

Received:
March 30, 2020

Accepted:
April 24, 2020

Published:
April 30, 2020

Compressive strength of colored concrete with iron oxide in the city of Teófilo Otoni in Minas Gerais

Gisele Monteiro de Sousa¹ , Karina Rodrigues Oliveira¹ , Antônio Jorge de Lima Gomes¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil.

E-mail

gisele_monteiro13@hotmail.com (Gisele M. Sousa) – Corresponding author.

Abstract

This work analyzed the variations in the compressive strengths of colored concrete through the elaboration, manufacture and breaking of 18 proof bodies incorporated with pigments based on red iron oxide in the mixture, considering the presence of biotite in the aggregates present in the geological formation in the city Teófilo Otoni in state of the Minas Gerais. Colored concrete is not diffused in civil construction in the region and differs from conventional concrete, as it does not require the application of coating, being a type of exposed concrete. We used three types of concrete (T1, T2 and T3) and were defined with theoretical compressive strengths (fck) of 18 MPa, 25 MPa and 40 MPa. Percentages of 0%, 3% and 6% iron oxide pigments were added to the mixture of 18 proof bodies and the compressive strengths were tested at 9 and 28 days. The most relevant result was T3P3 with 3% pigment, which obtained a resistance of 38.25 MPa for a theoretical fck of 40 MPa. The recommended percentage for addition to the concrete mixture in the Teófilo Otoni region is 3% of colored inorganic additives, as the experimental values obtained are close to the theoretical compressive strength expected at 28 days, being 15.83 MPa for fck 18 MPa, 12.74 MPa for the fck 25 MPa and 38.25 MPa for the fck 40 MPa.

Keywords: Colored concrete, Pigment, Concrete additives.

1. Introdução

Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de traços de concreto colorido, acrescidos de teores distintos de aditivos à base de óxido de ferro na cor vermelha, identificando as variações de resistências à compressão. Este processo compreendeu a elaboração, fabricação e rompimento de 18 corpos de prova do concreto.

Para um maior entendimento e compreensão desta pesquisa foram realizados ensaios de compressão, levando também em consideração a presença de biotita nos agregados miúdos e graúdos, oriundos das formações geológicas da cidade de Teófilo Otoni - MG.

O concreto é o material construtivo mais utilizado no mundo, sendo composto por uma mistura de cimento, água, agregados e ocasionalmente aditivos (Pedroso, 2009).

O concreto colorido resulta do surgimento de novos materiais e sistemas construtivos que vêm sendo introduzidos em obras de planejamento urbano e diversos tipos de edificações, apresentando características e comportamentos diferenciados e ainda muito pouco estudados (Piovesan, 2009).

Os aditivos para concreto são adicionados à mistura de cimento-água e agregados, em pequenas quantidades, para fixar o comportamento do concreto e controlar o seu endurecimento. Eles podem ser aditivos líquidos ou em pó. Quando o objetivo é colorir o concreto se utiliza mais o termo pigmento, no entanto ambos são aceitos.

Segundo Conceição (2015) os pigmentos utilizados para a inserção de cor aos concretos podem ser classificados como: inorgânicos e orgânicos, sendo os inorgânicos mais recomendáveis para uso nos concretos.

Tutikian e Helene (2011) ressaltam que algumas das vantagens da utilização de concreto aparente (cinza, colorido ou branco) para a engenharia, são: valor estético, originalidade, desenvolvimento tecnológico, durabilidade e preservação do meio ambiente, além de proporcionar economia para a obra, pois dispensa a aplicação de revestimento.

A incorporação de pigmento na mistura do concreto, confere as estruturas cinzas do concreto convencional, cor definitiva, promovendo o aumento da durabilidade dos acabamentos das construções em relação às tintas, além de agregar valor estético (Piovesan, 2009).

A proporção adequada dos materiais utilizados em uma mistura, mediante um traço do concreto, é um dos fatores preponderantes para impedir a ocorrência de alterações que comprometam negativamente as propriedades do concreto.

A fabricação do concreto colorido requer um rigoroso controle tecnológico dos materiais empregados e adequados processos de execução, para evitar possíveis percalços envolvendo principalmente a estética e a resistência final do material.

Além de uma mistura ideal, o traço do concreto deverá proporcionar economia na fabricação do concreto e levar em consideração os materiais disponíveis na região a fim de atender uma série de requisitos que dependerá, por exemplo, da complexidade do trabalho a ser realizado (Tutikian e Helene, 2011).

