ferro Amarelo	$\alpha\text{-FeOOH}$
Preto	Óxido de ferro Preto	$\text{Fe}_2\text{O}_4$
Marrom	Óxido de ferro Marrom	Mistura de pigmentos amarelo + vermelho + preto
Verde	Óxido de Cromo	$\text{Cr}_2\text{O}_3$
Azul	Óxido de Cobalto	$\text{Co}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$

Fonte: Hartmann e Benini (2011).

Positieri (2005) destaca que embora os pigmentos sintéticos tenham a mesma origem mineralógica que os naturais, obtidos por processos controlados e padronizados, têm a vantagem de oferecer alta pureza, alto brilho e alto poder de coloração, devido a finura das partículas. A forma e o tamanho das partículas têm um impacto importante na tonalidade de cor e uniformidade que podem ser alcançadas no produto final. As partículas de pigmento são aproximadamente dez vezes mais finas que cimento, com tamanhos variando de 0,01 a 10  $\mu\text{m}$ .

A microestrutura dos pigmentos amarelos de óxido de ferro difere do preto e do vermelho de óxido de ferro por terem uma estrutura em forma de agulhas, enquanto as demais possuem formas cúbicas a esféricas. A tonalidade que os materiais pigmentados adquirem dependerá, em parte, da relação largura/comprimento que essas partículas possuem. A variação no tamanho das partículas afeta mais a capacidade do pigmento de difratar a luz do que influencia sua absorção e uma menor absorção de luz (maior reflexão) confere tons de branco (POSITIERI, 2005).

A utilização de pigmentos inorgânicos para produção de concreto pigmentado é, atualmente, bastante difundida no meio técnico, devido às vantagens que esse tipo de pigmento apresenta, que garante estabilidade de cor mesmo submetido às ações do tempo.

No Brasil não há normas relativas ao tema, no entanto a norma americana ASTM C979 Standard Specification for Pigments for integrally colored concrete, que aborda os requisitos básicos dos pigmentos em pó e discorre sobre a maneira adequada para a seleção e controle de características dos pigmentos, e a norma europeia EN 12878, que estabelece requisitos como estabilidade em água, resistência a álcalis, resistência à luz e alguns efeitos no concreto, entre outros, norteiam os projetistas e fabricantes de pigmentos para concreto.

### **2.1.5 Aditivos**

A mistura de aditivos na produção de concreto já é largamente empregada para aprimorar as propriedades necessárias no estado fresco ou endurecido. Segundo Positieri (2005) essas substâncias são introduzidas no concreto antes ou durante o amassamento, numa proporção não superior a 5% do peso do cimento para produzir a modificação desejada.

Para a fabricação de concreto pigmentado, o uso de aditivos tornou-se indispensável, tendo em vista as características do cimento branco, que, conforme abordado anteriormente, possui trabalhabilidade inferior ao concreto cinza com a mesma relação água/cimento. Desta forma, para garantir uma consistência fluída e obter um lançamento apropriado é extremamente necessário o uso de aditivos (PASSUELO, 2004).

Passuelo (2004) complementa que o aditivo mais utilizado para execução de concreto branco ou pigmentado é superplastificante, que possui como característica reduzir o teor de água, melhorando paralelamente a trabalhabilidade do material em estado fresco.

Existem outros tipos de aditivos que quando incorporados à mistura do concreto pigmentado, possuem outros efeitos, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Efeitos dos aditivos sobre concreto cromático

<b>Aditivo</b>	<b>Efeito no concreto cromático</b>
Plastificante	Facilita a dispersão do pigmento Maior homogeneização
Incorporadores de ar	À base de lignosulfonatos, produzem escurecimento da superfície
Redutores de água	Facilitam o adensamento Proporcionam condições favoráveis à presença de eflorescências
Produtos hidrófugos	Evitam eflorescências

Fonte: Veit<sup>1</sup> (1994) apud Piovesan (2009).

Hartmann e Benini (2011) alertam que o uso de adições e aditivos também interferem na cor final do concreto, sendo necessário verificar sua composição química.

## 2.2 Processo de Produção

Para o melhor desempenho, durabilidade e estética do concreto pigmentado, a dosagem dos materiais constituintes é de fundamental importância e deve seguir rigorosos critérios. Os materiais devem ser de boa qualidade e a mão de obra deve ser experiente. Além disso, segundo Hartmann e Benini (2011), as fôrmas, os processos de cura e de acabamento da peça desempenham papel essencial para obtenção do concreto pigmentado de boa qualidade.

Watanabe (2008) alerta que a produção correta de um concreto pigmentado deve seguir algumas indicações importantes como a dosagem do pigmento ser feita em porcentagem do peso do cimento, manter sempre igual a dosagem do concreto para o mesmo elemento, misturar os pigmentos no material seco e depois a água e ainda atentar-se a cura da peça produzida.

<sup>1</sup> VEIT, A. M. Suggestion for improving coloured concrete products. Betonwerk Fertigteil Technik. Vol. 60-n.11.1994

Desta forma, é importante verificarmos os processos de produção e controle deste material, bem como, o processo de cura e acabamento.

### 2.2.1 Dosagem e Mistura

Sob a perspectiva de dosagem de concretos pigmentados, Tutikian e Helene (2011), recomendam que a relação água/cimento seja inferior a 0,45 e a resistência à compressão sempre superior a 40 MPa, pois as propriedades de durabilidade demandadas para o concreto aparente devem ser mais rigorosas. Além disso, os autores aconselham o uso de cimentos com baixo teor de silicato tricálcico (C<sub>3</sub>A), pois estes possuem característica de formar hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) em grande quantidade e velocidade, o que ocasiona em futuras eflorescências em presença de água e além de também ocasionar a falsa pega, fenômeno comum principalmente em dias quentes e secos. Tutikian e Helene (2011) esclarecem que o traço deve sempre ser um pouco mais argamassado que o ideal (cerca de 4% a mais) para garantir o acabamento superficial satisfatório. O ideal, segundo os autores, é que o concreto pigmentado seja também autoadensável, o que contribui para diminuição das falhas de concretagem.

Além disso, também merece destaque o teor da adição de pigmento, que segundo Hartmann e Benini (2011), como a quantidade de pigmento depende da tonalidade desejada, deve ser verificada através de testes. No entanto, em casos que impossibilite testes, utiliza-se a Tabela 4, demonstrada abaixo, com os teores de pigmentos recomendados.

Tabela 4 – Teores normalmente empregados de pigmentos

<b>Principais Pigmentos inorgânicos</b>	
<b>Tonalidade Desejada</b>	<b>Teor de pigmento</b>
Concreto de cores pálidas, tons pastéis quando utilizado cimento branco	1 a 2 kg por 100 kg de cimento
Tons médios	3 a 5 kg por 100 kg de cimento
Tons escuros	6 a 8 kg por 100 kg de cimento

Fonte: Hartmann e Benini (2011).

Watanabe (2008) ressalta que o uso de pigmento não pode exceder a 10% do peso do cimento em um concreto, por impactar na durabilidade e resistência do material.

Helene e Galante (1999) salientam que a saturação é obtida geralmente com 8 a 10 kg de pigmento por 100kg de cimento. Isto é, a tonalidade não irá intensificar aumentando teor de pigmento.

Além da dosagem correta, segundo Hartmann e Benini (2011), a sequência da mistura dos materiais na betoneira para produção de concreto pigmentado também é extremamente importante para homogeneização do pigmento.

Hartmann e Benini (2011) destacam uma sequência de colocação dos materiais, a qual apresenta resultado satisfatório no tocante ao desempenho na mistura e coloração final, sugerida pela fabricante de pigmentos (Lanxess):

- a) pré mistura a seco do agregado juntamente com pigmento;
- b) adição do cimento e mistura complementar;
- c) adição de água e mistura complementar.

Helene e Galante (1999) esclarecem que a pré-mistura a seco com os agregados é extremamente importante. A umidade natural do agregado não tem influência no resultado. O tempo de pré-mistura considerado suficiente é de 10 – 15 segundos. As demais etapas do processo são as mesmas dos concretos convencionais.

Devido ao rigor de suas exigências, a dosagem e mistura do concreto pigmentado não devem ser subestimadas dentro do processo de produção. Quando bem executadas, obtém-se uma mistura que atenderá aos requisitos de resistência e durabilidade e com acabamento estético superficial bastante satisfatório.

### **2.2.2 Fôrmas**

A correta seleção do tipo de fôrma na produção de elementos em concreto pigmentado é de extrema importância para obter-se o resultado esperado, seja ele estético e/ou funcional.

Para Assahi (2003) as fôrmas são inteiramente responsáveis pela geometria dos elementos de concreto, bem como, por grande parte das manifestações patológicas como trincas na estrutura e vedações de edifícios concluídos.

Assahi (2003) evidencia que as trincas observadas frequentemente nas estruturas ou em vedações, podem ser decorrentes da deformação ou mobilidade excessiva da estrutura devido a má utilização do sistema de fôrma, ou ainda, pelo excesso de sobrecarga de revestimentos e enchimentos utilizados para correção da estrutura moldada inadequadamente.

Assumindo que o concreto pigmentado é uma variedade de concreto aparente, Rivera (2007) salienta que a maior causa dos defeitos apresentados é a falta de alinhamento e a abertura de juntas das fôrmas, sendo fundamental observar os critérios de cálculo de deflexão quando na fase de projeto para produção das fôrmas.

Verifica-se ainda, que a falha de estanqueidade da fôrma acarreta perda da nata de cimento durante a concretagem, o que pode expor a armadura aos agentes agressivos do ambiente através dos vazios, o que facilita a desp passivação e a corrosão do aço da estrutura, comprometendo a durabilidade do concreto armado (ASSAHI, 2003).

Diante disso, Torres (2003) afirma que ao ser aplicado o concreto pigmentado aparente não permite a restauração, com isso observa-se o significativo papel das fôrmas, que devem ser completamente impermeáveis, não deformáveis, rígidas e projetadas de tal maneira que facilite e obtenha o efeito da vibração, sem oferecer obstáculos no lançamento e adensamento do concreto.

Existem diversos materiais de fôrmas que são utilizados para produzir estruturas de concreto pigmentado, a escolha do tipo de material também traz impactos no resultado, podendo alterar a uniformidade de cor da superfície do concreto. Os materiais mais usuais são: madeira compensada resinada, madeira compensada plastificada, plástico, metálica (aço e alumínio) e papelão.

As fôrmas de madeira compensada resinada, segundo Torres (2003) são produzidas com um material que, apesar de ser de fácil utilização, pode alterar a cor da superfície do concreto devido a sua capacidade de absorção de água e permeabilidade. Há pontos que absorvem mais água, o que reduz a relação água/cimento, e resulta em tons mais escuros e não uniformidade da cor na superfície da peça. Assim, este tipo de fôrma não é recomendado para produção de elementos em concreto pigmentado.

A chapa de madeira compensada plastificada com filme fenólico possui a superfície impermeável, favorecendo o início de pega do concreto sem prejudicar a relação água/cimento. Pode ser classificada em 4 categorias: A, B, C e D (onde a classe A é a chapa de melhor qualidade, mais espessa, com gramatura do filme fenólico maior e com número de utilizações maior, aproximadamente 10 por face. A classe D é o oposto, com qualidade inferior dentre as 4 classes, menor espessura, gramatura menor do filme fenólico e menor número de utilizações por face, cerca de 8).

Segundo Morikawa (2003) o plástico tem dado lugar a sistemas de fôrmas racionalizados sendo utilizado, sobretudo, como molde. O molde geralmente necessita de elementos para estruturação, a qual utiliza outros tipos de materiais diferentes do plástico.

Alguns tipos de plástico têm sido usados na fabricação de moldes em formato de cubetas, como o poliéster reforçado com fibra de vidro, o polipropileno e o poliuretano. Esse tipo de molde é utilizado para execução de lajes nervuradas, que constantemente são soluções de projeto adotadas para vencer grandes vãos. Neste aspecto, as fôrmas de madeira têm se mostrado inviáveis, porém a adoção de componentes de plástico tem se mostrado bem atraente (MORIKAWA, 2003).

Este tipo de molde possui características positivas e negativas para o uso em estruturas em concreto pigmentado. Torres (2003) indica que sua superfície impermeável e resistente à flexão contribui para um acabamento satisfatório, no entanto é necessário utilizar fibras de vidro resistentes a álcalis do cimento, pois pode haver uma reação com álcalis do concreto e causar descoloração. Por esse motivo, é necessário garantir um revestimento de resina mantido nas fibras e, assim, assegurar um bom comportamento durante um número razoável de usos. Morikawa (2003) cita ainda outras restrições de uso como deslocabilidade dos componentes, quando há presença de esforços laterais, e deformabilidade das paredes. Porém, esses problemas podem ser resolvidos através de fixação dos moldes ou escolha de uma espessura de parede coerente com os esforços oriundos na concretagem.

Outro tipo de fôrma são as fôrmas metálicas, que são utilizadas em estruturas onde há muitas repetições da geometria, pois é um material que suporta mais de 200 usos. Segundo Torres (2003) as superfícies de aço são à prova d'água e fornecem uma cor uniforme ao concreto. O revestimento de aço deve ser espesso o suficiente

para suportar a carga e manter as deflexões dentro de limites aceitáveis. Torres (2003) ainda recomenda revestir a superfície do aço com agentes desmoldantes que contenham algum tipo de inibidor de corrosão para reduzir a possibilidade de manchas aparecerem. O aço galvanizado pode causar aderência ao concreto e seu uso deve ser evitado.

As fôrmas de papelão geralmente são utilizadas para moldar pilares de seção circular de diâmetro de até 1000mm. Segundo Morikawa (2003), fabricadas em papel Kraft e semi-Kraft, as fôrmas de papelão são enroladas no sistema espiral, com cobertura de papel impermeável para não danificar a estrutura do tubo e dispõem de uma camada de papel não aderente ao cimento. Com as mesmas características, mas com as extremidades tampadas também servem para moldes de caixão perdido. Sua utilização se limita apenas um uso, pois não possui reaproveitamento do material. Por possuir essas características é um molde que pode ser usado para execução de estruturas em concreto pigmentado.

Existem alguns fatores que permitem a escolha do tipo de fôrma a ser utilizada para produção de peças em concreto pigmentado aparente, devendo-se definir considerando o tipo de estrutura a ser construída, o número de reutilizações possível, o acabamento desejado respeitando a textura e uniformidade de cor.

Então, tendo em vista os efeitos e consequências que o sistema de fôrmas é capaz de oferecer à superfície do concreto pigmentado, e para um acabamento esteticamente aceitável é fundamental determinar adequadamente o material a ser utilizado, bem como utilizar fôrmas com a mesma classe de composição de materiais para um mesmo tipo de elemento.

### **2.2.3 Adensamento**

Para garantir durabilidade e estética à peça acabada de concreto pigmentado, o adensamento ou compactação do concreto é uma etapa bastante significativa. Segundo Neville (1982), após o lançamento do concreto as bolhas de ar podem ocupar entre 5% e 20% (dependendo do abatimento do concreto), podendo torná-lo mais poroso e menos durável. Para evitar esta situação o adensamento tem o

objetivo de obter um concreto com a maior massa específica possível, resultando em maior resistência e qualidade à peça.

Para alcançar tais resultados, o processo de adensamento consiste em submeter o concreto a uma movimentação frequente que permite a eliminação de boa parte de ar preso e excesso de água na massa (TORRES, 2003). Este processo deve ser feito tão logo realizado o lançamento e, geralmente é executado através de processos mecânicos, com a utilização de vibradores, fazendo com que o concreto ocupe todo o espaço da fôrma, de maneira a evitar segregação e falhas de concretagem, melhorando o contato do material lançado às fôrmas e às armaduras.

Neville (1982) esclarece que há diversos tipos de vibradores, porém o vibrador interno é mais comum. É constituído por em um tubo metálico que contém em seu interior um eixo excêntrico movimentado por um motor. A agulha é imersa no concreto, com frequência de vibração que pode chegar a até 12.000 ciclos de vibração por minuto. Ao término da vibração é possível avaliar, pela aparência superficial do concreto, que não deve apresentar vazios ou excesso de argamassa. É recomendada a retirada gradual da agulha, de maneira que a cavidade deixada pelo vibrador se feche totalmente, sem deixar ar aprisionado. Torres (2003) complementa que o vibrador deve penetrar rapidamente no fundo da camada e ao mesmo tempo penetrar na camada anterior, de forma que permita a fusão entre as duas camadas, obtendo uma peça monolítica.

