A INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO NA CROMATICIDADE DOS CONCRETOS PIGMENTADOS

VIANA, G. P. (1); CRUZ, R. S. (2); OLIVEIRA, F. L. (3); SANTOS, R. F. C. (4)

(1) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, gabriela.petter.viana@usp.br;

(2) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, renata.satie.cruz@usp.br

(3) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, floliveira@usp.br

(4) Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, rafaelfc@usp.br

Resumo: *O objetivo deste artigo é verificar as mudanças nas características colorimétricas dos concretos pigmentados e analisar os efeitos do processo de envelhecimento, considerando se a aplicação da proteção superficial pode afetar sua durabilidade, especificamente na degradação da cor. Foram moldadas amostras sem pigmento e com pigmento inorgânico à base de óxido de ferro preto e vermelho. Para o ensaio de envelhecimento acelerado foi utilizada a Câmara de Radiação Ultravioleta B (UVB) que intercala ciclos de condensação e de radiação. Para avaliar as mudanças cromáticas foi utilizado um espectrofotômetro para adquirir as coordenadas do espaço de cor CIELab. O ensaio forneceu dados que indicam que tanto as amostras com proteção, quanto as amostras sem proteção, apresentaram alterações nas suas coordenadas cromáticas, mesmo que em diferentes intensidades. As amostras apresentaram variação de cor visível ao olho humano, sendo que as com sistema de proteção superficial ao final do ensaio, apresentavam variações menores que as sem proteção superficial.*

Palavras-chave: *Concreto; Pigmento; Cromaticidade; Hidrofugante; Envelhecimento.*

Área do Conhecimento: *Tecnologia de componentes para construção*

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o segundo material mais utilizado no mundo, e seu emprego na construção é amplamente difundido pela sua versatilidade e vantagens frente a outras soluções técnicas, principalmente por aliar qualidade e custo competitivo. O uso do concreto aparente como solução arquitetônica proporciona agilidade na obra ao eliminar as etapas de acabamento superficial.

Para Hospodarova *et. al.* (2015), quando o concreto é especificado e executado com cuidado, as cores podem ampliar o seu valor estético, sendo que as medidas de cuidado na produção de um concreto colorido são consistentes com aquelas exigidas durante a produção de qualquer concreto de alta qualidade.

Hartmann e Benini (2011) definem que do ponto de vista técnico, o concreto pigmentado e o concreto sem pigmento são idênticos, já que os pigmentos podem ser identificados como fíleres, agregados de granulometria muito fina. Porém, para os autores, o uso dos concretos pigmentados demanda um controle tecnológico mais rígido. Para garantir a homogeneidade da cor pretendida, faz-se necessário a escolha correta das matérias primas, pois os agregados, o cimento e a relação água/cimento (a/c) influenciam diretamente na cor final do material.

Dessa maneira, o aspecto colorimétrico do concreto pigmentado torna-se tão importante quanto a sua resistência e durabilidade, pois a cor passa a ser um parâmetro de qualidade estética e a ocorrência de qualquer manifestação patológica pode gerar um impacto negativo ao efeito estético almejado.

Atualmente, há pouca bibliografia referente à análise da influência da agressividade do meio ambiente na cromaticidade do concreto pigmentado, entretanto pesquisadores como Positieri (2005), Carvalho e Calavera (2002) entre outros, estão contribuindo para o avanço desse estudo. As pesquisas voltadas para a análise da durabilidade cromática do concreto pigmentado são relevantes para maior inserção desse material em todo o mundo, contribuindo para sua viabilidade técnica.

Portanto, o objetivo do presente artigo é verificar a estabilidade da cor em concretos pigmentados, com e sem sistema de proteção superficial, através do ensaio de envelhecimento acelerado em câmara de radiação ultravioleta (CUV), capaz de reproduzir resultados que estima-se serem semelhantes ao processo de envelhecimento natural do material frente às intempéries, só que em um período de tempo menor.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Neste estudo, foram dosados concretos pigmentados nas cores vermelha e preta, e um concreto de referência sem a incorporação de pigmento. As amostras de concreto foram produzidas seguindo o traço em massa 1:2,37:2,57:0,47, utilizando cimento CP-II E 40; dois tipos de agregado miúdo: a areia natural de quartzo e a areia artificial de calcário; e dois tipos de agregado graúdo: britas 0 e 1, ambas de calcário. Foi incorporada sílica ativa na mistura, a fim de diminuir a porosidade do cimento, mas manteve-se a relação a/c em 0,47. Para garantir a fluidez, acrescentou-se aditivo polifuncional, aditivo superplastificante e aditivo modificador de viscosidade.

Para os concretos coloridos, foi adicionado 5% de pigmento inorgânico em pó sobre a massa de cimento. Os pigmentos utilizados são pigmentos inorgânicos à base de óxido de ferro - Fe_3O_4 para a coloração preta e Fe_2O_3 para a coloração vermelha.