No Brasil as dificuldades encontradas sobre a utilização do concreto colorido estão relacionadas a falta de conhecimento sobre a técnica, deixando os clientes e profissionais resistentes à aceitação, na uniformização da cor (que está relacionada diretamente com a dosagem e controle da execução do concreto), pela necessidade de maior demanda de água na mistura e pelo alto custo no mercado brasileiro (Valença, 2017).

Entretanto a demanda por concretos que apresentem o mesmo desempenho dos concretos convencionais e que sejam capazes de atender as necessidades estéticas, com características diferenciadas de cromaticidade tem sido constante (Passuelo, 2004).

A opção de colorir os tons cinzas do concreto manipulando a sua cromaticidade é mais atraente por fornecer uma gama de opções e possibilidades diferenciadas para aplicações diversas (Passuelo, 2004).

A utilização dos concretos coloridos na construção civil ainda gera dúvidas, sendo ainda pouco conhecido na região que compreende a cidade de Teófilo Otoni.

Os primeiros trabalhos realizados na região acerca da temática abordada foram intitulados: Aplicabilidade do concreto colorido na construção civil com autoria de Sousa, Ramalho e Oliveira (2018), Aplicabilidade do Concreto Colorido na Cidade de Teófilo Otoni- MG com autoria de Sousa; Oliveira e Gomes (2019), e Concretos coloridos para uso na construção civil na cidade de Teófilo Otoni- MG de Sousa; Oliveira e Gomes (2019).

1.1. Área de estudo

A área de realização deste trabalho compreendeu a cidade de Teófilo Otoni, localizada no Vale do Mucuri no Nordeste do Estado de Minas Gerais (MG), conforme apresentado na figura (1).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) Teófilo Otoni abrange uma área de unidade territorial de 3.242,27 km² e compôs no último censo (2010) uma população de 134.745 habitantes.

O índice pluviométrico médio anual de 1961 a 1990 foi de 959,1 mm (INMET, 2020).

O clima da cidade é caracterizado segundo Köppen e Geiger, como Aw, tropical com invernos secos e verões

chuvosos, apresenta temperatura média anual cerca de 23°C (CLIMATE-DATA.ORG, 2020).

O relevo de Teófilo Otoni é predominantemente montanhoso, sendo seu território constituído com valores aproximados de 60% de mares de morros e montanhas, 30% de terrenos ondulados e 10% planos (Garcia et al., 2017).

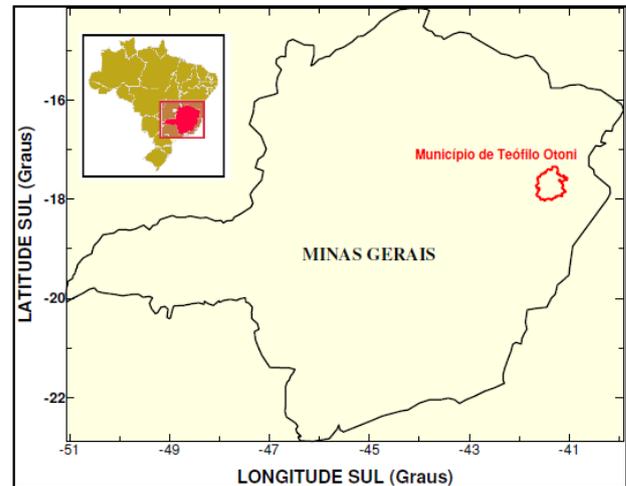


Figura 1 – Localização do Município de Teófilo Otoni - MG (Gomes et al., 2012).

Segundo Gomes et al. (2012) a região compõe parte do Cinturão Araçuaí e da Província Mantiqueira, sua geologia compreende predominância pré-cambriana e sua principal formação geológica pertence ao Complexo Juiz de Fora, tendo maior parte compreendida em idade Arqueana.

As principais formações geológicas da região são a Tumiritinga e Tonalito São Vitor, sendo esta última predominante na região (Gomes et al., 2014), conforme se apresenta na figura (2).