Há também a vibração externa que, segundo Neville (1982), consiste em fixar o vibrador nas fôrmas, de maneira que a fôrma e o concreto são vibrados, perdendo uma parte da energia de vibração para vibrar a fôrma, conseqüentemente.

O conceito do vibrador externo é o mesmo que o interno, contanto apenas com a frequência de vibração que varia de 3000 a 6000 ciclos por minuto, podendo chegar a 9000 ciclos por minuto. É um tipo de vibrador comumente utilizado para peças pré-moldadas ou moldadas in loco, porém que não permite utilizar vibrador interno devido a espessura reduzida do elemento a ser concretado. Para utilização deste tipo de vibrador deve-se lançar o concreto em camadas com espessuras apropriadas para permitir a saída de ar (NEVILLE, 1982).

Outro tipo de vibração que merece destaque é a mesa vibratória que Neville (1982) afirma fornecer um adensamento seguro para peças pré-moldadas. Para Torres

(2003) é uma variação de vibração externa, pois trata-se de uma plataforma de metal acoplada a um vibrador central. Quando é necessário vibrar um elemento de comprimento considerável, vários vibradores podem ser dispostos ao longo da mesa.

Verifica-se que para elementos em concreto pigmentado, o adensamento bem executado torna-se imprescindível para evitar problemas à superfície acabada como formação de bolhas, excesso de vazios, segregação, deficiência no cobrimento e consequentes manifestações patológicas futuras, trazendo danos e desvalorização estética à estrutura.

#### **2.2.4 Cura**

A cura é um processo que visa prevenir a evaporação precoce da água na peça concretada, que necessita de hidratação do cimento constante imediatamente após o lançamento. Sendo a cura bem executada, evita-se o surgimento de fissuras na superfície da peça, contribuindo para resistência, durabilidade e estética do concreto.

Para concreto pigmentado, a cura tem efeito significativo para o resultado, tendo em vista que se for executada incorretamente pode causar manchas e porosidade na superfície que, como visto anteriormente, não se pode reparar sem gerar grandes mudanças no acabamento.

Variações no processo de cura, segundo Helene e Galante (1999), causam inconstância na tonalidade do resultado. Duas condições contribuem para essa situação: a evaporação da água muito rápida ou condensação de água na superfície do concreto, causando eflorescência de tom ligeiramente azulado; a temperatura e a quantidade de água presente durante a cura alteram o tamanho do cristal de silicato de cálcio hidratado formado e consequentemente a tonalidade da pasta de cimento endurecida. Dessa forma, quanto mais fino o cristal, mais clara será a pasta de cimento endurecida.

Para Torres (2003) existem 4 fatores fundamentais que permitem uma cura de concreto pigmentado aparente adequada, os quais são:

- a) duração: manter o processo de cura até que o cimento tenha sido hidratado suficientemente, ou seja, até que o concreto atinja uma resistência mínima definida;
- b) temperatura: manter a temperatura estável durante a cura;
- c) umidade: manter a umidade necessária para evitar evaporação da água antes da hidratação completa do cimento;
- d) proteção: proteger a peça contra danos mecânicos.

Para vigas, fundos de laje e pilares, a cura pode ser feita apenas mantendo as fôrmas na peça, sendo necessário manter por tempo suficiente para evitar variações na cor. Quanto antes a fôrma for retirada, mas clara tende a ser a cor superficial do concreto (TORRES, 2003).

Segundo Rivera (2007) é essencial promover a cura úmida pelo período apropriado e que as demais partes do edifício sejam submetidas às condições de cura similares.

Para evitar que algumas partes de topos e cantos tenham a água evaporada mais rapidamente, Rivera (2007) recomenda a utilização de lona plástica para cobertura de peças a fim de manter a água após a remoção das fôrmas. Torres (2003) diverge sobre este assunto, e destaca que o uso de lona plástica pode ser útil para cobrir elementos de formas complexas, porém diferenças podem ser observadas entre as áreas onde houve o contato do plástico com o concreto e as áreas onde não houve contato.

Rivera (2007) e Torres (2003) não recomendam a aplicação de membranas líquidas de cura, pois são de difícil aplicação no geral e podem causar descoloração e manchas permanentemente.

Para manter condições adequadas de umidade durante a cura, o processo mais fácil é a aspersão de água de forma homogênea e controlada. Recomendam-se sistemas de aspersão tipo bico de jardim com formação de névoa (FONSECA<sup>2</sup>, 2003 apud TUTIKIAN & HELENE, 2011).

A cura é um processo extremamente importante para garantir estética e durabilidade à peça de concreto pigmentado, evitando-se principalmente a formação de fissuras

---

<sup>2</sup> FONSECA, A. Betão Branco. In: Simpósio EPUS sobre Estruturas de Concreto, 5, 2003, São Paulo-SP. Anais. v.1. São Paulo: SmartSystem, 2003.

em sua superfície. Observa-se que a maneira mais segura de executar esse processo é através da cura úmida, mantendo a umidade necessária por tempo suficiente para hidratação do concreto, evitando-se a variação excessiva de temperatura e utilizando-se do mesmo processo para todas as partes da edificação, para assim garantir a uniformização de cor e qualidade estética e de durabilidade da estrutura.

### **2.2.5 Sistema de Proteção Superficial**

Todo material exposto tem contato com ambiente e conseqüentemente está sujeito ao processo de deterioração devido ao grau de agressividade deste meio. Para estruturas de concreto, é necessário administrar esse processo e tomar medidas de proteção superficial a fim de garantir a durabilidade, manter estética, e cumprir com a vida útil projetada. Esses objetivos podem ser atingidos evitando-se umidade sobre a superfície do concreto, pois, segundo Passuelo, Kirchhein, Molin e Silva Filho (2006), é um fator que contribui para o início dos desdobramentos dos principais mecanismos de degradação do concreto.

Para deter esse processo observa-se a utilização de produtos que detêm a capacidade de resistir à absorção da água.

Segundo Helene (1992) existem dois tipos principais de revestimentos para proteção superficial do concreto: hidrófugos de poro aberto e impermeabilizantes com formação de película. Segundo Passuelo (2004), esses são os produtos que menos alteram a superfície do concreto aparente.

Ambos os produtos devem atender às seguintes exigências (HELENE, 1992):

- a) possuir resistência ao intemperismo;
- b) possuir resistências à fotodegradação, decorrente da incidência de raios ultravioleta;
- c) evitar o desenvolvimento de fungos e bactérias;
- d) possuir resistência mecânica a pequenos impactos e riscamentos;

- e) possuir estabilidade química em relação ao concreto, de forma a evitar a ocorrência de eflorescências, saponificação e outras anomalias, oriundas da elevada alcalinidade do substrato.

Os produtos hidrofugantes, hidrorrepelentes ou hidrófugos, segundo Helene (1992), possuem propriedade de alterar o ângulo de contato entre a parede do poro e a superfície da água, tornando a superfície do concreto repelente à água, sem impedir a passagem de gases e do vapor de água.

Lima<sup>3</sup> (1994) apud Passuelo (2004) destaca que os hidrofugantes são baseados em silicones ou similares e são interessantes para utilização em superfícies porosas e que não podem ser visualmente alteradas, pois tem características de serem incolores e sem brilho.

Batista<sup>4</sup> (1998) apud Passuelo (2004) complementa que os hidrorrepelentes mais eficazes são os silanos e os siloxanos, ou ainda a mistura de ambos os compostos, pois adentram eficientemente no substrato, reagindo quimicamente com a sílica ou alumina.

Por outro lado, os impermeabilizantes, segundo Helene (1992), atuam como uma barreira através da formação de película impermeável semiflexível e contínua aderente à superfície. Este não permite a passagem de água, gases e vapores de água. Este tipo de proteção requer um substrato liso e homogêneo, com poros de abertura máxima de 0,1mm. Alguns autores também descrevem esse produto como impregnantes.

Passuelo et al. (2006) destaca que este tipo de produto, quando exposto à incidência solar e aos raios ultravioletas, sofrem alterações, podendo apresentar amarelecimento na superfície, o que influencia diretamente na estética de concretos de cores mais claras.

Chaves (2016) também salienta que os sistemas duplos são os que apresentam maiores durabilidades em relação aos sistemas anteriormente mencionados, e consistem na combinação de impermeabilizante e hidrofugante, unindo as vantagens de ambos os produtos.

---

<sup>3</sup> LIMA, E. Tratamento de estruturas em concreto aparente. Técnica. São Paulo: Pini, n. 11, 1994.

<sup>4</sup> BATISTA, M. Siloxanos & Silanos: perfeitos hidrorrepelentes para toda situação. Vol. 5, n. 23, 1998.

Desta maneira, para a escolha do melhor tipo de sistema de proteção superficial do concreto pigmentado, deve-se observar o tipo de concreto, o acabamento superficial, o grau de agressividade ambiental e a incidência solar e de ventos.

### **2.3 Colorimetria**

A colorimetria é a ciência utilizada para quantificar e descrever as percepções humanas de cor, com base em modelos matemáticos.

A percepção das cores é uma impressão sensorial, que depende segundo Minolta (2007), de três elementos, os quais são: luz, visão e objeto.

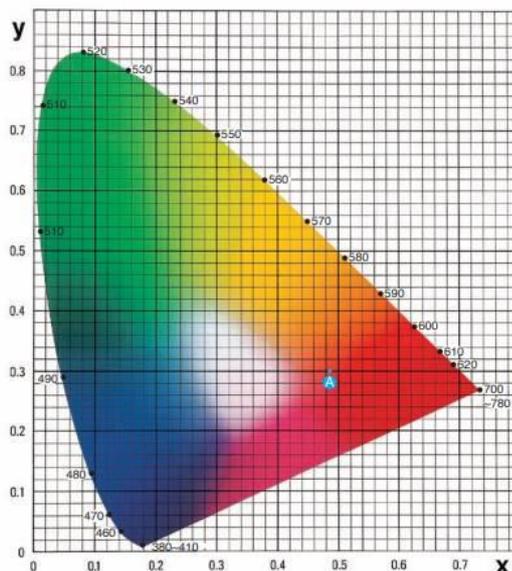
Minolta (2007) explica que um objeto absorve parte da luz e reflete a luz restante. A luz refletida entra no olho humano, e a estimulação resultante da retina é reconhecida como a "cor" do objeto pelo cérebro. Cada objeto absorve e reflete a luz de diferentes partes do espectro e em diferentes montantes, essas diferenças de absorção e refletância são o que tornam as cores de diferentes objetos distintas.

Desta forma, devido a natureza subjetiva da sensação de cor, Carvalho (2002) destaca que em 1931 foram padronizadas pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação) as áreas de sensibilidade dos três espectrais do olho humano. Positieri (2005) explana que eles foram designados como curvas de distribuição espectral que definem as três cores primárias (ou valores tristímulos). que são as curvas X (vermelho), Y (verde) e Z (azul).

Depois de mais estudos a respeito, Positieri (2005) ressalta que o modelo CIE Yxy foi introduzido mais recentemente.

O modelo CIE Yxy, verificado na Figura 2, é apresentado por eixo horizontal "x", que indica a quantidade de vermelho das cores e o eixo vertical "y", que mostra a quantidade de verde das cores. O eixo Y, que representa o valor ou a clareza das cores, apenas pode ser verificado em uma representação tridimensional do modelo CIE Yxy.

Figura 2 – Diagrama de cromaticidade xy



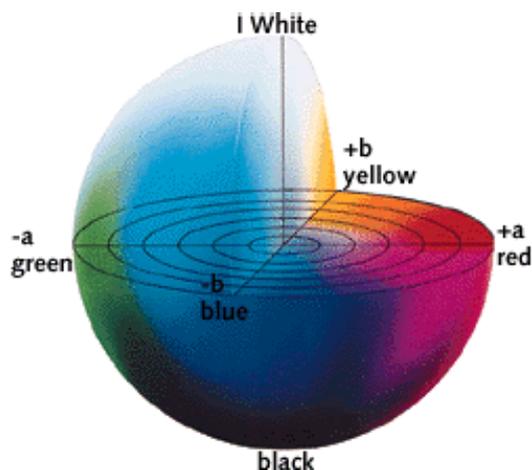
Fonte: Minolta (2007).

Minolta (2007) complementa as cores acromáticas estão voltadas para o centro do diagrama, e a cromaticidade aumenta em direção das bordas.

Este modelo de cor não linear foi em 1976, transformado para matematicamente obter-se um modelo uniforme CIE  $L^* a^* b^*$  (POSITIERI, 2005).

Minolta (2007) aponta que é atualmente um dos diagramas de cores mais populares para medição de cor de objetos e é amplamente utilizado em praticamente todos os campos. É um dos espaços de cores uniformes aprimorado, que visa reduzir um dos principais problemas do espaço de cores  $Yxy$  original: distâncias iguais no  $x$ , e diagrama de cromaticidade não correspondiam a diferenças de cores percebidas iguais.

Neste espaço de cores,  $L^*$  indica luminosidade e  $a^*$  e  $b^*$  são as coordenadas de cromaticidade, conforme observa-se na Figura 3.

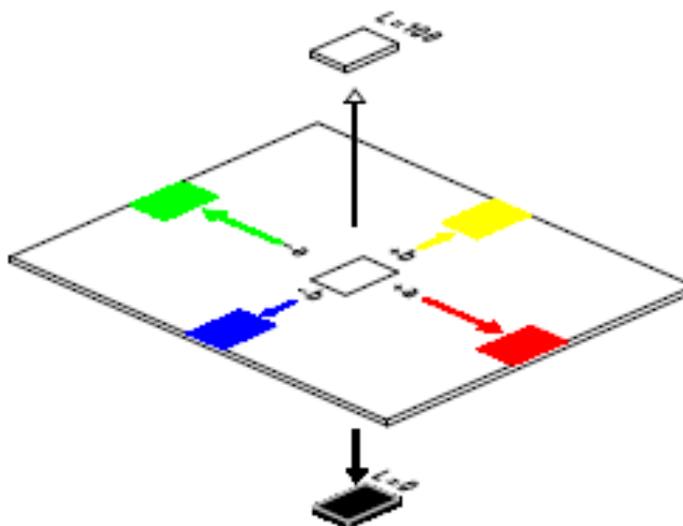
Figura 3 – Representação do sólido de cor para o espaço de cor  $L^* a^* b^*$ 

Fonte: Minolta (2007, adaptado).

Positieri (2005) acrescenta que neste sistema, todas as cores com a mesma clareza são encontradas em um plano circular, através do qual os eixos  $a^*$  e  $b^*$  se cruzam. A coordenada  $a^*$  varia no sentido positivo, com tonalidades avermelhadas e no sentido negativo com tonalidades esverdeadas. Já os valores da coordenada  $b^*$  quando no sentido positivo possuem tonalidades amareladas e valores negativos com tonalidades azuladas. A luminosidade  $L^*$  varia na direção vertical, do branco ao preto.

Carvalho (2002), para simplificação da visualização do modelo CIELab e executar medições práticas, verifica-se a Figura 4.

Figura 4 – Esquema do Sistema CIELab simplificado



Fonte: Carvalho (2002).

Segundo Oliveira, Viana, Cruz, Santos e Brites (2019), a partir das coordenadas das cores no espaço CIELab, é possível compará-las, utilizando a equação de Diferença Total de Cor ( $\Delta E^*$ ), representada abaixo:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Onde:

$\Delta L^*$  = Diferença de luminosidade (mais claro ou mais escuro);

$\Delta a^*$  = Diferença em vermelho e verde;

$\Delta b^*$  = Diferença em amarelo e azul.

Teichman<sup>5</sup> (1995) apud Positieri (2005) define que a Diferença Total de Cor ( $\Delta E$ ), permite uma avaliação global das mudanças de cor, que é indicada na Tabela 5, abaixo:

Tabela 5 – Valores totais de diferença de cor e avaliação a olho nu

$\Delta E^*$	Avaliação da diferença de cor
Menor que 0,2	Não visível
0,2 – 0,5	Muito suave
0,5 – 1,5	Leve
1,5 – 3,0	Notável
3,0 – 6,0	Muito notável
6,0 – 12,0	Grande
Maior que 12,0	Muito grande

Fonte: Teichman<sup>5</sup> (1995) apud Positieri (2005).

Para efetuar a medição e aferir a cor, Passuelo (2004) destaca que existem praticamente dois equipamentos: os colorímetros e os espectrômetros.