2.2 Amostras

Foram moldadas seis amostras (Figura 1a), duas de cada cor, com dimensões de 9x9x4 cm, que foram colocadas na câmara de radiação ultravioleta – CUV (Figura 1b). Sobre metade das amostras, uma de cada cor, foi aplicada uma camada de hidrofugante à base de silano siloxano por meio de arpersão.

Figura 1 – Amostras ensaiadas (a) e Câmara de radiação ultravioleta (b)





Fonte: os autores (2019).

2.3 Método

2.3.1 Colorimetria

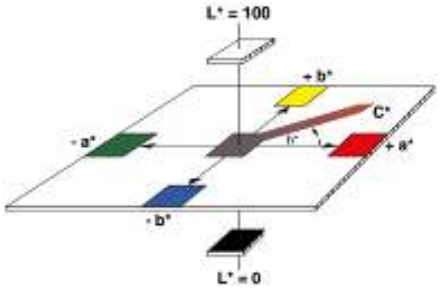
Existem diversos sistemas de avaliação de cor, mas nesta pesquisa adotou-se o sistema CIELab (Figura 2), que permite a análise comparativa entre medições. O sistema CIELAB consiste em uma matriz tridimensional que representa o espaço de cor formado pelo eixo de iluminação (L*), variando do branco (L=100) ao preto (L=0); pelo eixo a* (-128; 128), que caracteriza a quantidade de vermelho - valores positivos - ou de verde - valores negativos - presentes na cor; e pelo eixo b* (-128; 128) que identifica a quantidade de amarelo - valores positivos, ou de azul - valores negativos. Os parâmetros a*, b* e L* são adimensionais.

A partir dos dados medidos e suas médias foi possível realizar a comparação entre duas medições, a medição inicial e a medição realizada em cada ciclo, pela fórmula de diferença total de cor (ΔE*) que também é adimensional, calculada pela equação (1), abaixo:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L*)^2 + (\Delta a*)^2 + (\Delta b*)^2} \quad (1)$$

Onde ΔL* = Diferença de luminosidade; Δa* = Diferença dos valores a*; Δb* = Diferença dos valores b*.

Figura 2 - Sistema CIELAB

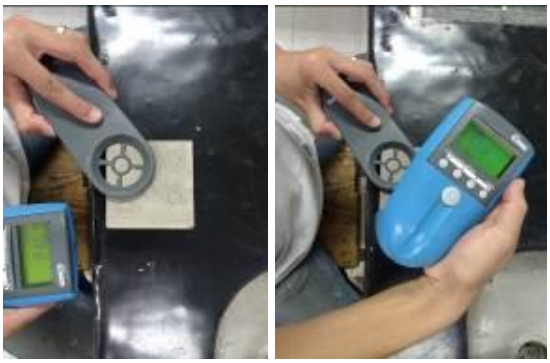


Fonte: BYK-Gardner GmbH. Solid Color.

O espectrofotômetro utilizado foi o Color Guide Sphere BYK Gardner, com observador CIE 10º e iluminante D65 daylight (Figura 3). Esse equipamento faz a leitura do espectro de luz visível refletida pelo objeto e expressa a cor pela determinação de L*, a* e b*. Em cada amostra ensaiada foi realizada a medição em seis pontos da superfície, utilizando um gabarito, a fim de se conseguir uma amostragem suficiente para identificar a cor do concreto, que é um material heterogêneo e apresenta cores distintas em diferentes pontos. A partir dos dados de uma mesma amostra e mesma medição, calculou-se a média para sintetizá-los em uma única cor, utilizando como referência trabalhos de Positeri (2005) e de Passuelo (2004).

Para a avaliação qualitativa o valor obtido pelo cálculo da diferença de cor (ΔE*), conforme Teichman (1990), valores iguais ou superiores a 1,5 indicam diferença de cor perceptíveis ao olho humano em superfícies de concreto.

Figura 3 – Medição com o espectrofotômetro



Fonte: os autores (2019).

2.4 Câmara de radiação ultravioleta (CUV)

O ensaio na CUV é executado com base na norma brasileira ABNT NBR 15.380:2015, e expõe as amostras a ciclos alternados de radiação ultravioleta B e de condensação de duração de quatro horas cada, simulando o desgaste da peça pela reprodução dos danos causados pela luz solar, pela chuva e pelo orvalho. Cada 150 horas de ensaio na CUV equivalem a seis meses de ensaio em condições naturais. As peças foram expostas a um total de 1.500 horas de ensaio, o que equivale a cinco anos de exposição

natural.

