

Concreto colorido e permeável para ciclovias: estudo de dosagem laboratorial

JOSÉ T. BALBO — PROF.; JOSÉ R.S. MARTINS — PROF.; ANDRÉIA P. CARGNIN — DR; HELENA LO RIBEIRO - GRAD.; CAROLINA M. ESPOSITO - GRAD., EPUSP

ERIC R. DA SILVA — DR. PROF., EPUSP/MACKENZIE

RESUMO

A expansão da malha cicloviária em grandes cidades ao longo da última década ensejou o desenvolvimento de estudos voltados para a utilização de materiais com potencial de mitigação de problemas urbanos como ilhas de calor e manejo de águas pluviais. Nesse sentido, a utilização de concretos permeáveis pigmentados surge como grande novidade para utilização em ciclovias, uma vez que, em se tratando de concreto permeável, a aplicação de tintas tipicamente empregadas na coloração das superfícies cicloviárias

comprometeria a capacidade drenante do material. Assim, este artigo discute o processo de dosagem em laboratório de concretos permeáveis com adição de pigmentos para aplicação em ciclovias, bem como as nuances que norteiam o processo de produção de tais concretos. A utilização de aditivo modificador de viscosidade revelou-se um importante aliado para garantir a estabilidade da mistura, assim como o pigmento proporcionou um aumento de aproximadamente 40% na resistência à compressão pela melhoria no empacotamento da pasta de cimento.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO PERMEÁVEL, PIGMENTAÇÃO COLORIDA, RESISTÊNCIAS.

1. CONCRETO COLORIDO

Os concretos coloridos são passíveis de aplicações em diversas estruturas, como pavimentos (calçamentos, caminhos, praças públicas, pisos em geral, arquibancadas de arenas etc.). Segundo Burnham *et al.* (2014), sua aplicação em vias públicas atende a duas metas a serem consideradas: segurança e satisfação arquitetônica e visual, sendo amplamente empregada em Minnesota para faixas de pedestres e de tráfego de veículos. Pode ser considerado ainda que, no que tange a pedestres, o emprego de superfícies coloridas serve como sinalização auxiliar, inclusive para pessoas com limitações físicas não visuais. Decoração não foge do escopo dos concretos coloridos também.

Existem alguns métodos convencionais de colorir o concreto que apresentam diferenças significativas em conceitos, materiais, processos e custos de construção e de manutenção, que devem ser ponderados para uma escolha bem abalizada. O primeiro a ser mencionado é o emprego de endurecedores de superfície coloridos, com

mistura de pigmentos, areia silicosa muito fina, ligante hidráulico e água, formando uma espécie de pasta, que é espatulada ou desempenada sobre a superfície do concreto, causando extrema impermeabilização. Sistema oposto ao desejável do ponto de vista de captação de águas pluviais escoadas pela superfície do pavimento.

São também disponíveis os corantes (tradicionalmente suspensões de grãos à base de ácidos ou água, com emprego de emulsionantes) e as tinturas (à base de água ou solventes), que, no mínimo, deveriam ser resistentes à radiação ultravioleta com vistas a se proporcionar baixos níveis de manutenção/reposição da pintura ou coloração. Além da restrição de durabilidade, a ser devidamente ponderada, o problema da pintura sobre a superfície aberta de um concreto permeável permanece um desafio, pois o material pode fluir para dentro dos poros, causando uma colmatação precoce do pavimento permeável. Outro desafio é o fato de a superfície a ser colorida não ser plana e lisa, o que incorre em manchas (vazios de tinta). Conquanto as

três limitações mencionadas possam ser mitigadas, tais materiais permanecem como alternativa possível a ser considerada.

O objeto deste trabalho é a discussão e análise do chamado concreto integralmente colorido, quando são empregados pigmentos sólidos ou corantes líquidos que são incorporados à mistura completa do concreto ainda em usina.

Os pigmentos são materiais pulverulentos e, em alguns casos, com superfície específica superior aos ligantes hidráulicos empregados no concreto, em especial cimentos do tipo Portland comuns; são obtidos a partir de recursos minerais naturais. Os tipos de pigmentos mais comumente empregados para dar coloração diferenciada ao concreto são, sejam naturais ou artificialmente produzidos, segundo Burnham *et al.* (2014), os óxidos de ferro (tom para vermelho ou amarelo), de manganês (cinza escuro e preto), de titânio (essencialmente o branco) e de cromo (tonalidades de verde), acrescentando-se aqui o óxido de cobalto (tonalidades de azul a preto).