Os colorímetros possuem três sensores para cada cor básica, com a mesma sensibilidade dos olhos humanos, e baseiam-se no método de medida tristímulos. Por outro lado, os espectrômetros recebem a luz por múltiplos sensores, onde cada um deles é sensível a um comprimento de onda específico. Após o registro do espectro o aparelho calcula os valores tristímulos e converte a medição para o espaço de cor requerido.

Para concretos pigmentados a colorimetria e estabilidade de cor é extremamente importante para atingir a estética desejada e mantê-la ao longo de sua vida-útil. Variações de cor perceptíveis nos elementos de concreto trazem desvalorização da estrutura e não permite correção, o que mostra a importância do assunto discutido neste capítulo.

<sup>5</sup> TEICHMANN, G. The use of colorimetric methods in the concrete industry?. Betonwerk+Fertigteil-Technik, 1995.

## 2.4 Durabilidade

Para Neville (1982), o concreto é considerado durável quando é capaz de suportar o processo de deterioração ao qual estará exposto, ou seja, deve manter a resistência necessária e sua condição de utilização durante o tempo especificado.

Mehta e Monteiro (2008) abordam durabilidade (segundo ACI Committee 201), como a capacidade do concreto em resistir à ação de intempéries, ataque químico, abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração quando exposto ao ambiente ao qual foi previsto.

Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011 p. 775) o conceito de durabilidade se estende ainda mais:

Durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la.

Todos esses conceitos trazem consigo a importância da durabilidade para atingir a vida útil da estrutura e o desempenho de segurança e estabilidade esperado.

Neville (1982) indica que a durabilidade inadequada pode decorrer tanto de fatores externos quanto de causas internas ao concreto. As ações podem ser físicas, mecânicas ou químicas.

Existe uma relação entre porosidade e durabilidade, que pode ser verificada no meio técnico. Segundo Positieri (2005), é possível dizer que a porosidade é um parâmetro de condicionamento de primeira ordem para garantir a durabilidade do concreto.

A porosidade do concreto permite a permeabilidade de líquidos e gases, o que contribui para degradação do material.

Segundo Carvalho (2002), os pigmentos adicionados ao concreto, podem aumentar o grau de permeabilidade devido a uma maior demanda de água como consequência do grande aumento na superfície específica dos finos da mistura.

Neville (1982) destaca que existem três fluídos importantes para a durabilidade que podem penetrar no concreto: a água, o gás carbônico e o oxigênio. Eles podem se

movimentar através do concreto de maneiras distintas, porém todo o transporte depende da estrutura da pasta de cimento hidratada.

Além da relação da durabilidade e porosidade, Medeiros et al. (2011) complementam que a resistência do concreto aos diferentes meios agressivos depende, entre outros fatores, da natureza e tipo dos seus materiais constituintes assim como da composição ou dosagem do concreto, sendo importante ser observados o tipo e consumo de cimento, tipo e consumo de adições e de água, relação água/cimento, natureza e diâmetro máximo ( $D_{m\acute{a}x}$ ) do agregado.

Outros aspectos que devem ser observados que também estão relacionados a durabilidade do concreto é a execução, o uso correto e de critérios adequados de projeto. Desta forma Medeiros et al. (2011), reúnem as seguintes medidas para se evitar o envelhecimento precoce e satisfazer às exigências de durabilidade que devem ser observados em projeto:

- a) prever drenagem eficiente;
- b) evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas;
- c) garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- d) garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- e) detalhar adequadamente as armaduras;
- f) controlar a fissuração das peças;
- g) prever espessuras de sacrifício ou revestimentos protetores em regiões sob condições de exposição ambiental muito agressivas;
- h) definir um plano de inspeção e manutenção preventiva.

É possível observar que os critérios de durabilidade de concreto cinza convencional podem ser ampliados para a situação de projeto, produção e manutenção do concreto pigmentado, tendo em vista a necessidade de atendimento das mesmas exigências técnicas para atingir a vida útil. É necessário observar os materiais e formas de execução mais adequadas para que o concreto pigmentado resista à classe de agressividade ambiental, bem como evite o envelhecimento precoce,

através de deterioração da estrutura e com surgimento de manifestações patológicas.

#### **2.4.1 Manifestações Patológicas**

As manifestações patológicas podem ser motivadas por falhas ocorridas nas etapas de planejamento, projeto, execução (seja por uso de materiais de má qualidade ou falhas de execução), ou ainda por falta de manutenção. Segundo Chaves (2016) as falhas causadas nas fases de planejamento e projeto são, geralmente, as mais graves e onerosas.

O concreto pigmentado pode apresentar além das manifestações patológicas similares ao concreto convencional cinza, alterações que afetam sua coloração e textura superficial.

Segundo Helene e Galante (1999), um fenômeno que pode alterar significativamente a superfície do concreto pigmentado é a eflorescência. Isso ocorre geralmente em concretos mais porosos e mal compactados.

Helene e Galante (1999) ainda explicam que a eflorescência ocorre em decorrência de uma cura incorreta, que libera hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) que é lixiviado até a superfície do concreto e lá reage com o dióxido de carbono atmosférico, formando assim o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Este por sua vez manifesta-se como um cinza na superfície do concreto, deixando aparência esbranquiçada, e é constantemente confundido com a descoloração do pigmento. A eflorescência não pode ser inteiramente prevenida, porém pode permanecer em níveis admissíveis quando o concreto é bem compactado.

Para Carvalho (2002) o desgaste superficial causado pela erosão do concreto, além impactar na durabilidade, também pode acarretar mudança na tonalidade de cor, conforme abordando anteriormente. A erosão é resultada por diferentes causas como água, vento, poluição ácida, fricção etc., no entanto tem-se o mesmo efeito: o desaparecimento da camada de finos superficiais, tornando visível o agregado utilizado, que não sofre pigmentação. Como consequência, a cor final acaba sendo influenciada pela cor dos agregados. Por isso recomenda-se a utilização de agregados com cor semelhante à cor atribuída ao concreto.

Outra importante alteração superficial é destacada por Positieri (2005), o envelhecimento da cor é um dos resultados da ação do clima. Agentes da atmosfera, como radiação UV, temperatura e umidade agem sinergicamente, e impactam na estabilidade da cor, podendo apresentar desbotamento ou perda de solidez da cor.

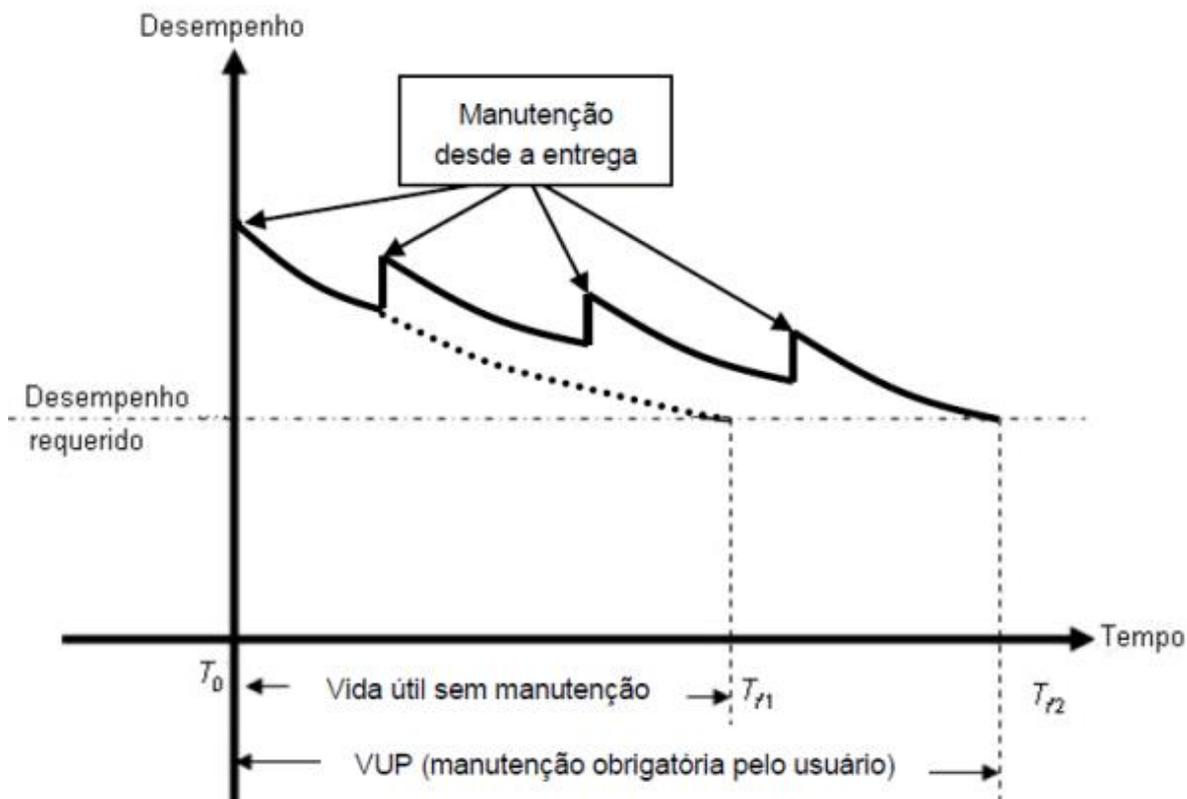
Carvalho (2002) também evidencia que os principais fatores que afetam a estabilidade da cor de concreto pigmentado são a sua qualidade e o ambiente em que estará exposto. A seleção adequada de agregados e cimento usados, a relação água/cimento, condições de cura e compactação eficaz são decisivos para obter estabilidade de cor desejada. O controle desses parâmetros é essencial para a fabricação de um concreto de qualidade.

Pode-se dizer que as manifestações patológicas ocorrem principalmente quando os cuidados mencionados em alguns subitens anteriores não são adotados no momento da produção do concreto pigmentado. Fôrmas de materiais inadequados ou montagens impróprias, mistura e dosagem mal executadas e/ou imprecisas, cura incorreta, compactação insuficiente, proteção inadequada, são alguns exemplos de falhas de execução que permitem alto nível de permeabilidade, o que pode prejudicar a aparência da superfície de concreto pigmentado, ficando fora dos padrões desejados, permitindo o surgimento de manifestações patológicas e conseqüentemente afetando a durabilidade e diminuindo a vida útil do material.

#### **2.4.2 Manutenção**

Nas estruturas de concreto, há alguns níveis de desempenho mínimos admissíveis e com o passar do tempo a estrutura vai perdendo sua capacidade inicial de utilização. Desta forma verifica-se que toda construção tem um tempo de vida útil que é finito. A Figura 5 demonstra esse cenário e ressalta a necessidade de manutenção periódica (MEDEIROS et al., 2011).

Figura 5 – Variação do desempenho de uma estrutura ao longo do tempo



Fonte: ABNT NBR 15575 (2013).

Observa-se na Figura 5 que com o passar do tempo o desempenho da estrutura diminui, impactando diretamente na durabilidade e vida útil, quando não são tomadas medidas preventivas de manutenção. No entanto, o inverso também é verdadeiro, quando há intervenção de manutenção preventiva o desempenho aumenta, prolongando assim, a vida útil.

Diante disso, observa-se a importância da manutenção periódica e das medidas que devem ser tomadas durante a fase de uso e operação do edifício.

Para garantir desempenho aceitável em elementos em concreto aparente são necessárias diversas medidas pré-estabelecidas que devem ser definidas em um plano de manutenção, que pode ser dividido em 5 fases, segundo Chaves (2016):

- a) cadastramento das estruturas: que consiste em uma catalogação dos elementos em concreto aparente;
- b) inspeção periódica: que é fase de identificação de danos e anomalias em tempo hábil antes de comprometer a estabilidade e segurança. A

periodicidade varia em função da idade da edificação, da importância e da vulnerabilidade da estrutura ou dos seus elementos;

- c) inspeção condicionada: executada quando as inspeções periódicas constatarem desgastes e lesões que podem afetar ou já afetam a segurança;
- d) serviços de limpeza: limpeza periódica, constituída de lavagem com água pressurizada e algum material saponáceo, respeitando as recomendações do fabricante;
- e) serviços de reparo e de reforços: são os serviços de manutenção corretiva para recuperar as estruturas que apresentam algum desgaste aparente.

Rivera (2007) por outro lado, descreve que há geralmente dois tipos manutenção: preventiva e corretiva. A manutenção preventiva intervém nas superfícies do concreto antes do surgimento de indícios de degradação, de forma manter a durabilidade estrutural e estética, tendo como providências principais a limpeza e preservação do sistema de proteção superficial empregado. Já a manutenção corretiva somente se faz necessária quando há ocorrência de patologias que comprometem os índices aceitáveis de desempenho da estrutura.

Observa-se que, mesmo com duas formas distintas de necessidades de manutenção, ambas se complementam, destacando que a periodicidade manutenção é importante para a verificação de sinais de deterioração de forma antecipada para que ações corretivas sejam tomadas antes de comprometer a durabilidade estética e/ou estrutural.

Para concreto pigmentado, essa periodicidade pode ser menor, quando comparada ao concreto convencional, tendo em vista sua complexidade e suas características superficiais com necessidades diferenciadas.

### 3 ESTUDO DE CASO – OBRA MUSEU DO IPIRANGA

No estudo de caso apresentado neste capítulo, serão verificados os procedimentos de produção de concreto pigmentado na obra de restauração, modernização e ampliação do Edifício-Monumento do Museu do Ipiranga, que é parte integrante do conjunto de museus administrados pela Universidade de São Paulo, através da unidade Museu Paulista da Universidade de São Paulo. O museu faz parte do conjunto arquitetônico do Parque da Independência e está situado na Rua dos Patriotas, s/n, no bairro do Ipiranga, na capital Paulista.

O edifício histórico, que é patrimônio tombado, foi inaugurado em 7 de setembro de 1895 como museu de História Natural e é o mais antigo de São Paulo. Expõe diversos tipos de artefatos que contam a história da sociedade brasileira principalmente relacionada ao período de Independência do Brasil, e conta com acervo que abrange assuntos da história de São Paulo.

Em 2013 o museu foi fechado para reforma devido a diversas manifestações patológicas em sua estrutura entre outras necessidades.

Figura 6 – Edifício-Monumento Museu do Ipiranga em 24/07/2020



Fonte: Acervo da autora

A gestão do Projeto do Museu do Ipiranga é feita de forma compartilhada pelo Comitê Gestor Museu do Ipiranga 2022, pela direção do Museu do Ipiranga e pela Fundação de Apoio à USP (FUSP).

Cada uma dessas entidades possui suas responsabilidades dentro do projeto: o Comitê Gestor Museu do Ipiranga propõe diretrizes e monitora a execução do Projeto de ampliação e restauro. A direção do Museu do Ipiranga participa regularmente do Grupo de Trabalho e é responsável pela conceituação do Projeto, o desenvolvimento dos conteúdos e pela execução de atividades acadêmicas e culturais da instituição. A FUSP - Fundação de Apoio à USP é uma entidade privada, sem fins lucrativos, cujo objetivo é proporcionar à Universidade de São Paulo - USP, meios necessários à adequada mobilização de recursos humanos e materiais para o atendimento das finalidades de ensino, pesquisa e extensão da Universidade de São Paulo; desenvolver atividade de apoio cultural, social, acadêmico, ambiental, esportivo e a saúde.

A Universidade de São Paulo (USP) realizou um convênio com a Fundação, que formula e gerencia os projetos incentivados de captação de recursos pelo Programa Nacional de Apoio à Cultura (PRONAC), estabelece os contratos com os patrocinadores e recebe e administra as verbas de patrocínio e outras fontes de recurso para a viabilização financeira do projeto. A FUSP disponibiliza também equipe técnica para acompanhamento da obra, e contrata e gerencia os contratos dos principais intervenientes, como a empresa construtora e a empresa gerenciadora.