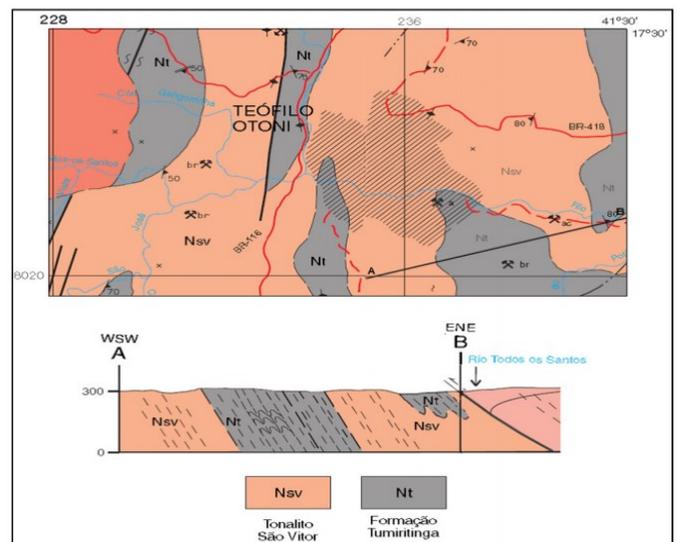


Figura 2 – Principais Formações Geológicas que compreendem a região de Teófilo Otoni (Adaptado de COMIG, 2003; Ramos e Gomes, 2016).

A estrutura litológica da região que envolve Teófilo Otoni é composta por rochas arqueano-proterozóicas de variado grau metamórfico, principalmente por tonalitos, xistos

e gnaisses, estruturalmente afetados por falhas e lineamentos de direção principal NE- SW (Ferraz, Valadão e Henrique, 2016).

As formações geológicas da região de Teófilo Otoni apresentam predominância de rochas gnáissicas com presença de minerais micáceos, como a biotita (Gomes et al., 2012).

Altos teores de micas, em especial a biotita (potássio, óxido de ferro), em rochas empregadas para a fabricação de agregados pode contribuir para a redução da resistência e trabalhabilidade dos concretos e argamassas (Parreira, 2016).

As partículas da biotita são caracterizadas pelo seu formato lamelar, quando se agrupam, formam uma estrutura espacial rígida, que demanda elevadas quantidades de água em relação as partículas esféricas, para preencher vazios existentes nos aglomerados formados, revestir a superfície das partículas e separá-las, possibilitando sua correta fluidez e mantendo a mesma viscosidade (Hawlitshchek, 2014 apud Parreira, 2016).

Segundo Corsini (2011) o teor máximo de pigmento recomendado para aplicação nos concretos é de aproximadamente 8% sobre a quantidade de cimento, onde a engenheira química Giselle Martins cita que “Existem estudos que comprovam que acima de 8% de pigmento há saturação, e não se consegue obter uma cor mais viva”. Segundo esta, ainda complementa afirmando que a incorporação de finos em grandes proporções pode contribuir para a perda na resistência mecânica do concreto.

2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento da pesquisa experimental foram seguidos os procedimentos padrões dispostos na ABNT NBR 5738/2015, concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

O presente trabalho é classificado como uma pesquisa de caráter qualitativo e quantitativo, que envolveu pesquisas bibliográficas e experimentais.

Inicialmente foram realizadas pesquisas nas literaturas existentes, em fontes digitais e impressas, acerca da temática abordada, o que possibilitou uma base passível de aprofundamento para o progresso deste trabalho.

Toda a parte experimental deste trabalho foi realizada na concreteira local, Grupo Pedreira Mix Mattar, que ofereceu auxílio e suporte para o desenvolvimento das pesquisas, incluindo equipamentos e materiais, exceto o pigmento, necessários para a elaboração e rompimento dos corpos de prova do concreto.

Para a fabricação das misturas dos concretos foram empregados os seguintes materiais: cimento Portland de alto forno com escória, do tipo CPIII – E – 32, da marca Cauê; brita 0 proveniente de rochas gnáissicas (agregado graúdo); areia artificial com 3% de umidade, também de origem gnáissica (agregado miúdo), água da rede de abastecimento público local e pigmento inorgânico à base de óxido de ferro de coloração vermelha, da marca LANXESS.

Foram moldados 18 corpos de prova do concreto para rompimento a 9 e 28 dias, sendo 9 corpos de prova com composições distintas, variando o teor de pigmento inserido, sendo: 0% sem pigmento (SP), acréscimo de 3% de pigmento (P3) e 6% de pigmento (P6) e na formulação dos traços para concreto em massa, sendo: Traço 1 (T1), Traço 2 (T2) e Traço 3 (T3), identificados na tabela (1).