Evidentemente, a alteração de cor no concreto será provocativa de características de absorção de radiação solar de modo diferenciado àquele de concretos tradicionais, potencialmente gerando gradientes de temperatura nas estruturas planas diferenciados (BALBO, 2009), bem como oferecendo refletividade diminuída e afetando o albedo urbano em relação aos concretos claros convencionais (BALBO, 2020). Além disso, o emprego desses pigmentos deve considerar sua estabilidade química face ao ambiente (atmosfera, águas ácidas, radiação), bem como, por suposto, estabilidade de tonalidade por longo período, preferencialmente, durante toda a vida de serviço do concreto permeável. Os aspectos de natureza econômica são importantes na hipótese de uso de concretos coloridos (BURNHAM *et al.*, 2014; HOSPODAROVA *et al.*, 2015). Por razões evidentes, tais pigmentos (de óxidos ou sulfatos) devem ser isentos de álcalis.

Desde finais do século XIX, uma vez popularizado o emprego do concreto em edificações, colorir os elementos tradicionais de coloração acinzentada comum era fato considerado quando se iniciara a busca de materiais inorgânicos para esse objetivo. Segundo a *Specify Concrete Org.* (2019), emergiu a necessidade de colorir o concreto durante sua mistura, o que se deu por meio do emprego de pigmentos minerais, cujo desenvolvimento em escala industrial se registrou a partir de 1915.

Os produtos para coloração à base de pigmentos do concreto estão disponíveis na forma líquida, granular ou pulverulenta, em mais de duas dezenas de tonalidades (cores). Uso de colorantes na forma líquida requerem atenção especial na dosagem quanto a alterações na consistência e na resistência do concreto. Um concreto permeável, que ao ser aplicado não pode ter precipitação de pasta para o fundo da camada (para informações sobre colmatação construtiva, ver Balbo, 2020), o que exige muito rigor no uso das formas líquidas. Por outro lado, a adição de finos, como pigmentos, tende a alterar a porosidade do

concreto permeável, bem como sua resistência, que são características antagônicas.

A pigmentação colorida do concreto permeável requer cuidados especiais em sua aplicação. As taxas de aplicação, segundo fornecedores, variam entre 4 e 5% do peso de ligante hidráulico (máximo de 10% segundo a ASTM). Assim, para um metro cúbico de concreto permeável, o consumo típico de pigmento sólido seria entre 14 kg e 20 kg. O material é normalmente fornecido em sacos. O pigmento deverá levar, como resultado, a um concreto com uma tonalidade inicial durável, sem desvanecimento precoce. Os pigmentos coloridos são claramente especificados na norma ASTM C979-10 (*Standard Specification For Pigments For Integrally Colored Concrete*), que dialoga com pigmentos de coloração branca e colorida. A especificação estabelece, no mínimo, a necessidade de análise de tempo de pega da mistura cimento-pigmento (não podendo ser acelerado em mais de uma hora nem atrasado em mais de 1 h 30 min.), ar incorporado (não podendo ser alterado em mais de 1%) e resistência à compressão. Estabelece também que a resistência à compressão aos 28 dias deve estar entre os limites de 90% a 110% do concreto de referência (sem pigmento). Outros testes de durabilidade são especificados no documento.

Evidentemente, para pavimentação, a resistência à abrasão do pigmento impregnado na pasta que envolve os agregados deve ser considerada, além de efeitos decorrentes da ação de agentes químicos e estabilidade frente à radiação ultravioleta. O aspecto econômico a longo prazo, em comparação com outras alternativas de coloração já discutidas, deverá ser avaliado, haja visto que o emprego de pigmentos nos concretos coloridos pode levar a custos do material entre 10% e 30% superiores (*Concrete Network*, 2020).

Assim, o artigo presente retrata projeto internacional em andamento acordado com a Fundação de Amparo à Pesquisa do

Estado de São Paulo (FAPESP) e o CONICYT (*Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Chile*) em pareceria com a *Universidad de La Concepción*, além do Programa USP MUNICÍPIOS, que tem por finalidade o desenvolvimento de tecnologias e sua disseminação para melhoria de sustentabilidade de cidades do Estado de São Paulo. Em seu contexto, na parte I aqui discutida são apresentadas perspectivas empregadas na dosagem de concretos permeáveis pigmentados destinados à utilização em ciclovias, ao passo que a parte II retrata o processo executivo da pista experimental com o emprego de tais concretos (próxima edição).