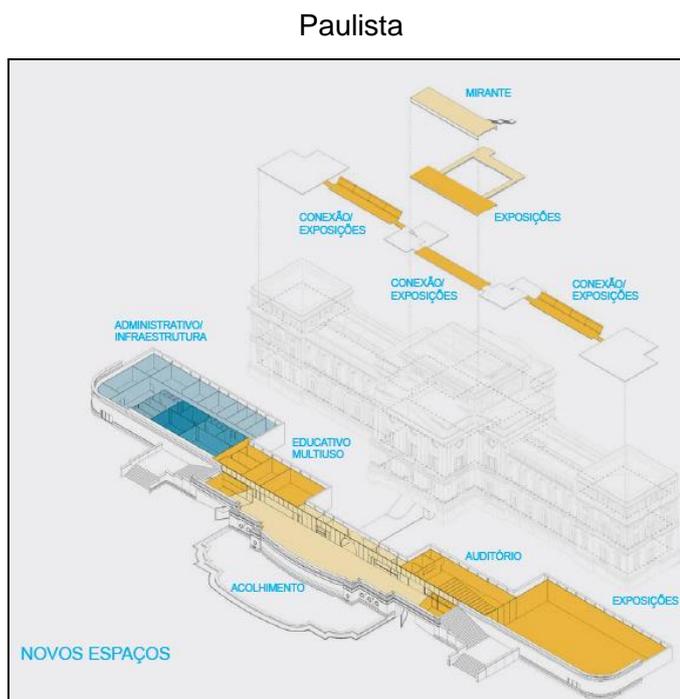
### **3.1 Caracterização da obra**

A obra consiste em execução de serviços de restauro, modernização e ampliação do Edifício-Monumento do Museu do Ipiranga, tendo sido motivado pelas condições de sua estrutura e alvenarias, as quais apresentavam diversas manifestações patológicas, em sua maior parte causada por infiltração de água, podendo estar comprometendo a segurança e estabilidade do edifício. Além disso, a edificação não está em conformidade com as novas exigências das normas de acessibilidade e segurança contra incêndio.

A equipe projetista foi escolhida por meio de um Concurso Nacional de Arquitetura, promovido em 2017 pela FUSP, com o apoio institucional do Instituto de Arquitetos do Brasil – Departamento de São Paulo e pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo.

O projeto arquitetônico propõe a restauração das características físicas do museu, além de uma ampliação de 6.840m<sup>2</sup>, que formam principalmente o novo acesso público subterrâneo integrado para acolhimento dos visitantes, onde também irá distribuir outros novos espaços como áreas de atendimento, bilheterias, salas educativas e de uso múltiplo, auditório, loja, café e túnel de conexão ao Edifício-Monumento, e ainda novas áreas de exposições e de circulação, além de conexão entre torres em pavimentos superiores e também a criação de um terraço-mirante na cota mais alta do Edifício-Monumento, como pode-se observar na Figura 7.

Figura 7 – Novos espaços propostos no projeto de restauro e modernização do Museu



Fonte: Estudo preliminar de arquitetura.

Para os deslocamentos verticais o projeto prevê a modernização e instalações de elevadores e escadas rolantes. O projeto também conta com rampas e escadas convencionais.

A estrutura pré-existente é inteiramente em tijolo cerâmicos maciços e possui arquitetura de estilo neoclássico.

Com duração prevista de 30 meses, a obra teve seu início em novembro/2019, com conclusão prevista para janeiro/2022. Após a conclusão das montagens das exposições, a reabertura do museu acontecerá no dia 7 de setembro de 2022, para a celebração do bicentenário da Independência do Brasil. O contrato de construção é de cerca de R\$ 140 milhões.

A obra, assim como outras iniciativas ligadas à reabertura do museu em 2022, está sendo patrocinada por diversas empresas de iniciativas pública e privada via Lei de Incentivo à Cultura as quais atualmente são: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Banco Safra, Bradesco, Caterpillar, Comgás, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), EDP, EMS, Honda, Itaú, Vale, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), Grupo Ultra Ipiranga e Pinheiro Neto Advogados. Além disso, há ainda a parceria da Fundação Banco do Brasil e da Caixa.

A construtora foi escolhida por meio de uma cotação prévia de preços objeto de um instrumento convocatório de obras civis, instalações prediais e restauro, promovido pela FUSP em 2019.

Para apoiar na gestão da engenharia nas fases de pré-obra e de obra, a FUSP contratou uma empresa gerenciadora.

### **3.2 Especificações de Projetos – Concreto Pigmentado**

Considerando a complexidade da produção de concreto pigmentado, foram contratados diversos projetistas e especialistas para especificar os métodos e resultados esperados na execução de elementos do material em questão no projeto do Museu do Ipiranga, os quais são destacados abaixo.

### 3.2.1. Projeto de Arquitetura

Os arquitetos responsáveis técnicos pelo projeto de restauração, modernização e ampliação do Museu do Ipiranga, elaboraram diversas especificações contidas no memorial descritivo de arquitetura, voltadas exclusivamente à execução do concreto pigmentado, conforme observado nos itens a seguir.

#### 3.2.1.1 Fôrmas

O projeto de arquitetura indica o tipo de fôrma a ser empregada para modelar os elementos em concreto, incluindo seu sistema de travamentos, conforme trechos do memorial descritivo de arquitetura, reproduzidos abaixo.

Para paredes e pilares poligonais, pág. 73:

Fôrmas para Concreto Aparente em placas de Compensado 18mm Plastificado (250g/cm<sup>2</sup> de filme fenólico) e 9 camadas tipo exportação, dimensões 122cm x 244cm.

[...]

O sistema de estruturação e travamento das fôrmas deverá utilizar vigas H20, em sistema tipo "Vario" (Peri), "Top 50" (Doka) e "Multiform" (SH).

Para pilares redondos:

“Para os pilares redondos, a fôrma deverá utilizar ripado de Pinus (7,5cm de largura da peça, aparelhada, com umidade menor do que 12%).”

Para lajes nervuradas:

“As fôrmas das cubetas deverão ser apoiadas sobre cama nivelada de compensado, evitando-se o uso da peça de guia tipo cartola.”

O memorial ainda ressalta que o projeto de fôrmas e sua paginação deverão passar pela análise e aprovação dos arquitetos responsáveis.

#### 3.2.1.2 Pigmentação do Concreto

Quanto à pigmentação do concreto, a arquitetura prevê a utilização de duas cores: marrom e preto, e suas especificações estão destacadas a seguir, conforme memorial descritivo:

“Pigmentação Marrom obtida com adição de 3% de pigmento (óxidos de ferro) em proporção igual das cores vermelho e amarelo (Ref. Lanxess Bayferrox 917L0M e L118M ou equivalente).”

Essa tonalidade de cor será empregada em todos os novos elementos de concreto como lajes, paredes e pilares da área de ampliação, exceto nas áreas técnicas situadas junto às torres Leste e Oeste do Edifício-Monumento, e em todas as estruturas, tetos e paredes de concreto do Anexo de Serviços.

“Pigmentação preta obtida com adição de 4,5% de pigmento inorgânico (óxidos de ferro) na cor preta (Ref. Lanxess Bayferrox 318 PF ou equivalente).”

O concreto pigmentado preto será aplicado em todos os novos elementos das áreas externas que compõe os jardins ao redor do Edifício-Monumento, tais como guias e muretas, incluindo as áreas técnicas e bocas de ventilação situadas no subsolo junto às torres Leste e Oeste do Edifício-Monumento.

O memorial ainda observa que os pigmentos devem ser inorgânicos à base de óxidos de ferro, e devem atender aos critérios de desempenho estabelecidos na norma ASTM C 979.

### **3.2.1.3 Proteção Superficial**

A arquitetura definiu que os elementos deverão ser lixados e posteriormente feito aplicação de impregnante incolor fosco tipo DPS+TSA “Evercrete” ou equivalente para o tratamento superficial do concreto.

A textura final deve ser uma superfície lisa, exceto para os pilares redondos, sem marcas acentuadas nas juntas das fôrmas, em cores marrom avermelhado e cinza escuro.

### **3.2.1.4 Recomendações Gerais**

Há ainda as recomendações para executar testes e protótipos de cores e aplicação de tratamento superficial para que sejam aprovados pelos arquitetos.

O memorial descritivo de arquitetura ainda menciona a necessidade de contratação de um consultor especialista para certificar que todas as características especificadas como cor, textura e aparência sejam atendidas.

Também há menção de cuidados com a cura e adensamento do concreto pigmentado para não haver colorações diferentes entre as diversas concretagens, além de não ser realizada aplicação de nata de concreto para não descaracterizar a textura do concreto desformado.

### **3.2.2 Projeto de Estruturas**

O projeto estrutural prevê a execução de diversos elementos como lajes, paredes, vigas e pilares em concreto pigmentado (conforme especificação da arquitetura) com armaduras passiva e ativa e conta também com lajes maciças e nervuradas.

O projeto especifica aproximadamente 3200m<sup>3</sup> de concreto pigmentado a ser utilizado, podendo ser um recorde de volume deste material em uma mesma obra no Brasil.

A classe de agressividade ambiental determinada para este projeto é a moderada, II, sendo o concreto de resistência característica ( $f_{ck}$ )  $\geq 40$  MPa, com módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ) de 30,1 GPa, fator água/ cimento  $\leq 0,45$  (em massa) e consumo de cimento  $\geq 360$  kg/m<sup>3</sup>. Os cobrimentos especificados são 2,5 cm para lajes e 3 cm para vigas, paredes e pilares.

O projeto ainda menciona que a cura deve receber todos os cuidados, incluindo proteção solar com pequena camada de areia e água de hidratação a cada hora nos primeiros três dias.

Para preparo, controle, recebimento e verificações do concreto, o projetista indica atender a NBR 12655, e ressalta ainda que o controle tecnológico de resistência do concreto deverá ser por amostragem total (ensaio de exemplares de cada amassada) e controle total (rastreadabilidade ou mapeamento do concreto lançado).

Todas as especificações de projeto de estruturas descritas nessa seção limitam-se aos locais aos quais a autora acompanhou as concretagens e teve acesso às informações.

### 3.2.3 Projeto de Fôrmas

As especificações feitas para o sistema de fôrmas a serem utilizados nessa obra foram desenvolvidas pelo próprio fornecedor e fabricante de fôrmas e escoramentos.

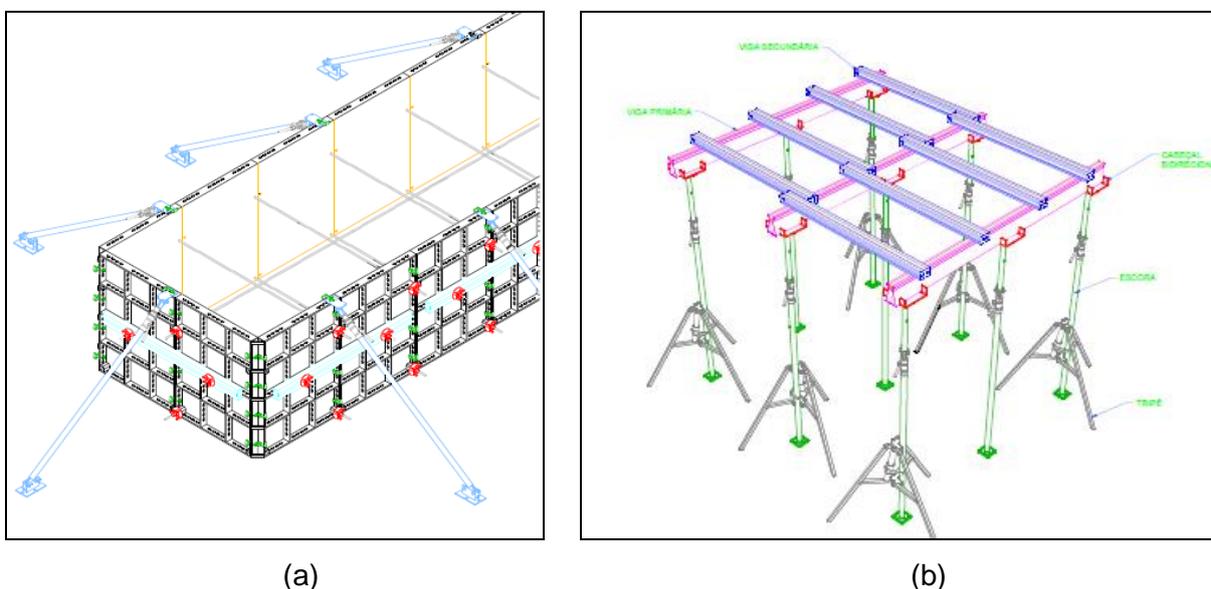
A empresa elaborou um projeto de fôrmas baseado em suas soluções de catálogo. Este tipo de estrutura é um sistema de fôrmas modular leve, composto por estrutura metálica galvanizada a fogo que serve como base para suportar a fôrma de compensado, que para essa obra utilizou-se a espessura de 12mm em conjunto com outra camada de compensado de 6mm, com capa fenólica de 240g/m<sup>2</sup>, considerando a pressão máxima de concretagem de 40kN/m<sup>2</sup>.

O projeto inclui também o dimensionamento e localização do escoramento de lajes incluindo os travamentos da estrutura, com destaque para a montagem dos componentes destes sistemas, conforme pode-se observar na Figura 8.

Figura 8 – Perspectivas Projetos de Fôrmas

(a) Detalhe Típico de montagem dos cimbramentos em bloco “retangular”

(b) Detalhe típico de montagem do escoramento da laje



Fonte: Projeto de Fôrmas.

A empresa também ministrou cursos rápidos sobre os procedimentos de montagens de fôrmas para a equipe de carpintaria.

### 3.2.4 Especificação dos Materiais, Dosagem e Diretrizes de Execução

A construtora contratou uma empresa de consultoria especializada na execução de concreto pigmentado, tendo como escopo de serviço caracterizar os materiais que compõe o concreto pigmentado para elaborar um traço que seja compatível com os resultados esperados nos projetos de arquitetura e estruturas, bem como fazer o acompanhamento de algumas concretagens.

Além disso, a empresa também é responsável por ministrar cursos rápidos durante a obra para treinar equipes para executar o concreto pigmentado da melhor maneira possível, indicando as técnicas recomendadas e os procedimentos necessários para atingir os resultados esperados.

A autora teve acesso ao relatório contendo as diretrizes iniciais de execução de tratamentos superficiais para concreto pigmentado dessa obra, desenvolvido por essa empresa de consultoria, o qual tem seus pontos de destaque relacionado abaixo:

- remoção de materiais que não pertencem ao elemento de concreto incluindo tubos de PVC e cones de encosto (chupetas), de maneira a não danificar a superfície do concreto, para posterior limpeza técnica;
- tamponamentos dos furos originados pelos tubos de PVC e cones, com aplicação de argamassa rebaxada de 2 à 5 mm, com as seguintes especificações: “[argamassa] Polimérica com características que contribuam na aplicação, em sua aderência e na durabilidade ao longo dos anos (carbonatação, corrosão, entre outros fatores) contando com adições e baixa permeabilidade.” (relatório Diretrizes Iniciais para o Tratamento – rev. 00, 11/11/2020, pág.3);
- limpeza da superfície com escova para o caso de concreto em acabamento ripado ou lixado para concreto liso, podendo ser processos manuais ou mecânicos, com controle de velocidade para este último;
- limpeza com água pressurizada com jato em leque;

- indicação de diversos tipos de correções superficiais estéticas, seja devido a armações expostas, bolhas, fissuras ou juntas, principalmente com uso de pasta industrializada ou produzida em obra, a base de cimento comum ou branco, pigmento, adesivo e água, com aplicação de uma ou duas demãos pontualmente e posterior regularização. A cor e tonalidade da pasta deve ser testada e aprovada.
- aplicação de silicato com a face do concreto limpa. Verificar com fornecedor do produto a aplicação de pelo menos uma demão da proteção antes das correções superficiais para não influenciar na absorção correta;
- avaliar possível mudança de coloração da superfície final após a aplicação do silicato, através de testes em protótipos;
- aplicação de produto hidrofugante/ hidro-óleofugante. O produto não deve alterar as características superficiais consideravelmente, verificar as especificações técnicas previamente; e
- indicação das informações que devem conter o manual técnico da obra (tipo de tratamento, produto, garantia etc.).

### **3.3 Execução da Obra**

Antes do início da concretagem, a empresa construtora efetuou testes de cor em protótipos em formatos cilíndricos em conjunto com a empresa de consultoria de concreto pigmentado, para análise e aprovação dos arquitetos. Foram feitos o total de 6 amostras com diferentes cores e porcentagens de adição de pigmentos por kg de cimento. A Figura 9 demonstra cada uma das amostras executadas e a Figura 10 as amostras aprovadas.

Figura 9 – Protótipos de cor e percentual de pigmentos



Fonte: Arquivo da empresa de consultoria de concreto.