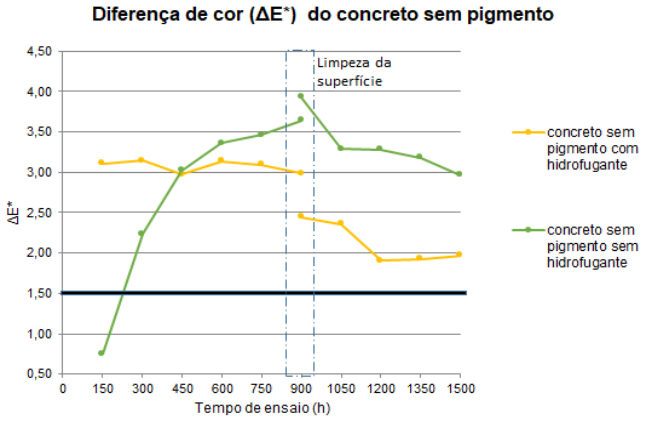
De acordo com as orientações do fabricante do hidrofugante utilizado após três anos de exposição natural (900 horas de ensaio acelerado), há a necessidade de reaplicação do hidrofugante, pois este perde seu desempenho. Antes da reaplicação do produto nas amostras, foi necessário limpar as superfícies expostas, retirando manchas esbranquiçadas ou demais sujidades. Optou-se pela aplicação do ácido cítrico como produto de limpeza superficial, que foi aplicado em todas as amostras ensaiadas, após a saturação de sua superfície com água. Após a limpeza e medição da cor, as amostras retornaram para a CUV, dando continuidade ao ensaio acelerado.

3 RESULTADOS

Os resultados de Diferença de Cor (ΔE*) de cada concreto foram dispostos nos **Gráficos 1 e 2**. Para melhor compreensão do comportamento dos dados colorimétricos, as medições realizadas com 900 horas de ensaio (antes e depois da limpeza), estão destacadas com um retângulo.

O Gráfico 1 indica que o concreto sem pigmento e sem proteção superficial, antes da limpeza, apresentou uma diferença de cor crescente ao longo do tempo. Imediatamente após a limpeza, a diferença de cor aumentou, mas no restante do ensaio, apresentou um comportamento mais estável. Já o concreto sem pigmento e com proteção superficial obteve uma diferença de cor quase constante nas primeiras 900 h. A limpeza com ácido cítrico e/ou a segunda aplicação do hidrofugante provocaram uma redução da diferença de cor imediata.

Gráfico 1 - Diferença de cor do concreto sem pigmento

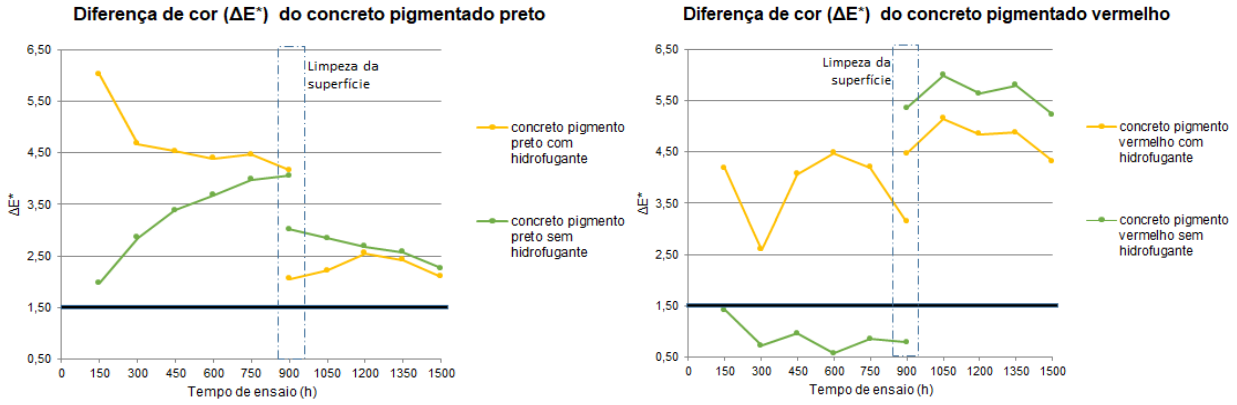


Fonte: os autores (2019).

Nos concretos com pigmento preto, as duas amostras apresentaram diferença de cor superior a 1,5 desde as primeiras 150 h de ensaio. Na amostra sem hidrofugante, até as 900 horas de ensaio, a diferença de cor se manteve crescente. Após a limpeza, a diferença de cor caiu e apresentou uma tendência decrescente até o fim do ensaio. Já amostra com hidrofugante, apresentou um pico de diferença de cor nas primeiras 150 h de ensaio, que decresceu até a limpeza. Após a limpeza e reaplicação da proteção, houve uma queda acentuada da diferença de cor, um aumento pequeno até as 1200 h, e de novo uma diminuição da diferença de cor (Gráfico 2a).