2. ESTUDO DE DOSAGEM DOS CONCRETOS (EXPERIMENTAL)

É válido inicialmente comentar que não existe um método de dosagem racional de concretos permeáveis, tal como aqueles usuais empregados na dosagem de concretos plásticos convencionais. Além disso, é essencial a expansão de consciência para o fato de que conceitos sólidos relacionados à dosagem de concretos plásticos, como, por exemplo, as Leis de Lyse e Abrams, não são diretamente aplicáveis aos concretos permeáveis devido às características particulares do material, que emergem da ausência de finos, sendo sua consistência sempre baixa (seca) e sua resistência governada pela área de contato entre as partículas de agregado graúdo, proporcionada exclusivamente pelo volume de pasta de cimento presente na mistura.

2.1 Materiais empregados para elaboração dos concretos permeáveis

Como não há um método consagrado baseado na quantificação do volume de pasta de cimento para a dosagem de concretos permeáveis, sendo a maioria dos estudos desenvolvidos com base em recomendações observacionais de estudos anteriores, para o presente estudo optou-se pela adoção de um traço já desenvolvido

► Tabela 1

Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados (ensaios realizados pela POLIMIX em 23/8/2021)

Determinação	Resultado da amostra	Método empregado
Módulo de finura	5,91	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Diâmetro máximo (mm)	12,5	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica (kg/dm ³)	2,74	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária	1,41	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Material pulverulento (%)	0,6	NBR NM 248 (ABNT, 2008)

por Curvo (2017) e Batezini (2019). Para a definição do traço, os autores estudaram variações de granulometria de agregados, tipos de cimento e teores de superplastificante, buscando respeitar a relação entre cimento e agregados entre 1:4 e 1:4,5 recomendadas em estudos anteriores. Assim, a seguir são apresentadas a caracterização dos materiais empregados.

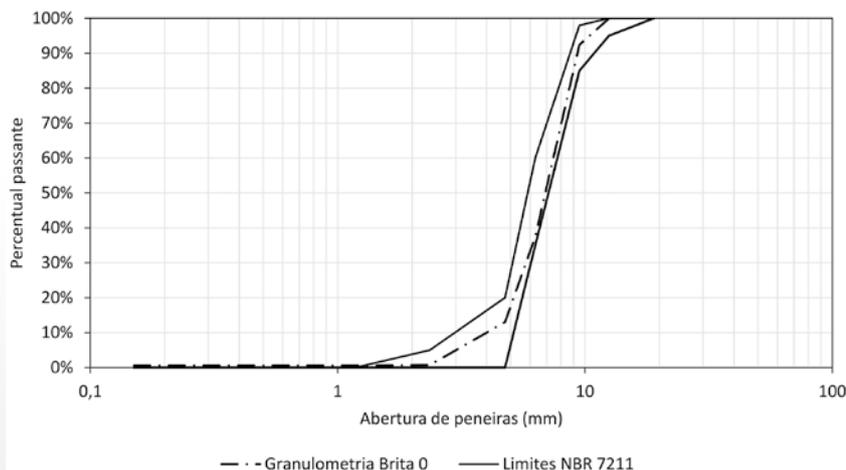
2.1.1 AGREGADOS

Os agregados empregados para a produção da mistura de concreto permeável possuem origem granítica, oriundos da pedreira da empresa POLIMIX, localizada em Santana de Parnaíba-SP, nas proximidades do laboratório da matriz da usina, situado no mesmo município. Os resultados de ensaio de caracterização da brita zero e sua curva

granulométrica são apresentados, respectivamente, na Tabela 1 e na Figura 1. Ressalte-se que a adoção da mesma distribuição granulométrica (e mesmo tipo de ligante) de trabalhos anteriores retromencionados teve como consequência uma garantia de mesmas propriedades hidráulicas (de condutividade) anteriormente aferidas para o concreto permeável seco empregado.

2.1.2 CIMENTO PORTLAND

O ligante hidráulico utilizado na produção do concreto permeável foi o cimento Portland de alto forno (CP III 40 RS), cujos resultados da caracterização físico-química são apresentados na Tabela 2. Tal escolha se deveu primordialmente ao fato de se tratar de ligante hidráulico resistente a ataques de sulfatos, característica importante



► Figura 1

Curva granulométrica dos agregados para o concreto

para concretos de pavimentação permeáveis empregados em sistemas viários (BALBO, 2020).