Figura 10 – Protótipos Aprovados pela Arquitetura (pigmento preto: Bayferrox 318PF – 4,5% e pigmento marrom Bayferrox 975M – 3%)



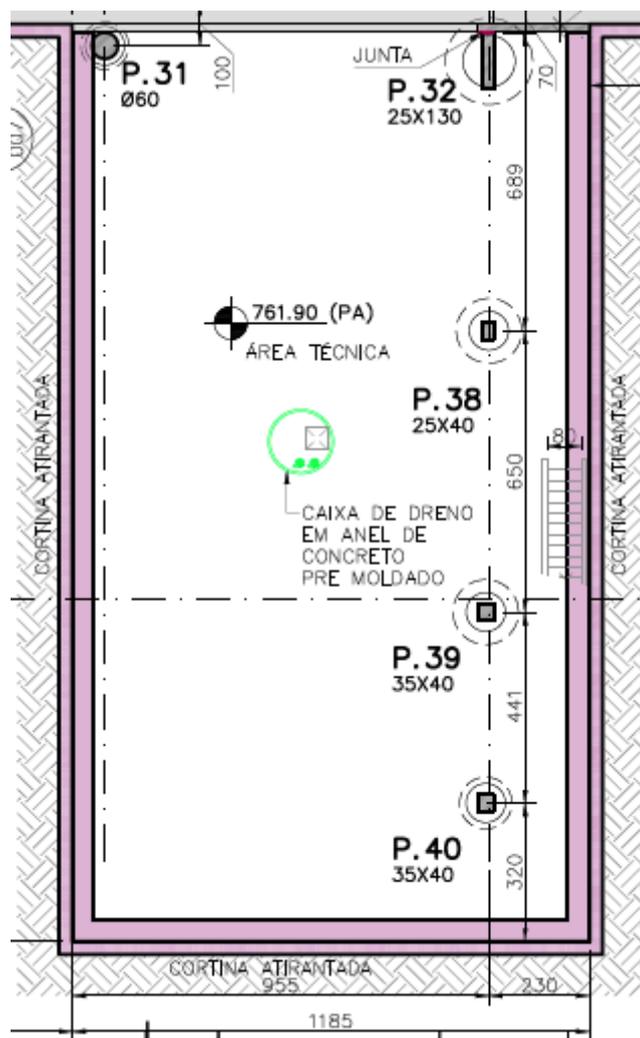
Fonte: Acervo da autora.

### 3.3.1 Concretagem

Após a aprovação das amostras, foi executada a primeira concretagem “teste” para cada uma das cores de concreto, que foram em quatro pilares da área técnica: P32 (25 x 130 cm), P38 (25 x 40 cm), P39 (35 x 40 cm) e P40 (35 x 40 cm), ilustrados nas Figura 11 e 12, com 3m<sup>3</sup> de concreto pigmentado preto e também uma parede

protótipo com concreto pigmentado marrom com 4m<sup>3</sup> demonstrada na Figura 13, que não é parte integrante efetivamente da obra e será demolida posteriormente.

Figura 11 – Recorte do projeto de estruturas - Pilares em concreto pigmentado preto da área técnica



Fonte: Projeto de Estruturas.

Figura 12 – Fôrmas e armaduras montadas para concretagem dos pilares da área técnica



Fonte: Acervo da autora.

Figura 13 – Fôrmas e armaduras montadas para concretagem da parede “teste”



Fonte: Acervo da autora.

Após a concretagem da parede “teste” ilustrada acima, a construtora também executou uma laje nervurada (cubeta) posteriormente, a qual a autora não acompanhou a concretagem, porém teve acesso aos resultados, conforme Figura 14.

Figura 14 – Laje teste (a) fôrmas montadas (b) vista da parte inferior da laje (cubetas) (c) vista da cobertura da laje sendo concretada



(a)

(b)

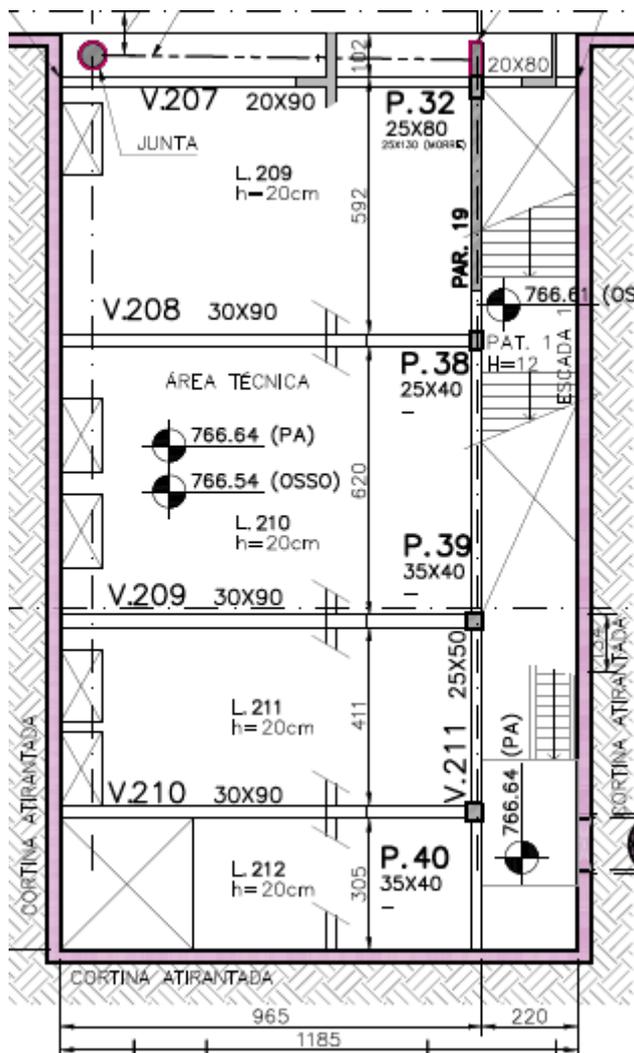


(c)

Fonte: Acervo da Concrejato.

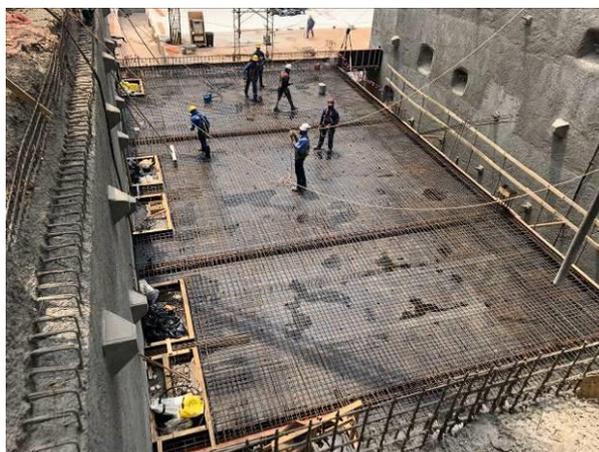
Além da concretagem “teste” essa autora também teve a oportunidade de acompanhar outra concretagem de concreto preto, que consistia em quatro lajes maciças: L209, L210, L211 e L212 de espessura de 20cm, e cinco vigas: V207 (20 x 90 cm), V208 (30 x 90 cm), V209 (30 x 90 cm), V210 (30 x 90 cm) e V211 (25 x 50 cm), todos elementos pertencentes à área técnica, conforme verificado nas Figuras 15 e 16, com total de 53m<sup>3</sup>.

Figura 15 – Projeto de Estruturas, destaque para lajes e vigas da área técnica



Fonte: Projeto de Estruturas.

Figura 16 – Fôrmas e armaduras das lajes e vigas da área técnica



Fonte: Acervo da autora.

### 3.3.1.1 Materiais e Dosagem

A Tabela 6 apresenta as especificações dos materiais utilizados para produção do concreto preto e marrom e sua quantidade em kg por m<sup>3</sup> de concreto.

Tabela 6 – Especificações materiais utilizados na mistura do concreto pigmentado

<b>Material</b>	<b>Marca/ Procedência</b>	<b>Quantidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cimento CP V – ARI – RS	InterCement Ijací	340
Adição Sílica Ativa	Tecnosil	20
Agregado Graúdo – Brita 0	Pedr. Polimix	302
Agregado Graúdo – Brita 1	Pedr. Polimix	704
Agregado Miúdo – Areia Fina	Extrabase	495
Agregado Miúdo – Areia Industrial	Pedr. Polimix	333
Água		170
Aditivo Silicon MR 3050	Tecnosil	1,10% (volume)
Aditivo Silicon Estabil 25	Tecnosil	0,30% (volume)
<b>Para concreto preto utiliza-se:</b>		
Pigmento Preto Bayferrox 318PF	Lanxess	15
<b>Para concreto marrom utiliza-se:</b>		
Pigmento Marrom Bayferrox 975M	Lanxess	10

Fonte: Dados fornecidos por Concrejato.

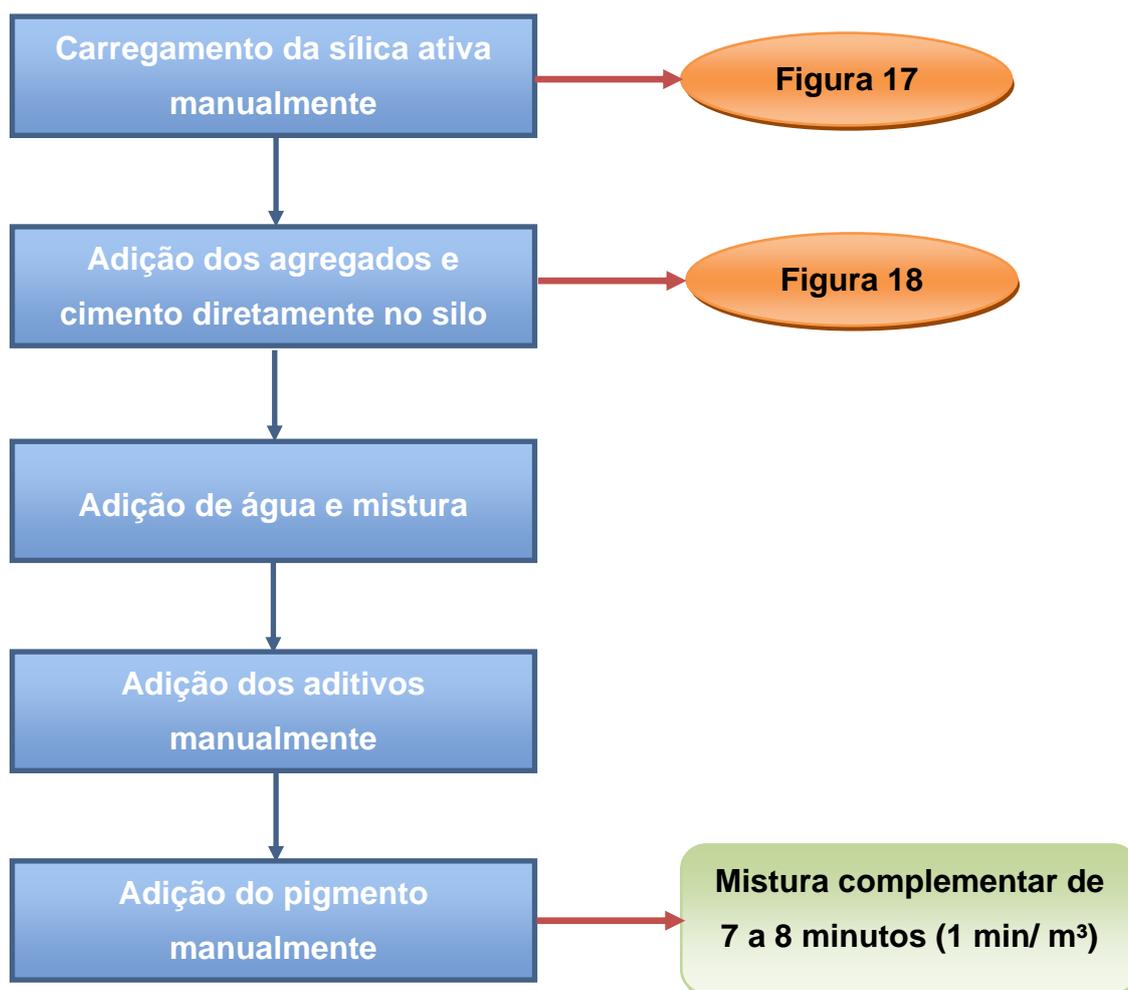
Vale destacar que o aditivo Silicon MR 3050 segundo o catálogo do fabricante, é considerado redutor de água/superplastificante, tendo como função principal de diminuir o consumo de água e aumentar a trabalhabilidade, contribuindo para o aumento da resistência mecânica do concreto no estado endurecido e a

permeabilidade, resultando em uma superfície mais lisa e coesa. Possui cor que pode variar entre mel e castanho e seu aspecto físico é um líquido viscoso.

Já o aditivo Silicon Estabil 25 é caracterizado como controlador de hidratação, sendo sua função principal retardar o início de pega, aumentando o tempo de manuseio do concreto. Possui cor amarelo claro e seu aspecto físico é líquido.

### 3.3.1.2 Carregamento e sequência de mistura

Foi feita a visita na central de usinagem de concreto da empresa concreteira, situada na cidade de São Bernardo do Campo, há aproximadamente 15 km da obra, e observou-se a seguinte sequência de carregamento dos caminhões betoneiras:



Depois de realizado o processo de carregamento, o caminhão é lacrado e está pronto para seguir para a obra.

Figura 17 – Caminhão betoneira sendo carregado manualmente (a) vista do pátio e (b) vista da plataforma



(a)



(b)

Fonte: Acervo da autora.

Figura 18 – Carregamento de brita e areia diretamente no silo (a). Cabine de comando de pesagem e dosagem dos materiais, sistema automatizado (b).



(a)



(b)

Fonte: Acervo da autora.

### 3.3.1.3 Recebimento

Após a verificação da nota fiscal, conferência do lacre do caminhão betoneira e constatação de que não houve adição de água após a saída do centro de usinagem de concreto, procedeu-se com o recebimento do concreto executando o ensaio de abatimento do concreto (*slump test*) conforme previsto nas normas NBR NM 67 e NBR 12655, conforme Figuras 19 e 20.

A especificação prevista é um concreto com *slump* mínimo de 22 cm, o que ocorreu para ambos as cores de concreto pigmentado, permitindo a execução das próximas etapas do processo.

Figura 19 – Ensaio de abatimento *Slump test* – Concreto Preto



Fonte: Acervo da autora.

Figura 20 – Ensaio de abatimento *Slump test* – Concreto Marrom



Fonte: Acervo da autora.

Após a realização do *slump test*, foram moldados os corpos de prova (Figura 21) para execução dos ensaios de resistência do concreto com 7, 14, 28 e 63 dias de idade.

Figura 21 – Corpos de provas moldados



Fonte: Acervo da autora.

#### 3.3.1.4 Lançamento

Conforme observado nas Figuras 22 e 23, foi utilizada bomba lança para fazer o lançamento do concreto pigmentado devido ao grande alcance horizontal necessário. O tubo utilizado foi de bitola 3”.

Figura 22 – Bomba lança sendo preparada para concretagem dos pilares



Fonte: Acervo da autora.

Figura 23 – Lançamento do concreto nos pilares (a), na parede “teste” (b) e na laje com vigas (c)



(a)

(b)



(c)

Fonte: Acervo da autora.

No momento do lançamento de concreto nos pilares, verificou-se que houve uma dificuldade da bomba lança fazer o impulsionamento do concreto através do tubo de 3". Essa obstrução da passagem do concreto se deu devido a utilização de 70% de brita 1. Para contornar esse problema, na segunda concretagem do dia (concreto marrom) da parede, procedeu-se com o bombeamento de nata de cimento comum para posterior bombeamento do concreto pigmentado, o que contribuiu para a passagem do concreto sem nenhum impedimento.