Os traços correspondentes serão sempre acompanhados de uma composição, onde: T1SP corresponde ao traço 1 sem adição de pigmento, enquanto T1P3 refere-se ao traço 1 com acréscimo de 3% de pigmento, e T1P6 com acréscimo de 6% de pigmento e assim sucessivamente para os traços T2 e T3.

Tabela 1 – Identificação dos Corpos de prova moldados.

Composição	9 dias	28 dias
Sem pigmento (0%)	T1SP	T1SP
	T2SP	T2SP
	T3SP	T3SP
Acréscimo de 3% de pigmento	T1P3	T1P3
	T2P3	T2P3
	T3P3	T3P3
Acréscimo de 6% de pigmento	T1P6	T1P6
	T2P6	T2P6
	T3P6	T3P6

Os traços definidos para este experimento, são baseados em estudos realizados com rochas Graníticas do Rio de Janeiro – RJ, as resistências à compressão (fck) de cada traço são: 18 MPa, 25 MPa e 40 MPa respectivamente, tabela (2), variando conforme o tipo de estrutura solicitada.

Os valores do fck dos traços utilizados neste trabalho serão intitulados como, resistência teórica, sendo utilizada como referência para a comparação das resistências obtidas nos resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova dos concretos moldados.

Tabela 2 – Traços para concreto utilizados (Notas de aula, Prof. Antônio Jorge de Lima Gomes, 2018).

Traço	fck (MPa)	Consumo de cimento (Kg/m ³ de concreto)	Fator a/c (l/Kg)	Traço em massa
T1	18	276	0,73	1:2,71:3,52
T2	25	344	0,61	1:2,17:2,94
T3	40	514	0,44	1:1,08:1,56

Os materiais utilizados foram dosados conforme a composição destinada a cada traço em massa, para a precisão das medidas contou-se com o auxílio de uma balança da marca Toledo. Os componentes dosados foram inseridos numa betoneira de marca CSM para serem misturados mecanicamente, resultando numa mistura do concreto no estado fresco.

Para a definição do número de camadas e golpes necessários para a disposição do concreto nos moldes cilíndricos, foi obedecido o estabelecido na tabela (3).

A NBR 5738:2015 padroniza que os moldes cilíndricos devem ter diâmetro de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm, devendo sua altura ser igual ao dobro do diâmetro.

Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizados moldes cilíndricos padrão com dimensões de 20x10cm e área de 78,54 cm².

Em conformidade com a tabela (3), o concreto fresco foi distribuído em moldes cilíndricos de diâmetro de 100 mm em duas camadas, sendo necessário 12 golpes para

adensamento manual em cada camada com o auxílio de uma haste de adensamento, figura (3).

Tabela 3 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova cilíndricos (ABNT NBR 5738/2015).

Dimensão básica (d) (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
100	1	2	12
150	2	3	25
200	2	4	50
250	3	5	75
300	3	6	100
450	5	-	-



Figura 3 – Abatimento do concreto no corpo de prova.

Cada corpo de prova foi etiquetado conforme mostrado na figura (4), para possibilitar a identificação dos mesmos e seus respectivos traços.

Após alocado corretamente nos moldes, os corpos de prova foram reservados em local adequado para o endurecimento do concreto.



Figura 4 – Corpos de prova identificados e reservados em local adequado para seu endurecimento.

Após 48 horas os concretos endurecidos foram retirados dos moldes e encaminhados para um reservatório de água para ser submetidos a cura úmida aos 9 e 28 dias, figura

(5), a fim de garantir a hidratação do concreto, reduzindo os efeitos da evaporação da água perdida ao longo do seu processo de endurecimento, o aumento da resistência e a redução das chances de aparecimento de patologias, por exemplo, trincas e fissuras.



Figura 5 – Cura do concreto.

Decorridos 9 dias, 9 corpos de prova foram retirados do reservatório de água e retificados em máquina retífica da marca Stuhler, figura (6), para posterior rompimento.

Segundo a NBR 5738/2015 a retificação consiste na remoção das superfícies onduladas dos corpos de prova, cerca de 0,05 mm em cada extremidade, proporcionando o controle geométrico da amostra.



Figura 6 – Retificação dos Corpos de prova curados.