Nos concretos com pigmento vermelho, a amostra sem hidrofugante, durante as 900 horas iniciais, apresentou variações de cor inferiores a 1,5. Após o processo de limpeza a diferença de cor aumentou drasticamente para valores acima de 5,0. A amostra com hidrofugante desde o começo do ensaio apresentou diferença de cor com valores acima de 1,5, e além disso, apresentou um comportamento bem irregular das diferenças ao longo das 900 horas de ensaio. Após o processo de limpeza e reaplicação do hidrofugante, a amostra apresentou um pequeno aumento do ΔE* (Gráfico 2b).

Gráfico 2 - Diferença de cor dos concretos pigmentado preto (a) e vermelho (b).



Fonte: os autores (2019).

4 DISCUSSÃO

De modo geral, notou-se que a cor das amostras, ao serem expostas aos ciclos da CUV se alterou, criando diferenças notáveis em seu aspecto cromático. As amostras apresentaram diferenças de cor visíveis ao olho humano (>1,5) desde as primeiras 150 horas de ensaio, com exceção da amostra de concreto vermelho sem hidrofugante, que antes da limpeza da superfície com 900 horas, não apresentava diferenças visíveis.

Nas amostras cinza (referência) e preta, a diferença de cor das amostras com proteção é maior que a diferença das amostras sem proteção. Ao longo do ensaio, essa situação se inverte, sendo que a diferença de cor é menor nas amostras com proteção ao final do ensaio.

Nas amostras vermelhas, a amostra com proteção superficial apresentou diferenças visíveis desde o início do ensaio, e após a limpeza e reaplicação do hidrofugante, essa diferença aumentou. Já a amostra sem proteção, não apresentava variações visíveis antes da limpeza, porém, após esta, apresentou uma grande diferença de cor.

Dessa maneira, nota-se que o uso do sistema de proteção superficial, apesar de conferir uma diferença de cor às amostras desde sua aplicação, atenua a variação de cor ao longo do tempo, devido aos efeitos do envelhecimento, quando comparada aos resultados obtidos coma as amostras sem proteção ensaiadas simultaneamente.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se com este trabalho, que pelo processo de envelhecimento acelerado o concreto apresenta variação de cor notável ao olho humano nas amostras com ou sem proteção superficial. Entretanto, notou-se que o uso do hidrofugante ajudou a manter a diferença de cor (ΔE*) inferior à do concreto sem hidrofugante. Portanto, o uso do hidrofugante auxilia na mitigação dos efeitos das intempéries na cor. Notou-se também que o processo de limpeza causa alterações em alguns parâmetros cromáticos das amostras de concreto, pois é possível observar descontinuidades grandes nos gráficos apresentados no trabalho. Porém, sua realização é essencial para manutenção da autenticidade da cor do concreto devido ao acúmulo de sujidade durante sua exposição as condições urbanas. Levanta-se a hipótese de que a variação do concreto pigmentado preto observada no estudo é menor devido a influência da cor dos outros componentes do concreto, fazendo com que durante a limpeza, o impacto da lixiviação dos pigmentos da superfície, não seja tão perceptível quanto à do concreto pigmentado vermelho.

6 AGRADECIMENTOS

À Votorantim pelo fornecimento de material de pesquisa e disponibilização do laboratório; à Lanxess pelo fornecimento dos pigmentos; ao Engo. Carlos Britez pela dosagem do concreto estudado; à MC

Bauchemie pelo fornecimento do hidrofugante; à Tecnóloga Karoline Gonçalves pela ajuda na organização dos ensaios; aos Técnicos Edwin Miranda e Eduardo Leão pela realização dos ensaios; e ao Técnico Guilherme Marques pela colaboração nas medições em laboratório.

7 BIBLIOGRAFIA

CARVALHO, Francisco C.; CALAVERA, José. Estabilidade colorimétrica e influência da incorporação de pigmentos em concretos submetidos a diferentes estados de exposição ambiental. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 44º, Belo Horizonte, 2002.

HARTMANN, Carine & BENINI, Humberto. Concreto Arquitetônico e Decorativo. Concreto: Ciência e Tecnologia. Cap.45. vol. 2. Editor Geraldo Cechella Isaia. IBRACON. São Paulo, 2011.p. 1645-1681.

HOSPODAROVA, Viola; JUNAK, Jozef; STEVULOVA, Nadezda. Color pigments in concrete and their properties. Pollack Periodica, v. 10, n. 3, p. 143-151, 2015.

PASSUELO, A. Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco. Tese (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004. 176 p.

POSITIERI, M. J. Propiedades Fisicomecânicas y Durabilidad del Hormigón Coloreado. Tese (Doutorado), Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, 2005. 254 p.

TEICHMANN, G. The use of colorimetric methods in the concrete industry?. Betonwerk+Fertigteil-Technik. 457, p. 58-73, 1990.