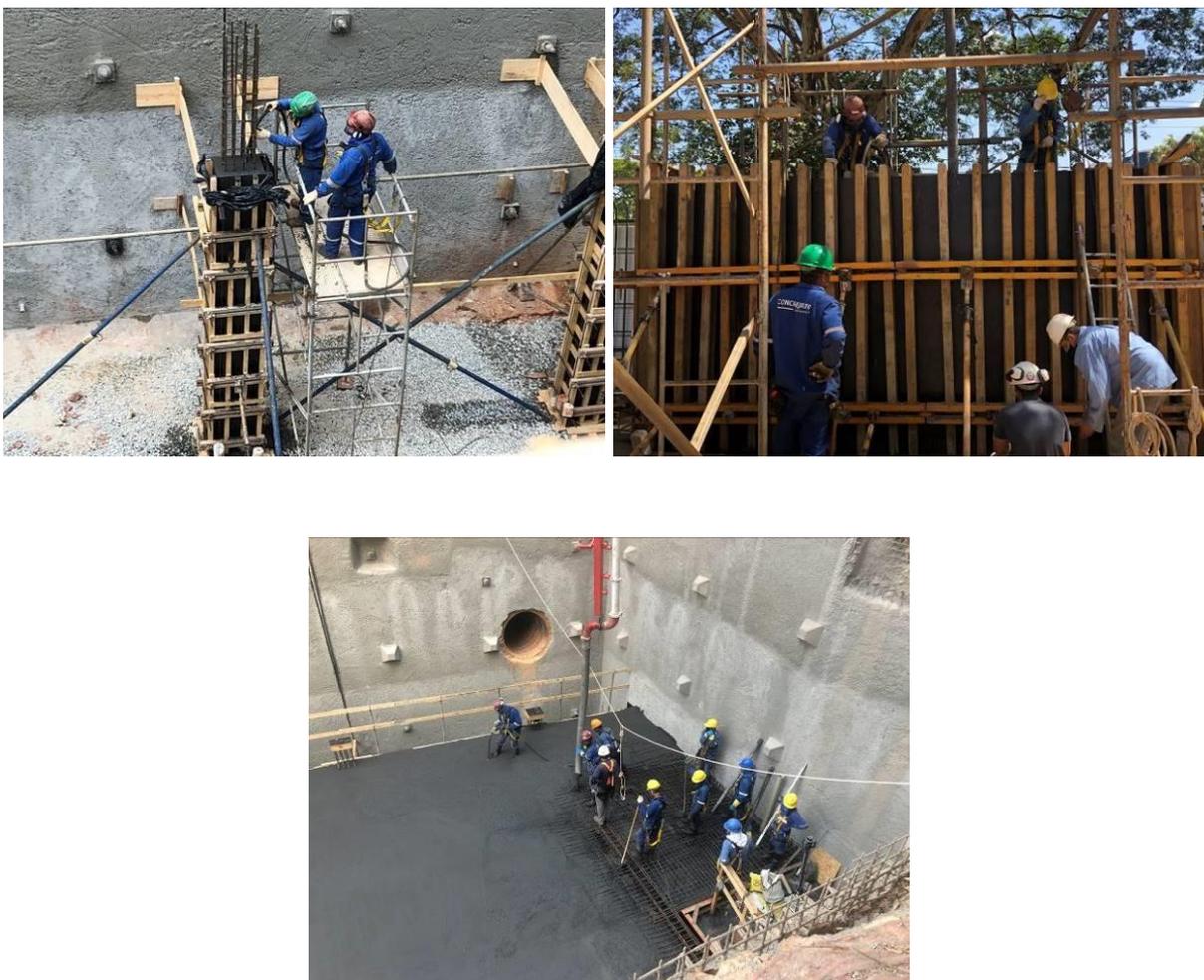
Para evitar problemas futuros com obstrução da tubulação optou-se em modificar o traço do concreto alterando para inserção de 70% de brita 0 e 30% de brita 1,

invertendo os teores de brita inicialmente previstos (verificado na tabela 6) do item 3.3.1.1. Essa mudança de traço já havia sido implementada para a concretagem das lajes e vigas verificadas na Figura 23 (c).

### 3.3.1.5 Adensamento

O adensamento de todos os elementos que estavam sendo concretados foi feito através de vibrador interno, como pode-se observar na Figura 24. Além disso, na parede e pilares foram desferidos golpes com marreta nas fôrmas do lado externo manualmente.

Figura 24 – Adensamento do concreto fresco em cada um dos elementos estruturais



Fonte: Acervo da autora.

### 3.3.2 Cura

O processo de cura para a parede e pilares foi apenas mantendo as fôrmas montadas e cobrindo o topo com lona plástica. Já para a laje e vigas, o processo foi iniciado imediatamente após a concretagem através de aspersão de água sobre os elementos, conforme Figura 25, e posteriormente coberto com manta geotêxtil (bidim) umidificado 3 vezes ao dia ou mais, dependendo da temperatura ambiente, pelo período de 7 dias.

Figura 25 – Aspersão de água em parte da laje recém concretada, início do processo de cura.



Fonte: Acervo da autora.

### 3.3.3 Acabamento e Proteção Superficial

Até a data de conclusão de estudo deste trabalho, o acabamento e proteção superficial das peças de concreto utilizadas como protótipos não havia ocorrido.

Porém, o relatório de diretrizes iniciais para tratamento superficial do concreto pigmentado elaborado pela empresa de consultoria de concreto pigmentado indica a utilização de silicato dos seguintes possíveis fornecedores de referência: DPS (Evercrete); Peneseal Facade PRO (Penetron); CWS 100 - antigo Radcon #7 – (Netherland). Já para fornecimento de hidrofugante/ hidro-ólefugante a empresa

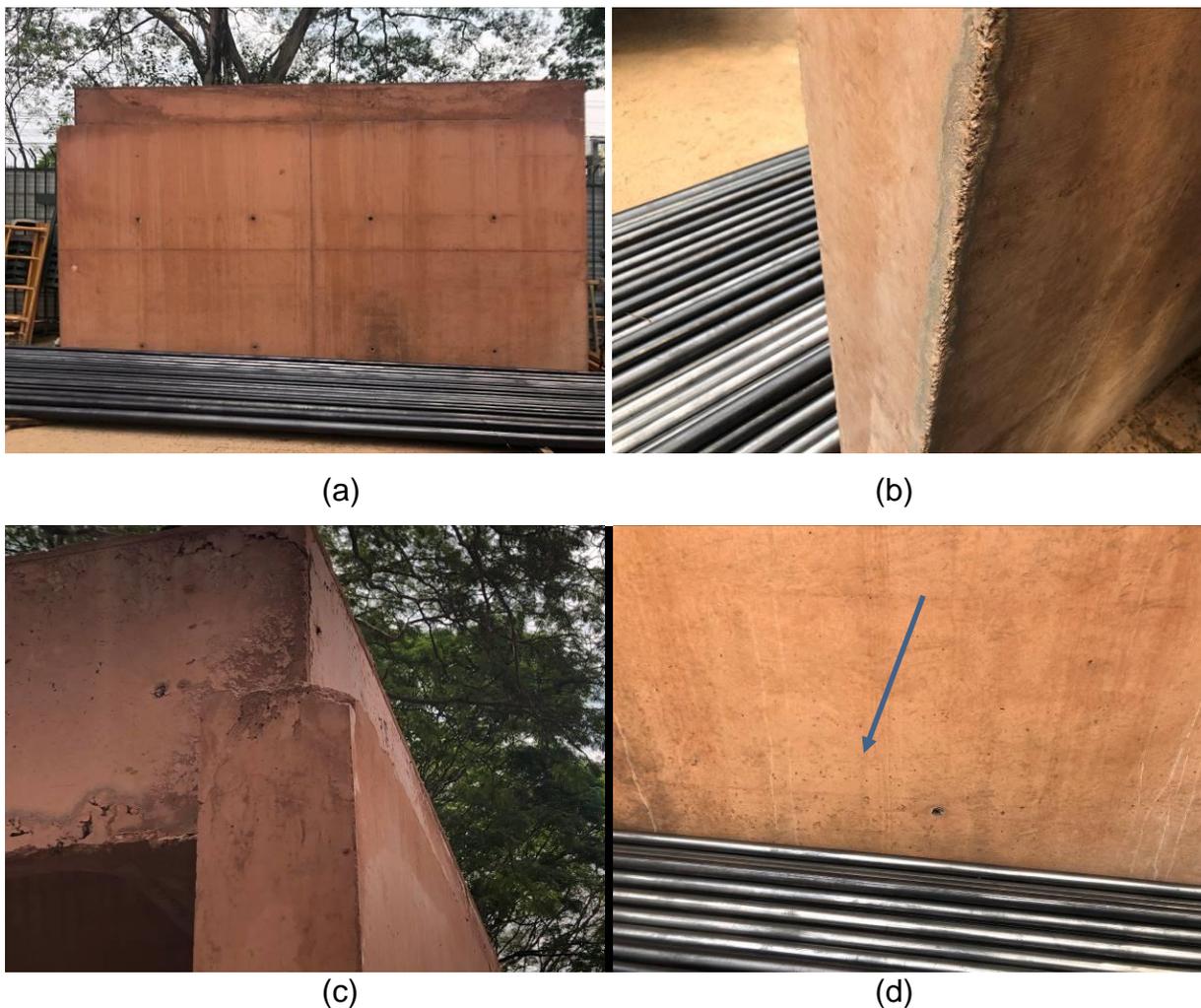
indicou: Akemi; Topseal (importadora Guard Industrie, Crete Colors e Isomat); Evercrete TS e TSA; Nano BR; MC Bauchemie; Basf.

Independente do produto a ser utilizado, o relatório orienta ponderar a base química, o prazo de garantia, e a influência estética no substrato, sendo que os produtos não poderão alterar as características naturais do substrato notavelmente.

### 3.3.4 Resultado

Concluída as etapas de concretagem e desforma, observa-se as condições superficiais dos elementos em concreto marrom nas figuras abaixo.

Figura 26 – Parede "teste" após a desforma (a) vista frontal da parede (b) detalhe de aresta vertical (c) detalhe da aresta horizontal e encontro com a laje (d) vista na parte inferior da parede



Fonte: Acervo da autora

Observa-se na Figura 26 que a superfícies da parede não estão totalmente regulares e há falhas de concretagem nas arestas e quinas, além de se verificar manchas e tonalidades diversas.

Na parte inferior da parede, constata-se a presença de bolhas de ar em quantidades significativas.

Abaixo estão as figuras que demonstram o resultado da concretagem da laje “teste”.

Figura 27 – Laje “teste” (a) vista lateral e inferior (b) vista inferior, nervuras



(a)

(b)

Fonte: Acervo da autora

A laje “teste” apresentou muitos pontos de segregação e falha de concretagens principalmente nas arestas e juntas das fôrmas, além de manchas superficiais visíveis, conforme Figura 27.

Depois de verificado o resultado superficial da parede e laje “teste”, foi efetuado uma nova laje “teste”, com uma mudança no traço, que desta vez utilizou 100% de brita 0, o que apresentou ser bastante positivo, tendo em vista os resultados verificados na Figura 28.

Figura 28 – Laje “teste” (a) vista lateral e inferior (b) vista inferior, nervuras



(a)

(b)

Fonte: Acervo da Concrejato.

Ainda observa-se pontos com manchas, porém essas poderão ser tratadas posteriormente com lixamento.

Já para os elementos em concreto preto, nota-se resultados positivos dos pilares, vigas e lajes da Área Técnica, conforme Figuras 29 e 30.

Figura 29 – Pilar da Área Técnica desenformado



Fonte: Acervo da Concrejato.

Figura 30 – Lajes e vigas da Área Técnica

(a) Vista do lado inferior (teto) e (b) Vista superior da laje



(a)

(b)

Fonte: Acervo da Concrejato.

Constatou-se que as superfícies das peças concretadas indicadas nas Figuras 29 e 30, não sofreram nenhum tipo de falhas de concretagens, fissuração, excesso de bolhas ou irregularidades nítidas. Há variação da tonalidade de cor, porém esse problema pode ser corrigido na etapa de tratamento superficial dos elementos.

Seguidamente à desforma das estruturas houve a proteção das estruturas e elementos com plástico e cantoneiras para não haver sujidades ou rupturas nas arestas a fim de não comprometer o acabamento, conforme é demonstrado nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 – Execução de proteção do pilar em concreto pigmentado



Fonte: Acervo da Concrejato.

Figura 32 – Pilares em concreto preto protegidos



Fonte: Acervo da Concrejato.

Após a verificação dos resultados superficiais sem tratamento e acabamentos, observam-se os resultados dos ensaios de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, conforme Tabela 7, considerando  $f_{ck}$  de projeto de 40 MPa.

Tabela 7 – Resultados de ensaios de resistência à compressão

Elemento	Parede Teste		Laje teste		Pilares Área Técnica		Vigas e Lajes <sup>1</sup> Área Técnica	
	Concreto Marrom		Concreto Marrom		Concreto Preto		Concreto Preto	
Idade (dias)	Data: 02/09/2020		Data: 19/09/2020		Data: 02/09/2020		Data: 07/10/2020	
	fck previsto (MPa)	fck real (MPa)	fck previsto (MPa)	fck real (MPa)	fck previsto (MPa)	fck real (MPa)	fck previsto (MPa)	fck real (MPa)
7	31,5	33	37,9	40,7	30,6	32,8	42,1	42,5
14	40,8	43,2	50,6	51,7	42,6	43,4	45,4	48,8
28	43,5	44,7	60,8	62,2	50,6	51,1	53,8	57,0
63	50,3	54,6	63,3	64,3	62,5	67,7	-	-

1. Resultado da Laje L209 e Viga V207 (resultados de resistências mais baixas observadas no relatório completo).

Fonte: Dados de relatórios de ensaios fornecidos por Concrejato.

Tendo em vista esses resultados, verifica-se que todos os elementos em concreto pigmentado acompanhados atingiram a resistência de projeto com sucesso nas primeiras idades.

### 3.3.5 Ficha Técnica

Abaixo, verifica-se na Tabela 8 a ficha técnica da obra, contendo as empresas e suas responsabilidades nas diversas etapas da obra relatada neste capítulo.

Tabela 8 – Ficha técnica empresas prestadoras de serviço

Empresa	Responsabilidade
H+F Arquitetos	Projeto de Arquitetura
Companhia de Projetos	Projeto de Estruturas
Ulma Construcción	Projeto e fornecimento das fôrmas; cursos de montagem das fôrmas para equipe operacional
Concrejato Engenharia	Execução da obra (construtora)
Setec Hidrobrasileira	Gerenciamento da Obra (gerenciadora)
InterCement	Fornecimento e lançamento do concreto pigmentado (concreteira)

Fonte: Dados fornecidos por FUSP.

## 4 DISCUSSÃO ESTUDO DE CASO

Após a caracterização e verificação dos detalhes do estudo de caso expostos no capítulo anterior, será apresentada a discussão dos itens considerados mais importantes por essa autora, e que necessitam de melhorias para resultados mais satisfatórios.

Analisando as etapas do processo executivo dos elementos em concreto pigmentado na obra do Museu do Ipiranga, verifica-se a preocupação constante da empresa construtora com a qualidade de materiais, execução e mão de obra para diminuir significativamente os possíveis problemas estéticos. Ainda assim é possível aplicar melhorias no processo como um todo, e não apenas na etapa de execução, e obter resultados aprimorados.

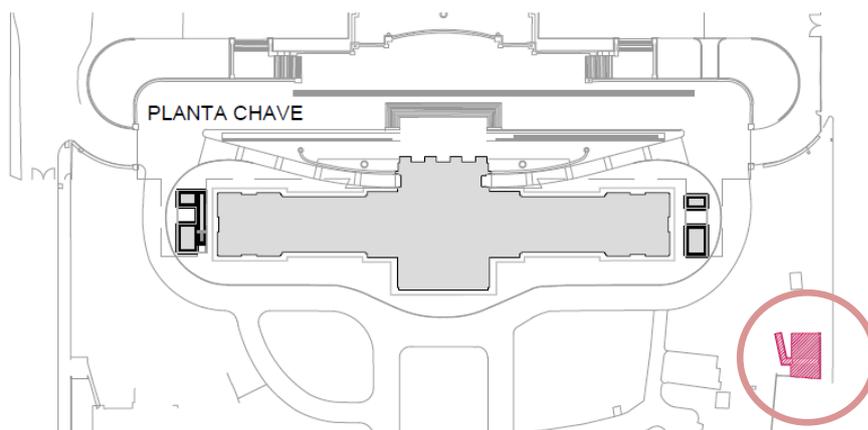
Considerando a fase de projeto, nota-se que seria de grande contribuição ter um projetista de produção de fôrmas específico, ao invés de utilizar-se do projeto de fôrmas desenvolvido pela própria empresa fornecedora das fôrmas.