O mesmo procedimento foi realizado após 28 dias com os corpos de prova restantes.

Por fim, os corpos de prova foram submetidos ao teste de compressão numa prensa elétrica digital da marca Solocap, que admite carga máxima de 1000 kN com precisão de ± 1%, figura (7), caracterizando o principal ensaio do concreto no estado endurecido, o ensaio de compressão.

Deste modo, 9 corpos de prova foram rompidos aos 9 dias e os restantes aos 28 dias.



Figura 7 – Rompimento dos Corpos de prova em prensa elétrica digital da marca Solocap.

Os resultados alcançados consistiram de resistências obtidas em kN, que quando convertidas em MPa, através da fórmula (1), foram comparadas com as resistências teóricas para cada traço, sendo possível a avaliação da influência dos pigmentos nos concretos.

$$fck (MPa) = \frac{\left(\frac{fck(kN)}{Acp}\right)}{9,81} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

fck: Resistência do concreto à compressão
Acp: Área do corpo de prova

3. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão são apresentados na tabela (4) e correspondem às resistências obtidas pelos corpos de prova do concreto aos 9 e 28 dias, sendo expressos em kN e convertidos para MPa, através da fórmula (1) apresentada no item anterior.

Com base nos resultados encontrados na tabela (4), as resistências obtidas nos ensaios de compressão foram abaixo dos valores das resistências teóricas (fck) para cada traço aos 28 dias.

Alguns fatores relacionados à falta de controle tecnológico dos materiais, clima, formação geológica da região, entre outros, podem ter contribuído para as baixas resistências obtidas neste experimento.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de compressão.

Id.	fck (MPa)	Resistências obtidas (kN)		Resistências obtidas (MPa)	
		9 dias	28 dias	9 dias	28 dias
T1SP	18	45,92	130,95	5,96	17,00
T1P3		83,20	121,94	10,80	15,83
T1P6		83,42	103,93	10,83	13,49
T2SP	25	98,47	122,48	12,78	15,90
T2P3		50,04	98,18	6,49	12,74
T2P6		113,53	159,53	14,74	20,71
T3SP	40	205,62	210,80	26,69	27,36
T3P3		240,47	294,69	31,21	38,25
T3P6		215,77	235,26	28,00	30,53

Analisando individualmente e graficamente os resultados obtidos para cada traço, aos 9 e 28 dias, foi possível observar com mais clareza as variações das resistências dos traços, conforme apresentado nas figuras (8), (9) e (10).

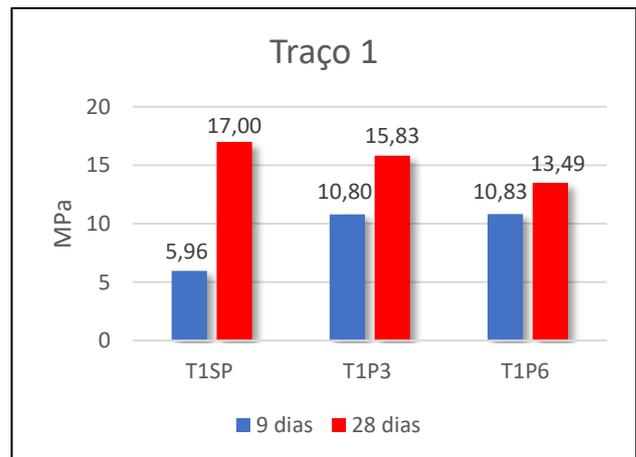


Figura 8 – Resistências obtidas para o traço 1 (T1).

Com base nos resultados apresentados na figura (8), percebe-se que a amostra que obteve melhor desempenho foi a sem pigmento, T1SP, atingindo uma resistência de 17 MPa, próxima a resistência teórica para o traço 1 aos 28 dias, 18 MPa. Em contrapartida, a amostra que apresentou pior desempenho foi a com acréscimo de 6% de pigmento, T1P6, atingindo uma resistência de apenas 13,49 MPa aos 28 dias.

Quanto as variações das resistências ocorridas de 7 aos 28 dias, T1SP obteve um aumento percentual de cerca de 185%, enquanto T1P3 e T1P6 obtiveram variações menores, 47% e 25% respectivamente.

A composição do traço 2 requer maior consumo de cimento e menor consumo de água (a/c) quando comparado ao traço 1, atingindo um fck mais elevado, 25 MPa, tabela (2).