2.1.3 SUPERPLASTIFICANTE

O aditivo superplastificante utilizado foi o MAXIFLUID M 3055X, redutor de água à base de policarboxilatos. Esses aditivos atuam como dispersante do material cimentício, aumentando a fluidez do concreto, contribuindo para uma melhora de trabalhabilidade sem elevação do consumo de água, ou redução na água sem perda de trabalhabilidade (consistência, aspecto fundamental no concreto permeável). Segundo o fabricante do produto, o aditivo em questão possui massa específica variando de 1,040 a 1,080 g/cm³ a 25°C, com dosagem de referência entre 0,4 e 1,5%.

2.1.4 MODIFICADOR DE VISCOSIDADE

O modificador de viscosidade utilizado foi o MTACHEM M-REO. Tal

► Tabela 2

Resultados da caracterização do CP III RS 40 (ensaios realizados pela POLIMIX entre 1/8/2021 e 31/8/2021)

Característica	Unidade	Valores médios
Resistência à compressão (3 dias)	MPa	23,3
Resistência à compressão (7 dias)	MPa	34,2
Resistência à compressão (28 dias)	MPa	49,0
Massa específica	g/cm ³	3,0
Superfície específica Blaine	cm ²	4.525
Expansibilidade a quente	mm	0,0
Tempo de início de pega	min	189
Tempo de final de pega	min	219
Perda ao fogo	%	2,0
Resíduo insolúvel	%	1,3
Sulfato (SO ₂)	%	1,6
CaO livre	%	1,0

aditivo antissegregante foi desenvolvido para produção de concretos e argamassas de modo a alterar suas propriedades reológicas e viscoelásticas no estado fresco, com o objetivo de evitar a segregação de concretos fluidos. É aspecto fundamental para concretos permeáveis a não segregação da pasta quando no estado fresco, no transporte, no lançamento ou no adensamento (BALBO, 2020). Segundo o fabricante do produto, sua massa específica a 25°C varia entre 0,980 e 1,020 g/cm³ e possui dosagem de referência de 0,4%, podendo ser empregado nos consumos de 0,2 a 1,0% sobre a massa de cimento, de acordo com as necessidades do projeto.

2.1.5 PIGMENTOS

Os pigmentos vermelho e verde utilizados na produção dos concretos coloridos foram fornecidos pela empresa LANXESS. O pigmento vermelho BAYFERROX 120 possui em sua composição 99,1% de óxido de ferro sintético ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$); sua densidade é de 5,0 g/ml, com o diâmetro de partícula predominante de 0,12 μm . O pigmento verde COLORTHERM Green GN possui em sua composição 99% de óxido de cromo (Cr_2O_3); sua densidade é de 5,2 g/ml com predominância de partículas com diâmetro de 0,30 μm , conforme informações fornecidas pelo produtor.

2.2 Procedimentos de dosagem do concreto

Não existe técnica de dosagem atualmente consagrada para os concretos permeáveis (e secos). Em nossa experiência particular, advinda de seu estudo e emprego em teses de pista ao longo da última década, observamos que as seguintes regras, ainda que intuitivas, devem ser seguidas:

a. A dosagem deve ser pautada pelo atendimento a requisitos de desempenho simultâneos no tocante à porosidade desejada, à condutividade hidráulica desejada e à resistência mecânica necessária conforme aplicação;

- b. Os consumos de cimento são normalmente elevados para compensar o fato de se tratar de um concreto com fase agregado graúdo+pasta, não existindo algo que pudesse ser relevante na mistura para ser chamado de argamassa (preferencialmente é mistura sem finos);
- c. A pasta deve encobrir perfeitamente todos os agregados pétreos durante o processo de mistura - entende-se essa necessidade por certamente ocorrer contato aleatório nas tortuosidades e canais de vazios na microestrutura do material, o que impede o risco de existir superfície não envolvida; de tal sorte que, a bem da verdade, boa parte da pasta será inútil;
- d. A consistência do concreto deverá ser quase seca (mas não semelhante à farofa de um concreto compactado com rolo), permitindo a formação de uma bolota de concreto permeável, que fique estável e mantenha seu formato ao se abrir a mão (ver Figura 6);
- e. Estabilidade sem precipitação de pasta ao ser lançado ao solo pela bica do caminhão betoneira;
- f. Não ocorrência de precipitação de pasta (segregação) para o fundo dos moldes quando preparada para testes de resistência e de condutividade hidráulica.

Embora pareçam por demais empíricas tais considerações, não se tem ainda algo melhor para o controle visual da dosagem, como, por exemplo, uma dosagem racional volumétrica controlando-se a relação cimento/agregado, que é quem verdadeiramente dita regras no material.