O profissional que desenvolve o projeto para produção de fôrmas avalia a melhor solução do sistema de fôrmas, orientando como serão executadas e montadas as fôrmas, escoramentos, cimbramentos e quais tipos de materiais, dimensões e quantitativos necessários para cada tipo determinado de elemento a ser concretado, antevendo os possíveis problemas e soluções, minimizando os imprevistos de execução. O projeto de fôrmas visa a qualidade geométrica (prumo, alinhamento, nivelamento e esquadro) para atender ao desempenho o qual a estrutura de concreto foi concebida e a melhor maneira de execução. Contribui também para racionalização de materiais e aumento de produtividade, resultando em redução de custos. Ainda aborda soluções para áreas suscetíveis a erros, por exemplo, arestas e quinas, e pode auxiliar a arquitetura para mudanças de geometria para facilitar a concretagem e a manutenção.

Além disso, com um profissional responsável especializado pelo projeto para produção de fôrmas, há a possibilidade de contar com acompanhamento e fiscalização na obra para conferir e orientar sobre a montagem e execução corretas do sistema de fôrmas projetado.

A percepção sobre a necessidade do projeto de produção de fôrmas, bem como do acompanhamento e orientação especializados, se deu quando da montagem da fôrma do Anexo de Serviços que fica localizado próximo à divisa do terreno com vizinho, como demonstrado na Figura 33. O local contemplará a Sala de DG, Depósito de Lixo, Cabine de Medição e Abrigo de Gás, conforme Figura 34.

Figura 33 – Planta chave com destaque para localização do Anexo de Serviços

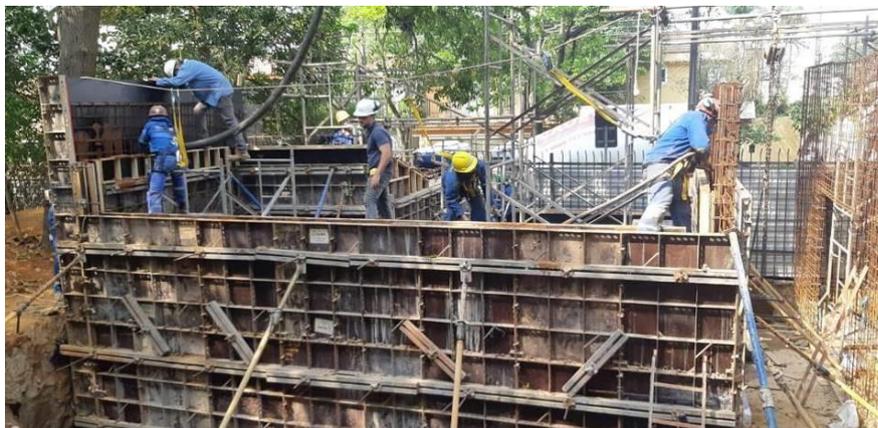


Fonte: Projeto de Estruturas.



cedesse parte de seu terreno para apoio dos cimbramentos, como verifica-se na Figura 35.

Figura 35 – Montagem das fôrmas do Anexo de Serviços



Fonte: Acervo da Concrejato.

Figura 36 – Fôrmas do Anexo de Serviços montadas e protegidas



Fonte: Acervo da autora.

Essa área será em concreto pigmentado preto, porém até o momento do acompanhamento da autora na obra não havia sido executado, apenas havia sido feito a montagem das fôrmas, conforme Figura 36.

Outro ponto observado, agora na etapa de execução, foram as variações significativas de temperatura ambiente e umidade do ar no momento do acompanhamento das concretagens.

A primeira concretagem acompanhada foi realizada no dia 02/09/2020, por volta de 9h, iniciando pelos pilares da área técnica em concreto preto. A temperatura inicial era aproximadamente 19°C, parcialmente nublado, com umidade relativa do ar próxima a 73%. Essa concretagem foi concluída por volta de 10h45.

Nessa mesma data, a chegada do segundo caminhão que transportava concreto marrom a ser utilizado na parede “teste”, ocorreu em torno das 12h, onde o clima já apresentava sol incidente e umidade relativa do ar com cerca de 57%, com temperatura de 22°C. O final da concretagem se deu às 12h35, com as mesmas condições do início do descarregamento do caminhão betoneira. A temperatura máxima neste dia na cidade de São Paulo foi de 25°C.

A segunda concretagem acompanhada por essa autora, foi realizada em 07/10/2020, onde concretou-se as lajes e vigas da Área Técnica, iniciando em torno de 13h30, com clima ensolarado, temperatura aproximada de 36°C e umidade relativa do ar de 25%. Devido ao volume superior a 53m<sup>3</sup>, a concretagem foi concluída às 19h30 aproximadamente, com temperatura de 28°C e umidade relativa do ar de 58%.

Questões ambientais como a variação de temperatura e umidade do ar podem provocar fissuras e manifestações patológicas nas peças de concreto, comprometendo sua durabilidade e resistência, que segundo Neville (1982) é devido ao processo de hidratação ser mais acelerado e resultar em estruturas físicas piores, mais porosas, afetando a resistência. Além disso, fissuras devido a retração do concreto também tendem a aparecer.

Para sanar este tipo de problema, constante em obras brasileiras devido ao clima tropical, pode-se estudar outros tipos de traços que resistam a essa variação de temperatura acentuada, verificando sempre a possível alteração de cor no resultado.

Pode-se ainda, utilizar concreto resfriado por gelo para diminuir o calor de hidratação, e obter melhores resultados. Aliado a isso também, há possibilidade de fazer o resfriamento das britas, molhando esses agregados, ou ainda prever a concretagem em horários com temperaturas mais amenas.

A cura também contribui bastante para um resultado adequado, sendo necessário manter as peças sempre úmidas para evitar a evaporação rápida.

Adicionalmente, outra etapa acompanhada que merece destaque é a de carregamento do caminhão betoneira dentro da central de concreto.

Comparando a sequência de lançamento dos materiais da empresa concreteira com a bibliografia estudada do capítulo 2, item 2.2.1, verifica-se maneiras distintas de execução. Segundo Hartmann e Benini (2011) existe uma sequência sugerida pela fabricante de pigmentos Lanxess, que consiste em executar uma pré-mistura dos agregados com pigmento, antes da adição de cimento e água, a qual é considerada importante pois auxilia na homogeneização do pigmento.

O processo adotado pela concreteira não segue essa sequência devido a logística já existente no pátio e plataforma de sua central de concreto. O pigmento é fornecido pela construtora e, na central de concreto é incluído de forma manual na proporção especificada na carta traço. A empresa não possui condições logísticas de alterar a sequência de carregamento do caminhão. Mesmo observado essa situação, não foi verificado nenhuma alteração de cor que podemos evidenciar que a sequência adotada está incorreta, ou que impactou negativamente no resultado final.

Finalmente, o último ponto importante observado foi em relação a necessidade de alteração do traço no decorrer das concretagens e testes. Mesmo com os estudos realizados por profissional especializado, o comportamento do concreto em estado fresco e endurecido dependem de outros fatores externos, aos quais não é possível prever ou deter do controle total. Com isso é preciso haver ajustes no traço conforme o desenvolvimento da obra e das situações adversas encontradas e foi exatamente esta a forma de trabalho dos profissionais da construtora conjuntamente com a empresa de consultoria de concreto pigmentado.

De forma geral, os resultados estéticos obtidos foram satisfatórios. Com exceção da parede e da primeira laje “teste” que apresentaram irregularidades na superfície, os demais elementos demonstraram superfícies muito próximas ao esperado, sem falhas de concretagem, bolhas, fissuras ou desalinhamentos evidentes. A superfície estava com aspecto liso e coeso, apresentando manchas com variações de tonalidades, sendo necessário efetuar a etapa de tratamento do concreto para certificar que o acabamento estará em consonância ao projeto de arquitetura.

## **5 REQUISITOS DE DESEMPENHO**

Segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013, p. 9), requisitos de desempenho são “condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos do usuário”. Em outras palavras, os requisitos de desempenho definem as características fundamentais que uma edificação necessita dispor para que tenha qualidade mínima esperada em seus determinados sistemas.

Essa qualidade mínima requerida melhora os indicadores de desempenho da edificação, tendo em vista o conforto e segurança do usuário, o que resulta em edificações cada vez mais eficientes e de padrões de excelência mais altos.

No caso do concreto pigmentado, que possui além da consolidada função estrutural, também a função estética e arquitetônica que valoriza a edificação, outros requisitos de desempenho além dos que a norma ANBT NBR 15575 (2013) apresenta, também são propostos para serem atendidos nesta seção.

Sendo assim, este capítulo visa a proposição de requisitos de desempenho e critérios relativos à estética, durabilidade e manutenibilidade, direcionados para utilização de concreto pigmentado, bem como apresenta sugestões e orientações contendo as diretrizes mínimas e critérios para atendimento aos requisitos propostos.

A escolha de desempenho estético, de durabilidade e de manutenibilidade foram designados pois são exigências do usuário, que preza por ambientes visualmente agradáveis e que precisa manter essa característica ao longo dos anos de vida útil do edifício. Portanto, esse é um conteúdo de grande importância para concreto pigmentado aparente, que muitas vezes não é utilizado por carência de estudos deste gênero no meio técnico.

### **5.1 Desempenho Estético**

O desempenho estético para edificação que utiliza concreto pigmentado aparente sob diversas formas (piso, vigas, pilares, paredes, lajes, revestimentos etc.) pode ser

entendido como a conformidade das formas, cores e texturas pensadas na concepção do projeto, com objetivo de manter o ambiente agradável e harmonioso.

Para elementos em concreto aparente é um item bastante importante, pois é ele que traz a beleza arquitetônica e valorização à edificação.

Para que o elemento em concreto pigmentado possua desempenho estético é preciso que todas as etapas sejam executadas com cautela, a fim de atender os seguintes requisitos:

- a) a superfície deve ser coesa, homogênea e atender ao formato, textura e cor estabelecidos no projeto de arquitetura;
- b) não apresentar fissuras, bolhas de ar, segregações, falhas de concretagem ou ainda exposição da armadura;
- c) não apresentar irregularidades e excesso de argamassa ou nata de cimento em sua superfície;
- d) não apresentar manchas ou variações de cor e/ou tonalidade visíveis a olho nu;
- e) não apresentar desalinhamento, desaprumo ou falta de esquadro;

### **5.1.1 Diretrizes**

#### **a) Projeto**

- definir a textura, cor e acabamento desejado;
- desenvolver um traço adequado de acordo com o tipo de uso da edificação e o projeto arquitetônico por meio de um profissional tecnólogo especialista em concreto pigmentado;
- prever projeto de produção de fôrmas para antecipar a resolução de áreas críticas como arestas e cantos;
- executar protótipos e amostras de elementos para antever o resultado final e verificar se está em consonância com o projeto e/ou resultado esperado.

**b) Execução**

- controle e caracterização dos materiais que compõe o concreto pigmentado a serem utilizados;
- escolher tipo e classe do cimento de acordo com a tonalidade e/ou cor determinadas em projeto, considerando a classe de agressividade ambiental e demais características da obra e sua envoltória;
- garantir a utilização de materiais que compõe o concreto pigmentado do mesmo tipo, cor, origem e/ou fabricante durante toda obra para evitar alterações de cor e tonalidade;
- os pigmentos devem preferencialmente atender às exigências da norma ASTM C979;
- capacitação da equipe operacional de montagem de fôrmas e de execução de lançamento, adensamento e acabamento;
- as fôrmas devem ser estanques e não devem absorver água;
- inspecionar as fôrmas após sua montagem para garantir o alinhamento e a estanqueidade das juntas, bem como sua correta execução;
- executar limpeza das fôrmas antes da concretagem para não haver contaminações e causar manchas ou defeitos na superfície;
- para o transporte do concreto pigmentado os equipamentos como bombas, carrinhos etc. devem estar limpos livres de óleos, ferrugem ou restos de materiais;
- utilizar espaçadores para garantir o correto cobrimento das armaduras;
- garantir que a mistura de concreto pigmentado esteja uniforme e homogênea;
- lançamento do concreto em altura não superior a 2m para evitar segregação;
- utilizar vibradores internos para compactação do concreto, e quando não houver espaço suficiente para utilização deste, utilizar vibrador externo nas fôrmas;

- realizar a desforma de um mesmo elemento no mesmo período para evitar machas superficiais;
- executar a cura adequada para cada tipo de elemento concretado, pelo tempo necessário;
- utilizar proteção superficial que não altere a cor da superfície do concreto, mantendo sua função de proteger contra umidade.

### 5.1.2 Critérios de desempenho

Na produção do concreto pigmentado, para que a cor da superfície esteja de acordo com o desejado, em casos em que manchas e variações de cores não façam parte da concepção do elemento, deve-se considerar os seguintes critérios de desempenho:

- são toleráveis fissuras desde que não seja visível a olho nu por um observador situado a 1,00m da superfície de concreto pigmentado em análise, em um cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, sob iluminação igual ou maior a 250 lux, ou que a soma das extensões não exceda 0,1m/m<sup>2</sup>, em relação à área total da superfície do elemento (ABNT NBR 15575, 2013).
- atender aos teores de pigmentos observados na Tabela 9:

Tabela 9 – Teores normalmente empregados de pigmentos

<b>Principais Pigmentos inorgânicos</b>	
<b>Tonalidade Desejada</b>	<b>Teor de pigmento</b>
Concreto de cores pálidas, tons pastéis quando utilizado cimento branco	1 a 2 kg por 100 kg de cimento
Tons médios	3 a 5 kg por 100 kg de cimento
Tons escuros	6 a 8 kg por 100 kg de cimento

Fonte: Hartmann e Benini (2011).

- não ultrapassar 10% de adição de pigmento em relação ao peso do cimento;

- não ultrapassar o limite de variação de cor  $\Delta E$  de 1,5, conforme demonstrado na Tabela 10, abaixo:

Tabela 10 – Valores totais de diferença de cor e avaliação a olho nu

$\Delta E^*$	Avaliação da diferença de cor
Menor que 0,2	Não visível
0,2 – 0,5	Muito suave
0,5 – 1,5	Leve
1,5 – 3,0	Notável
3,0 – 6,0	Muito notável
6,0 – 12,0	Grande
Maior que 12,0	Muito grande

Fonte: Teichman (1995) apud Positieri (2005).

## 5.2 Requisitos de Durabilidade

Assim como qualquer outro material, o concreto se deteriora durante os anos em decorrência da exposição da sua estrutura ao meio ambiente. Suas propriedades inicialmente adquiridas são alteradas com passar do tempo, determinando sua vida útil. Pode-se dizer então, que a vida útil de um material termina quando suas propriedades não estiverem mais aptas para seu uso projetado, tornando sua utilização inviável.

Diversos fatores interferem na durabilidade do concreto que estão relacionados às etapas de projeto, execução e manutenção. Para garantir que as propriedades do concreto permanecerão satisfatórias até o fim de sua vida útil, uma série de aspectos devem ser levados em consideração.

Estabelecer requisitos de durabilidade torna-se extremamente necessário para nortear as características e propriedades fundamentais para que o concreto atinja sua vida útil pretendida de acordo com sua interação com o ambiente ao qual está submetido.

Para concreto pigmentado, a durabilidade é bastante relevante, pois, considerando seu uso essencialmente estrutural e/ou estético deve-se manter sua estabilidade e segurança, sem deixar de conservar seu aspecto visual, com características arquitetônicas importantes, preservando sua superfície de manifestações patológicas e com capacidade de resistir ao intemperismo sem sofrer alterações superficiais significativas.

Para alcançar esse nível de exigência, considerando o concreto pigmentado aparente e as normas técnicas vigentes pertinentes, propõem-se os seguintes requisitos de desempenho:

- a) resistir as influências ambientais previstas e definidas em projeto, mantendo as características estruturais de segurança e estabilidade e aptidão durante o período de vida útil (ABNT NBR 6118, 2014);
- b) não entrar em colapso ou apresentar estado instável ou inseguro em nenhuma de suas partes;
- c) fornecer segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização prevista da edificação, conforme projeto;
- d) não apresentar níveis inaceitáveis de fissuração, bolhas de ar, desagregações e deformações em nenhum tipo de elemento em concreto pigmentado, considerando o uso adequado ao qual foi projetado;
- e) não apresentar variações de cor ou variação de textura superficial significativas ao longo da vida útil do elemento;
- f) prevenir o aparecimento de eflorescência e manifestações patológicas;
- g) manter apta suas funcionalidades e características estéticas ao longo da vida compatível com o envelhecimento espontâneo dos materiais.