De acordo com os resultados apresentados na figura (9), percebe-se que nenhuma amostra deste traço obteve

resistência próxima a teórica, sendo o melhor resultado referente a amostra T2P6 com 20,71 MPa, tornando seu comportamento atípico, visto que houve um ganho de resistência ao acréscimo de 6%, não uma queda, como nas demais amostras pigmentadas.

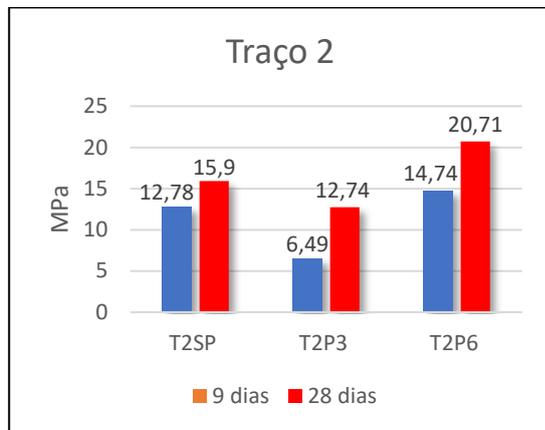


Figura 9 – Resistências obtidas para o traço 2 (T2).

Alguns fatores relacionados a falta do controle de umidade dos materiais utilizados, devido a variação do clima na data de fabricação dos corpos de prova, podem ter ocasionado o aumento da umidade, principalmente da areia que já apresentava umidade de 3%, assim como dosagens inadequadas dos materiais empregados e abatimentos excessivos ou abaixo do especificado pela NBR 5738:2015, podem ter contribuído para baixas resistências obtidas e resultados equivocados.

Para este traço, houve poucas variações das resistências dos 9 aos 28 dias, sendo aproximadamente 24% para T2SP, 96% para T2P3 e 41% para T2P6.

A composição do traço 3 é comumente utilizada para construção de estruturas como pontes, sendo o traço que necessita de maior consumo de cimento e menor demanda de água, alcançando um fck de 40 MPa, tabela (2), sendo o mais elevado em relação aos traços 1 e 2.

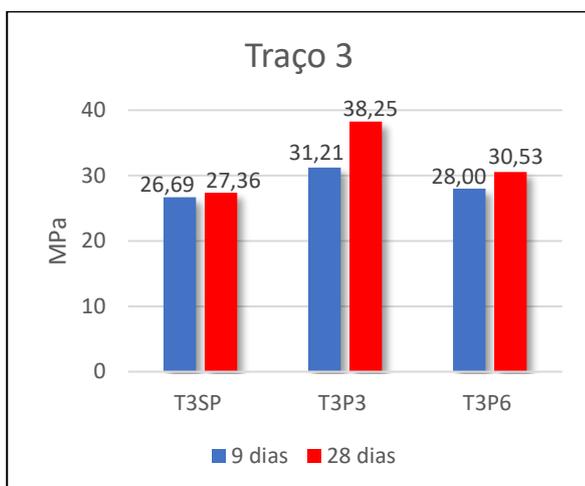


Figura 10 – Resistências obtidas para o traço 3 (T3).

Com base nos resultados obtidos para o traço 3, figura (10), observa-se que a amostra que apresentou resultado mais

próximo ao teórico foi a com acréscimo de 3% de pigmento a mistura do concreto, T3P3 com 38,25 MPa.

Possivelmente a presença de óxido de ferro na composição do pigmento e da biotita contribuíram para a diminuição da resistência do concreto, em contrapartida a quantidade de cimento influenciou para aumento da resistência.

Neste sentido, o traço T3P3 demanda maior quantidade de cimento e menor quantidade de água, favorecendo o aumento na resistência do concreto, amenizando assim, a influência do óxido de ferro presente na mistura.

Já a amostra T3P6 apresentou uma redução de cerca de 20% da sua resistência em relação a T3P3, comportamento já esperado devido à presença do óxido de ferro em concentração mais elevada.

Quanto as variações das resistências dos 9 aos 28 dias, as amostras do traço 3 foram as que apresentaram menores variações quando comparadas as demais amostras referentes aos traços 1 e 2, sendo aproximadamente 3% para T3SP, 23% para T3P3 e 9% para T3P6.