O processo de dosagem das misturas de concreto permeável foi realizado no laboratório da empresa (usina de concreto) POLIMIX, em sua matriz, localizada em Santana de Parnaíba (SP). Adotou-se o traço definido nos estudos de Curvo (2017) e de Batezini (2019) anteriormente conduzidos no Laboratório de Mecânica de Pavimentos da EPUSP, com a finalidade de aplicação em passeios públicos de pedestres. O traço defini-

do pelos referidos autores é composto por:

- ▶ Cimento CP III RS, com consumo de 374 kg/m³ de concreto;
- ▶ Agregado: brita zero de origem granítica; consumo de 1660 kg/m³;
- ▶ Teor de aditivo superplastificante = 0,35% da massa de cimento (1,235 ml/m³);
- ▶ Relação água cimento = 0,307.

Sabia-se, desde o início, que uma alteração em termos de viscosidade deveria ocorrer para essa mistura, pois em aplicações em pistas-teste em 2015 e 2016, ela apresentou alguma precipitação de pasta de cimento para o fundo da camada, embora não comprometendo a permeabilidade das estruturas testadas. Para tanto, seguiu-se a recomendação de Balbo (2020) de emprego de modificador de viscosidade, para que a pasta fresca aderida aos agregados fosse mais viscosa, minimizando riscos de segregação conforme descritos.

O traço inicial testado seguiu estritamente o consumo de materiais acima estabelecido, quando se observou que, para o teor de aditivo superplastificante de 0,35%, a mistura não apresentava a estabilidade almejada, havendo precipitação da pasta de cimento no fundo dos corpos de prova moldados, que ficaram completamente colmatados. A resistência aos 7 dias (normalmente data de liberação de vias de pedestres e ciclistas) para dois CPs foi de 2,0 e 2,2 MPa.

Então, um segundo estudo foi realizado, ajustando-se o percentual de aditivo superplastificante para 0,25% da massa de cimento. Nesse teste, também foi adicionado o modificador de viscosidade (teor de 0,27% da massa de cimento) de modo a garantir uma maior coesão entre a pasta de cimento e os agregados. A mistura resultante apresentou estabilidade, sem risco de segregação ou precipitação nos procedimentos laboratoriais. Tal fato foi corroborado com a moldagem de um bloco em forma hexagonal para se verificar se houve a precipitação da pasta de cimento para o fundo da amostra, o que é ilustrado na Figura 2.

Também foram moldados quatro CPs para determinação das resistências à compressão (NBR 5739) aos 7 dias, registrando-se valores de 2,4 e 2,5 MPa. Posteriormente, foram realizados novos testes e moldagens, aumentando-se o teor de modifi-

cador de viscosidade de 0,27% para 0,40%, com o objetivo de melhorar ainda mais a estabilidade e coesão da mistura durante as fases de aplicação em pista, mantendo-se o teor de superplastificante em 0,25% da massa de cimento. Uma vez ajus-

tado o teor de aditivo para o concreto sem pigmento, foram testadas as misturas com pigmento vermelho (óxido de ferro) e verde (óxido de cromo), com teor de pigmento de 4,5% da massa de cimento ($16,83 \text{ kg/m}^3$).

O cimento do tipo CP-III empregado no caso, mais claro, poderia ter um consumo de segurança fixado abaixo do valor máximo, garantindo-se tonalidade agradável. Tal como para o concreto sem pigmento, optou-se por aumentar o teor de modificador de viscosidade de 0,27% para 0,40% para a produção dos concretos coloridos. Destaca-se que a sequência de mistura dos materiais ocorreu conforme se segue: (i) mistura dos agregados com parte da água; (ii) adição do pigmento; (iii) adição do cimento após mistura por aproximadamente 3 min na etapa anterior; (iv) adição do superplastificante com parte da água restante da primeira etapa; (v) adição do modificador de viscosidade com o restante da água das etapas anteriores. Tal processo foi definido de modo a garantir que a pigmentação do concreto ocorresse de forma homogênea. Em caso de adição antecipada do cimento em relação ao pigmento, haveria grandes riscos de pigmentação não uniforme, uma vez que a pasta de cimento envolvendo os agregados dificultaria a pigmentação destes.

Primeiramente, foi testado o traço com pigmento vermelho, com teor de aditivo superplastificante de 0,25% e modificador de viscosidade de 0,40%, respeitando-se as etapas descritas, observando-se a formação de grumos e dificuldade de dispersão do cimento quando de sua adição. Tal fato foi decorrente da adição do pigmento, que atua como material fíler. Assim, aumentou-se o teor de superplastificante para 0,38%. Esse ajuste proporcionou uma melhora significativa da dispersão do cimento e não foi observada uma clara tendência de precipitação, conforme ilustrado na Figura 3.