### 5.2.1 Diretrizes

#### a) Projeto

- apresentar no projeto de estruturas a classe de agressividade ambiental, a resistência característica ( $f_{ck}$ ) e módulo de elasticidade ( $E_c$ ) de acordo com o ambiente ao qual o edifício estará submetido e suas cargas previstas em projeto, bem como a especificação de valor teórico da vida útil de projeto;
- prever pontos de drenagem, além de apresentar detalhes construtivos para evitar-se infiltração (pingadeiras, selagem de juntas, arestas etc.);
- especificar e indicar o uso de elementos de proteção contra acúmulo de água e percolação (rufos, calhas etc.) nos elementos;
- considerar cobrimento do concreto para o tipo de elemento e classe de agressividade ambiental adequado a qual o elemento foi projetado;
- desenvolvimento de traço com utilização de materiais adequados para fim a que se destina e de qualidade;
- utilizar pigmentos resistentes a intempéries e exposição solar;
- os pigmentos devem ser inorgânicos a base de óxidos de ferro, cobalto e cromo.

#### b) Execução

- produzir o concreto com a mesma sequência de mistura dos materiais;
- atentar-se às condições climáticas para concretagem. Evitar dias com possibilidade de chuva e variações de temperatura e umidade muito elevadas;
- utilizar materiais de qualidade comprovada para uso ao qual se destina, bem como fiscalizá-los;
- não exceder ao tempo limite de utilização e adensamento do concreto;
- observar a necessidade de ajustes no traço inicialmente especificado conforme andamento das concretagens;

- executar o adensamento de maneira que sejam preenchidos todos os espaços da fôrma, evitando assim as falhas de concretagem, bolhas ar e quaisquer outros tipos de irregularidades;
- executar o processo de cura ininterruptamente desde o término do adensamento até que o concreto atinja resistência mínima de 20MPa (Helene e Levy, 2013);
- orientar, capacitar e fiscalizar a equipe de mão de obra;
- fazer a retirada de cimbramentos e escoras somente após o concreto atingir resistência suficiente para ser autoportante;
- não permitir sobrecargas decorrentes de armazenamento de materiais ou outros sobre lajes recém concretadas;
- aplicar proteção superficial que não descaracterize as faces do elemento para prolongar e contribuir com a vida útil;
- proteger a superfície do concreto depois de concluído para evitar qualquer tipo de contaminação (poeira, água, óleos, graxas etc.).

### **c) Uso e Operação**

- cumprir os critérios pré-estabelecidos para se fazer uso correto do edifício;
- utilizar edifício em consonância ao que foi previsto em projeto;
- executar os programas de manutenção corretiva e preventiva em sua totalidade, conforme estabelecido no manual de uso e operação do edifício.

#### **5.2.2 Critérios de desempenho**

Para garantir a durabilidade dos elementos em concreto pigmentado, observa-se os seguintes critérios de desempenho a serem atendidos:

- o edifício e seus sistemas devem possuir durabilidade em consonância a vida útil de projeto, que deve ser especificada de acordo com a Tabela 11, quando

providenciadas as manutenções de acordo com Manual de Uso, Operação e Manutenção:

Tabela 11 – Vida útil de Projeto (VUP)

<b>Sistema</b>	<b>VUP mínima (anos)</b>
Estrutura	≥ 50
Pisos internos e externos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013), adaptada.

- para atender aos parâmetros mínimos para que a estrutura alcance a vida útil de projeto pode-se utilizar-se da Tabela 12 abaixo, cujos dados são baseados nos critérios de durabilidade de ABNT NBR 6118 (2014):

Tabela 12 – Relação entre a classe de agressividade do concreto, qualidade do concreto e o cobrimento nominal

<b>Crítérios<sup>1</sup></b>	<b>Elemento</b>	<b>Classe de Agressividade Ambiental</b>			
		<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
Classe de Concreto	Estrutural	C20	C25	C30	C40
Relação Água/Cimento em massa	Estrutural	≤0,65	≤0,60	≤0,55	≤0,45
Cobrimento <sup>2</sup> nominal (mm)	Laje	20	25	35	45
	Viga/ Pilar	25	30	40	50

1. Critérios considerados apenas para utilização de concreto armado.

2. para elementos em contato com solo, considerar cobrimento nominal entre 30 e 45 mm

Fonte: Dados extraídos da ABNT NBR 6118 (2014, adaptado).

### 5.3 Requisitos de Manutenibilidade

Após o estudo sobre durabilidade no item anterior, conclui-se que para que uma edificação atinja sua vida útil de projeto é necessário que sejam observadas suas condições de agressividade ao meio, para assim ser possível a elaboração de um projeto eficiente, bem como sua construção, considerando ainda o uso e manutenção adequados.

Objetivamente, a vida útil de projeto de habitação só poderá ser alcançada quando, além de seu uso correto, sejam adotados adequados métodos e processos de manutenção, atendendo ao estipulado no Manual de Uso, Operação e Manutenção do edifício.

No entanto, para execução dos serviços de manutenção é preciso que o edifício possibilite a realização desses serviços, sendo necessário que o projeto seja concebido de forma a facilitar o processo de manutenção, sendo este um item imprescindível para durabilidade e vida útil de um edifício. A partir disso, surge a necessidade de conceituar o termo “manutenibilidade”.

Segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013, p.8) manutenibilidade é definida como:

Grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente de ser mantido ou recolocado no estado no qual possa executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas, procedimentos e meios prescritos.

Desta forma, constata-se que manutenibilidade é um termo que qualifica algo quanto à facilidade de manutenção.

Para que uma edificação possua elementos em concreto pigmentado considerados manuteníveis, é preciso atender a alguns requisitos de desempenho específicos, conforme verificados abaixo, baseados na norma ABNT NBR 15575 (2013):

- a) manter apta suas funcionalidades e características estéticas ao longo da vida útil compatível com o envelhecimento espontâneo do material;

- b) permitir, facilitar e favorecer a execução dos serviços de manutenção periódicas e inspeções, conforme previsto no Manual de Uso, Operação e Manutenção;
- c) cumprir rigorosamente as diretrizes do Manual de Uso, Operação e Manutenção da edificação.

### **5.3.1 Diretrizes**

#### **a) Projetos**

- prever meios que permitam, facilitem, favoreçam as inspeções e condições de manutenções.

#### **b) Execução**

- executar meios que permitam, facilitem, favoreçam a as inspeções e condições de manutenções, conforme projeto;
- a empresa construtora ou incorporadora deve elaborar e reunir informações para compor o Manual de Uso, Operação e Manutenção, bem como fornecê-lo ao usuário.

#### **c) Uso e Operação**

- preservar as características do elemento de concreto pigmentado da edificação e minimizar sua deterioração;
- executar a manutenção preventiva e submeter os elementos a inspeções periódicas;
- submeter os elementos à manutenção corretiva quando necessário o mais breve quanto possível;
- atender integralmente às premissas contidas no Manual de Uso, Operação e Manutenção.

### 5.3.2 Critérios de desempenho

Para manter a capacidade funcional dos elementos em concreto pigmentado e atingir a vida útil de projeto, são necessárias algumas intervenções de manutenção periódicas. Para cumprir com essas atividades corretamente, e manter as características estéticas são sugeridos os critérios de desempenho a seguir:

- inspecionar anualmente, através de empresa especializada, os elementos (piso, parede, lajes, vigas, pilares) a fim de verificar a integridade estrutural, e reconstituir ou tratar onde houver necessidade (ABNT NBR 5674, 2012);
- executar a limpeza das superfícies de fachada regularmente, a cada 3 anos, com água pressurizada (jato em leque) e produto saponáceo não corrosivo, bem como fazer a inspeção de sua superfície verificando a integridade da superfície e seus elementos (ABNT NBR 5674, 2012);
- executar a reaplicação de produtos de proteção superficial periodicamente de acordo com a especificação de projeto, levando em consideração as propriedades de cada elemento e seu nível de exposição a intempéries.

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram estabelecidas recomendações de diretrizes de execução e critérios de desempenho para produção de concreto pigmentado, considerando os requisitos de desempenho propostos relacionados à estética, durabilidade e manutenibilidade, objetivando melhorias nas mais diversas etapas do empreendimento, desde o projeto até a operação da edificação visando a produção adequada e preservação dos elementos para que possuam a superfície desejada e principalmente durabilidade.

Os estudos realizados permitiram maior entendimento dos materiais constituintes do concreto pigmentado, bem como as boas práticas de produção para atingir o resultado esperado, através do estudo bibliográfico, além do estudo de caso realizado, que contou com o acompanhamento de uma obra de grande importância para a cidade de São Paulo, que é a obra do Museu do Ipiranga do Museu Paulista da Universidade de São Paulo, que tornou-se uma referência para este trabalho, proporcionando informações importantes sobre tema, em razão das entrevistas aos diversos profissionais envolvidos, acesso à alguns materiais (projetos, resultados de ensaios, relatórios, especificações de materiais, carta traço) e do acompanhamento dos processos de execução que agregaram vasto conhecimento.

No estudo de caso foi verificado todo o processo de produção do concreto pigmentado adotado pela construtora em conjunto com os projetistas e outros profissionais envolvidos, que obteve resultados positivos em relação estética superficial dos elementos. Foram identificados alguns pontos de melhoria que podem ser inseridos para facilitar e aperfeiçoar a técnica de produção e o resultado e ressaltados pontos considerados importantes dentro do processo.

O estudo feito demonstra que o concreto pigmentado necessita de atenção especial seja na etapa de projeto, na escolha dos materiais, na execução da obra ou ainda na manutenção dos seus elementos, sendo imprescindível a interação entre o projetista e o construtor nas mais diversas fases do empreendimento, contando ainda com um profissional tecnologista especializado neste tipo de material para evitar qualquer tipo de inconsistência superficial não prevista em projeto e garantir a durabilidade do elemento, conforme vida útil de projeto.

Sendo assim, em posse das informações mais importantes, foi possível propor os requisitos de desempenho que o concreto pigmentado deve atender nos aspectos estético, de durabilidade e manutenibilidade, bem como a recomendação de diretrizes e critérios de desempenho que, constatou-se serem passíveis de reprodução em outros projetos, atingindo os objetivos propostos desta monografia de forma plena e satisfatória.

Deste modo, conclui-se que para projetar e executar elementos em concreto pigmentado de forma eficiente é necessário atender a diversos requisitos e utilizar-se de técnicas construtivas particulares de forma a possibilitar o melhor desempenho possível.

Com a perspectiva de contribuir com o meio técnico através das propostas e recomendações técnicas e requisitos de desempenho dispostos neste trabalho, que visam principalmente perseguir o objetivo de um acabamento superficial desejado conjuntamente com um elemento de qualidade e durabilidade produzido em concreto pigmentado, o tema ainda pode ser mais esmiuçado. Como sugestão para futuros trabalhos pode-se apontar a necessidade de estabelecer os métodos de avaliação para atendimento aos requisitos e critérios propostos.

Os métodos de avaliação, de forma geral, podem consistir em ensaios laboratoriais, análises de projeto, simulações computacionais, protótipos etc., e tem que como função verificar o correto atendimento aos requisitos de desempenho propostos. Desta forma ainda há essa laguna a ser complementada dentro do tema.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, C.A. **Concreto cimento Portland branco estrutural: análise da adição de pigmentos quanto à resistência à compressão**. Porto Alegre: UFRGS, 2006. 88 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ASSAHI, P. N. **Sistema de fôrma para estrutura de concreto**. In: Simpósio Sobre Estruturas de Concreto, 5., EPUSP-74. São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**. Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. 308p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**. Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012. 31p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto e de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238p.

BENINI, H. 2005, “Concreto Arquitetônico e Decorativo”. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo, IBRACON, v. 2, 1600 p.

CARVALHO, F. **Estructuras de Hórmigon Coloreado**. Anais do Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais, IEMAC, 2002.

CATÁLOGO FÔRMA MONOPORTÁVEL COMAIN. **Ulma Construcción**. 8p.

CHAVES, M. J. R. **Procedimentos de Produção, Proteção e Manutenção de Estruturas de Concreto Aparente**. São Paulo, 2016. 111p. Dissertação (Mestrado Profissional em Habitação – Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2016.

CORSINI, R. **Paletas de cores**. 2011. Revista Técnica. Ed. 172. 19 julho 2011. Pg 50-53, São Paulo.

CRUZ, A. **Andamento da reforma do Museu do Ipiranga é pauta da reunião com patrocinadores do projeto**. Jornal da USP. 14/10/2020. Disponível em <<https://jornal.usp.br/>> Acesso em 16/12/2020.

FERRONI, E, HEREÑÚ. P. **Museu Paulista** - Concurso Nacional para Restauro e Modernização do Edifício do Museu Paulista da Universidade de São Paulo, disponível em <<https://www.hf.arq.br/projeto/museu-paulista/>> Acesso em 19/07/2020.

FICHA TÉCNICA SILICON ESTABIL 25. Ficha técnica n. 162 v.04.2018. 2p. **Tecnosil**. Abril 2018

FICHA TÉCNICA SILICON MR 3050. Ficha técnica n. 127 v.01. 2p. **Tecnosil**. Outubro 2019

HARTMANN, C.; BENINI, H. 2011, "Concreto Arquitetônico e Decorativo". In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, vol. 2.

HELENE, P.R.L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. São Paulo, Pini, 1992.

HELENE, P. R. L.; GALANTE, R. **Concreto colorido**. Anais. São Paulo: IBRACON, 1999.

HELENE, P. R. L.; LEVY, S. **Cura do Concreto**. Boletim Técnico BT 08 Alconpat Internacional. México, mar. 2013.

KIRCHHEIN, A. P.; PASSUELO, A.; MOLIN, D. C.C.; SILVA FILHO, L. C. P. 2011, "Concreto Branco". In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, vol. 2.

MEDEIROS, M. H.F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. R. L. 2011, "Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto". In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, vol. 1.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 3a ed. São Paulo, IBRACON, 2008.

MINOLTA. **Precise Color Communication**: Color control from perception to instrumentation. Japão: Minolta Co. Ltd., 2007.

MORIKAWA, M. S. **Materiais alternativos utilizados em fôrmas para concreto armado**. Dissertação (mestrado em Engenharia civil, na área de concentração em Edificações) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas/ SP, 2003.

Museu do Ipiranga. **Pesquisa geral na Home Page**. Disponível em <<http://www.mp.usp.br>> Acesso em 11/07/2020.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 1a ed. São Paulo. Pini, 1982. Traduzido por Salvador E. Giammusso.

OLIVEIRA, F.L., VIANA, G.P., CRUZ, R.S., SANTOS, R., BRITZ, C. **Propriedades físico-mecânicas e colorimétricas do concreto pigmentado com óxido de ferro vermelho e preto**. 2019. Revista Concreto & Construções. Ed. 96. Out-Dez/2019. Pg 77-86, São Paulo.

PASSUELO, A. **Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e comportamento mecânico de concretos a base de cimento branco**. 2004, 175p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2004.

PASSUELO, A.; KIRCHHEIN, A. P.; MOLIN, D. C.C.; SILVA FILHO, L. C. P. **Análise de Sistemas de Proteção Superficial para Concreto Branco Estrutural**. Anais do 48º Congresso Brasileiro de Concreto. IBRACON, 2006.

PETRUCCI, E. G.R. **Concreto de cimento Portland**. 11ª ed. Rio de Janeiro, Globo, 1987.

PIOVESAN, A., 2009,155p. **Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2009.

POSITIERI, M. J. **Propiedades Fisicomecánicas y Durabilidad del Hormigón Coloreado**. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Córdoba, Programa de Doctorado, Córdoba, Argentina, 2005.

Quem somos. **Pesquisa geral na Home Page**. Disponível em <<http://museudoipiranga2022.org.br/quem-somos/>> Acesso em 16/12/2020.

RIVERA, A. **Estruturas de Concreto Arquitetônico: Projeto, Execução e Recebimento**. São Paulo, 2007. 117p. Dissertação (Mestrado Profissional em Habitação – Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2007.

TORRES, S. E. M. M. **Hormigón Arquitectónico**. Tese de candidatura ao título de Construtor Civil, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2003.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. 2011. “Dosagem dos Concretos de Cimento Portland”. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, vol. 1.

WATANABE, P.S. **Concretos Especiais – Propriedades, Materiais e Aplicações**. 2008, 192p. Relatório Final de Pesquisa – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru/SP, 2008.