De forma geral, observa-se que as amostras com acréscimo de 6% de pigmento, T1P6, T2P6 e T3P6 obtiveram um ganho de resistência aos 9 dias, apresentando poucas variações aos 28 dias quando comparados as amostras com teor de 3%, T1P3, T2P3 e T3P3, que apresentaram variações significativas dos 9 aos 28 dias.

Possivelmente o óxido de ferro presente no pigmento e nos agregados, contribuiu para a aceleração das reações de hidratação do cimento ocasionando o aumento na resistência inicial do concreto.

“A hidratação é influenciada por fatores tais como a natureza do clínquer (composição do cimento e finura), quantidade de cimento, relação a/c, a temperatura e a presença de aditivos.” (Carvalho, 2002, p. 14).

Devido a forma e a finura, o pigmento e a biotita presente nos agregados podem se comportar dentro da mistura como um material fino (filler), ocasionando alterações nas propriedades dos concretos, principalmente na resistência e trabalhabilidade.

A piora da trabalhabilidade das misturas, ocorreu com o aumento da adição de pigmento à base de óxido de ferro, sendo que as amostras pigmentadas, principalmente com acréscimo de 6%, se apresentavam menos consistentes que as demais, resultando em misturas pouco trabalháveis e com necessidade do acréscimo de uma demanda maior de água, caso fosse requerido um concreto mais fluido, por exemplo, comprometendo sua resistência.

4. Discussão e Análise com Resultados da Literatura

Para um maior entendimento e compreensão faremos uma síntese dos principais resultados de pesquisas com concretos coloridos.

De acordo com Parreira (2016) o estudo do maior consumo de água dos minerais micáceos foi realizado por Lagerblad et al. (2011). Este estudo consistiu na comparação de dois tipos de fillers graníticos: Filler A, rico em quartzo e feldspato e Filler B, rico em mica e argilomineirais, por meio

de um ensaio de saturação em água, como resultado, apresentou maior saturação no filler B, possivelmente pela presença de mica.

Deste modo, a presença de partículas que demandam maior consumo de água afeta a trabalhabilidade dos concretos (Lagerblad et al., 2013 apud Parreira, 2016).

Quedas de resistências com a adição de pigmentos também foram observadas por Aguiar (2006) que propôs uma análise da adição de teores de 3%, 6% e 9% de pigmentos em relação à massa do cimento com fck teórico de 60 Mpa, a fim de estudar sua influência na resistência a compressão dos concretos, aos 28 dias, utilizando cimento Portland branco estrutural.

Aguiar (2006) utilizou 2 tipos de pigmentos: um pigmento “A” inorgânico à base de hidróxido de ferro de formato acicular nas colorações vermelha e amarela, e um pigmento “B” composto um subproduto com características físico-químicas iguais ao “A” utilizando as mesmas colorações, além de uma terceira tonalidade, verde, de base orgânica. Os resultados dos ensaios de compressão são apresentados na figura (11).

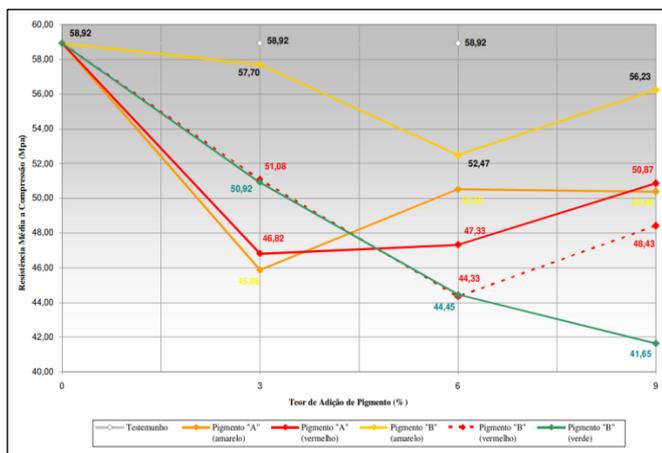


Figura 11 – Ensaio de compressão em concretos com adições de teores distintos de pigmentos (Aguiar, 2006).

Com base nos resultados da figura (11) observa-se que a adição de 3% promoveu redução mais significativa no pigmento “A” amarelo, apresentando quedas de cerca de 23% quando comparado ao testemunho.