Para o concreto com pigmento verde, foi inicialmente testado traço semelhante àquele com pigmento vermelho, utilizando-se 0,38% e 0,40%, respectivamente, de superplastificante e de modificador de



a



b

► **Figura 2**

a) topo do bloco após cura; b) fundo do bloco



a



b

► **Figura 3**

a) Concreto pigmentado e sem segregação na betoneira; b) bolota de concreto consistente e estável

viscosidade. Contudo, foi observada uma clara tendência à precipitação da pasta de cimento, exigindo uma redução no teor de aditivo superplastificante.

No segundo traço testado, tomou-se por ponto de partida os percentuais de aditivos do traço sem pigmentos: 0,25% (18,7 g) e 0,40% (29,99 g), respectivamente, de superplastificante e modificador de viscosidade, evidenciando-se a formação de grumos e dificuldade de dispersão do cimento. Acrescentou-se então 4 g de superplastificante à mistura, eliminando-se os grumos e obtendo-se uma mistura estável (Figura 4). Destarte, o teor de superplastificante para o concreto verde foi fixado em 0,30% (em relação ao peso de cimento).

Por fim, para cada uma das misturas foram moldados oito corpos de prova cilíndricos para ensaios de resistência à compressão aos 7 dias e 28 dias. Os CPs cilíndricos foram moldados em três camadas, sem compactar o concreto; houve apenas uma acomodação do concreto nas formas com auxílio de um rolo.

Cabe salientar que o percentual final de aditivo superplastificante para o concreto com pigmento vermelho foi ajustado de 0,38% para 0,35%. Isso foi

necessário porque uma semana após a moldagem dos CPs acima ilustrados observou-se sutil tendência de precipitação da pasta de cimento (Figura 5). Apesar de não ocorrer uma relevante colmatação do fundo, comparando-se o concreto vermelho com o verde em um teste de infiltração com água lançada sobre uma das faces da amostra, observou-se que no concreto verde a água percolava com maior facilidade do que no vermelho.

Não foram realizados testes de condutividade hidráulica em laboratório com as amostras, posto que as dosagens seguiram, em termos de distribuição de agregados e consumo de cimento, à risca, os critérios já estabelecidos anteriormente por Batezini e Balbo (2015). Os autores apresentaram dezenas de testes de permeabilidade obtendo valores de condutividade hidráulica de 0,14 cm/s e coeficiente de variação de 5% para testes realizados com o permeâmetro de carga constante e da ordem de 0,65 cm/s e coeficiente de variação de 10% para testes com o permeâmetro de carga variável. Portanto, a permeabilidade das misturas foi avaliada apenas em campo através do ensaio de anel de infiltração preconizado pela ASTM C 1701 para as três misturas aqui estudadas.

3. RESULTADOS E LIÇÕES APRENDIDAS

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial avaliados para cada um dos concretos estudados são apresentados na Tabela 3, onde

se observa que para o concreto sem pigmento, a resistência à compressão para a mistura produzida com 0,40% de modificador de viscosidade não foi afetada, comparando-se aos resultados obtidos com 0,27% de modificador apresentados anteriormente. Todavia, este aumento contribuiu para uma maior estabilidade da mistura, conforme ilustrado na Figura 6.

Observa-se também tendência de elevação da resistência à compressão dos concretos com pigmento em relação à mistura de referência (sem pigmento) de aproximadamente 40%. Ensaio de resistência à compressão simples do controle tecnológico da obra permitiram analisar melhor tal tendência. Para tanto, foram moldados seis CPs para cada um dos concretos, para determinação de sua resistência à compressão através da NBR 5739 (ABNT, 2018) para idade de 28 dias, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.

Testes de hipóteses *t-Student* para amostras pareadas confirmaram que a adição de pigmentos impactou a resistência mecânica à compressão dos concretos. Comparando o concreto sem pigmento e o vermelho obteve-se *Stat t* igual a 4,825 e *tcrítico* de 2,776; analisando os concretos sem pigmento e verde, obteve-se *Stat t* igual a 2,783 e *tcrítico* de 2,571; e por fim, ao se comparar os concretos vermelho e verde, obteve-se *Stat t* igual a 1,879 e *tcrítico* de 2,776.

Portanto, conclui-se que as resistências dos concretos pigmentados



► **Figura 4**
Betonada de concreto verde e sua consistência



a



b

► **Figura 5**
Fundo de amostras com os concretos permeáveis coloridos

em relação ao sem pigmento são estatisticamente diferentes para um nível de confiança de 95% e, comparando os concretos pigmentados apenas, as resistências são estatisticamente iguais para o mesmo nível de confiança. Tais resultados são justificados pelo efeito microfíler do pigmento, que contribui

para um maior empacotamento e densificação da pasta e refinamento da estrutura de poros e produtos de hidratação, fato igualmente mencionado em outros estudos acerca da pigmentação de concretos plásticos (JANG *et al.*, 2014; HEERAH *et al.*, 2021; CORINALDESI *et al.*, 2012; KOTÁTKO-

VÁ e REITERMAN, 2014). Destaca-se, todavia, a necessidade de se corroborar tal comportamento em relação à resistência à tração na flexão dos concretos, haja vista que em pavimentação, tal valor de resistência é de crucial interesse.

O pigmento em óxido de cromo apresentou-se mais granular que aquele em óxido de ferro, devido a predominância de partículas de maior diâmetro (30 µm), ao passo que no vermelho o diâmetro predominante era de partículas de 12 µm. Como se suspeitava, a adição de pigmentos causa alguma pequena interferência na resistência do concreto (aumentando-a) e, evidentemente, tal adição de finos poderá sutilmente interferir na permeabilidade do concreto permeável. Testes de infiltração em campo permitiram corroborar o fato de que a adição de pigmento afeta, de maneira parcial, a permeabilidade dos concretos. A taxa de infiltração média medida para os concretos sem pigmento, vermelho e verde foram de 2,55, 0,89 e 2,23 cm/s, respectivamente, com coeficiente de variação de 30% (média de 10 pontos em cada concreto). Testes de hipótese *t-Student* foram realizados com o objetivo de verificar se as amostras são consideradas estatisticamente iguais ou diferentes, conforme apresentado na Tabela 5.

► **Tabela 3**

Resultados de dosagens com concretos permeáveis

Consumo de cimento: 374 kg/m ³ (CP III 40 RS); consumo de agregado: 1660 kg/m ³ (brita 0)				
Tentativa	Data	Resistência à compressão (MPa) 7 dias (por amostra)		Observações pertinentes
Dosagem 1	13/8/2021	2,0	2,2	Teor de superplastificante de 0,35% da massa de cimento. Mistura instável e precipitação da pasta no fundo dos CPs. Dosagem descartada.
Dosagem 2	24/8/2021	2,4	2,5	Teor de superplastificante de 0,25% da massa de cimento e teor de modificador de viscosidade de 0,27%. Dosagem descartada (aumento do teor de modificador de viscosidade).
Dosagem 3	13/9/2021	2,6	2,2	Concreto sem pigmento com teor de superplastificante de 0,25% e modificador de viscosidade de 0,40% da massa de cimento. Dosagem definitiva para o concreto sem pigmento.
Dosagem 4	13/9/2021	3,5	3,2	Concreto com 4,5% de pigmento vermelho em relação à massa de cimento. Teor de superplastificante de 0,38% e 0,40% de modificador de viscosidade. Dosagem descartada (Ver dosagem 4A)
Dosagem 4A	24/9/2021	—	—	Teor de superplastificante ajustado para 0,35% da massa de cimento. Dosagem definitiva para o concreto com pigmento vermelho.
Dosagem 5	13/9/2021	—	—	Concreto com 4,5% de pigmento verde em relação à massa de cimento. Teor de superplastificante de 0,38% e 0,40% de modificador de viscosidade. Mistura instável. Dosagem descartada (Ver Dosagem 5A).
Dosagem 5A	13/9/2021	3,4	3,2	Teor de superplastificante ajustado para 0,30% e 0,40% de modificador de viscosidade. Dosagem definitiva para o concreto com pigmento verde.



a



b

► **Figura 6**

Maior estabilidade da massa fresca (bolota) com aumento do teor de modificador de viscosidade (caso à direita)

► **Tabela 4**

Resistência à compressão (MPa) dos concretos permeáveis (controle tecnológico da obra)

CP	Sem pigmento	Vermelho	Verde
1	8,69	19,01	8,20
2	5,60	20,65	6,89
3	8,26	9,27	10,33
4	8,48	15,67	12,34
5	5,54	18,23	12,27
6	5,63	10,22	9,02
Média (MPa)	7,03	15,51	9,87
DP (MPa)	1,59	4,75	2,21
CV	23%	31%	22%

Observa-se que a taxa de infiltração do concreto vermelho revelou-se estatisticamente menor do que as médias de infiltração verificadas nos concretos sem pigmento e verde. Isso ocorre devido ao fato de se ter observado uma tendência de precipitação, ainda que pequena, no concreto vermelho por conta da maior quantidade de aditivo superplastificante necessária em decorrência da maior finura do pigmento em óxido de ferro.

Conclui-se, então, que o impacto da adição do pigmento na permeabilidade das misturas está mais diretamente relacionado ao ajuste da dosagem do aditivo superplastificante para a dispersão do cimento e pigmento do que ao aumento do volume de pasta decorrente da adição do material fino. Em última análise, há um grande potencial de utilização de pigmentos inorgânicos para pigmentação de concretos permeáveis considerando suas mais diversas apli-

► **Tabela 5**

Teste de hipóteses para os testes de infiltração em campo

Parâmetros test t-Student	Referência	Vermelho	Referência	Verde	Vermelho	Verde
Média	2,55	0,89	2,55	2,23	0,89	2,23
Variância	0,623	0,121	0,623	0,408	0,121	0,408
n	10		10		10	
Stat-t	5,082		1,190		4,857	
tcrítico	2,262		2,262		2,262	
P (Stat t ≤ tcrít)	0,000661		0,264		0,0009	
Resultado	Rejeita H0. Médias diferentes		Não rejeita H0. Médias iguais		Rejeita H0. Médias diferentes	

cações, especialmente no que se refere à sua utilização como material de revestimento cicloviário. Além disso, o emprego de modificador de viscosidade foi bastante positivo para o ajuste da consistência do concreto para sua ideal aplicação: evitar precipitação da pasta durante a mistura, transpor-

te, lançamento e acabamento. Não foram observados problemas dessa natureza, ao menos visualmente, em nenhuma das fases de trabalho, com o ajuste do teor desse tipo de aditivo. Aparentemente, foi uma aplicação inovadora do aditivo em termos de concretos permeáveis no país. □

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. ASTM C1701/C1701M-09 Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, 2009.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- [3] BALBO, J. T. Pavimentos de Concreto. Oficina de Textos, São Paulo, 2009.
- [4] BALBO, J. T. Pavimentos de Concreto Permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. Oficina de Textos, São Paulo, 2020.
- [5] BATEZINI, R.; BALBO, J. T. Study on the hydraulic conductivity by constant and falling head methods for pervious concrete. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais (RIEM), v. 8, no. 3, 2015.
- [6] BATEZINI, R.: Estudo das características hidráulicas e mecânicas de calçadas em concreto permeável em pista experimental. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Orientador: José Tadeu Balbo), São Paulo, 2019.
- [7] BURNHAM, T.; AKKARI, A.; MOULZOLF, G.; SUTTER, L. Investigation and Assessment of Colored Concrete Pavement. Minnesota Department of Transportation Office of Materials and Road Research. Research Project Final Report 26, 2014.
- [8] CONCRETE NETWORK. Integral color concrete pigments. Disponível em <<https://www.concretenetwork.com/products-integral-color/>>. (Acesso em: 04.11.2020).
- [9] CORINALDESI, V.; MONOSI, S; RUELLO, M. L. Influence of inorganic pigments' addition on the performance of coloured SCC. Construction and Building Materials, v. 30, pp. 289-293, 2012.
- [10] CURVO, F. DE O. Estudo da drenabilidade de calçadas experimentais em concreto permeável no campus Armando Salles de Oliveira da USP. Dissertação (mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Orientador: José Tadeu Balbo), São Paulo, 2017.
- [11] HEERAH, M. Z.; GALOVARDES, I.; DAWSON, G. Characterization and control of cementitious mixes with color pigment admixtures. Case Studies in Construction Materials, v. 15, 2021.
- [12] HOSPODAROVA, V.; STEVULOVA, N.; JUNAK, J. Color pigments in concrete and their properties. Pollack Periodica, 2015. DOI: 10.1556/606.2015.10.3.15
- [13] JANG, H.; KANG, H.; SO, S. Color expression characteristics and physical properties of colored mortar using ground granulated blast furnace slag and white Portland Cement. KSCE Journal of Civil Engineering, v. 8, no. 4, pp. 1125-1132, 2014.
- [14] KOTÁTKOVÁ, J.; REITERMAN, P. Colored concrete with focus on the properties of pigments. Advanced Materials Research, v. 1052, pp. 248-253, 2014.
- [15] SPECIFY CONCRETE (ORG.). The creation of decorative concrete. 2019. Disponível em: <https://www.specifyconcrete.org/blog/a-brief-history-of-decorative-concrete>. (acesso em: 21.06.2020).