A adição de 6% provocou redução da resistência em todas as colorações do pigmento “B” em relação a 3%, já no pigmento “A” percebe-se um aumento. Com o acréscimo de 9% de pigmento, todas as misturas obtiveram resultados inferiores ao testemunho.

Aguiar (2006) justifica que estes resultados podem estar atrelados a perda de trabalhabilidade das misturas com adição de pigmentos, visto que a interação dos grãos do pigmento com os grãos do cimento e agregados é dificultada, contribuindo para a existência de espaços vazios na mistura que não são preenchidos, ocasionando a redução da resistência do concreto endurecido.

Já Piovesan (2009) obteve resultados diferentes de Aguiar (2006), com o objetivo de também analisar a influência da adição de pigmentos na resistência dos concretos aos 7, 14 e 28 dias.

Piovesan utilizou 2 tipos de pigmentos inorgânicos de composições químicas distintas, variando os acréscimos de teores dos pigmentos em: 0%, 3%, 6% e 10% e relações a/c de 0,40; 0,55 e 0,70, também utilizou nas misturas, um aditivo superplastificante de 3ª geração, de base química composta por policarboxilatos para compensar a maior demanda de água requerida com a adição de pigmentos.

Dos pigmentos utilizados para o experimento, um foi à base de óxido de ferro (Fe2O3) de coloração vermelha e o outro à base de óxido de cromo (Cr2O3) com coloração verde.

Estes pigmentos apresentam grãos com diâmetros inferiores aos grãos do cimento, o que contribui para a interação dos grãos para o preenchimento de espaços vazios, se comportando com um filler, auxiliando no aumento da resistência do concreto.

Tabela 5 – Resultados obtidos e calculados para o pigmento vermelho (Piovesan, 2009).

fck obtido (MPa)				fck calculado (MPa)				Fator a/c
0%	3%	6%	10%	0%	3%	6%	10%	
7 dias								
51,13	50,98	50,84	49,91	50,35	51,16	51,93	50,2	0,4
32,01	34,88	36,4	35,06	33,11	33,92	34,69	32,1	0,55
20,28	24,11	24,01	22,12	23,1	23,91	24,68	22,95	0,7
14 dias								
54,7	55,92	51,63	51,74	52,55	53,37	54,16	53,84	0,4
36,55	36,07	38,78	37,67	34,95	35,76	36,55	36,23	0,55
23,19	24,48	26,48	24,03	24,57	25,38	26,17	25,85	0,7
28 dias								
56,64	55,25	56,24	59,02	56,96	57,78	58,58	58,96	0,4
39,17	42,03	41,22	43,52	38,61	39,43	40,23	40,61	0,55
26,1	28,71	29,53	27,64	27,5	28,31	29,11	29,5	0,7

Tabela 6 – Resultados obtidos e calculados para o pigmento verde (Piovesan, 2009).

fck obtido (MPa)				fck calculado (MPa)				Fator a/c
0%	3%	6%	10%	0%	3%	6%	10%	
7 dias								
51,13	50,82	48,26	52,02	50,9	50,84	50,78	50,7	0,4
32,01	34,35	33,59	34,97	32,39	32,76	33,12	33,61	0,55
20,28	22,31	22,97	23,43	21,82	22,37	22,92	23,65	0,7
14 dias								
54,7	52,9	52,87	53,8	54	53,94	53,88	53,8	0,4
36,55	37,38	37,28	36,31	35,09	35,46	35,82	36,31	0,55
23,19	24,12	25,16	23,77	24,29	24,84	25,39	26,12	0,7
28 dias								
56,64	57,1	56,05	58	57,75	57,69	57,64	57,56	0,4
39,17	41,78	39,95	39,99	38,61	39,43	40,23	40,61	0,55
26,1	26,26	27,39	27,93	26,78	27,33	27,88	28,61	0,7

Percebe-se um aumento de resistência proporcional ao aumento do tempo de cura do concreto, conforme se observa nas tabelas (5 e 6).

Os maiores ganhos de resistências são percebidos no pigmento vermelho, apresentando aumento cerca de 13% aos 7 dias com adição de 6% quando comparado ao concreto referência, já com a adição de 10% percebe-se o contrário, uma redução.

O pigmento verde obteve aumento de resistência proporcional ao aumento dos teores adicionados, possivelmente explicado pela combinação da forma esférica e diâmetro de ordem $< 1 \mu\text{m}$ dos grãos do pigmento.

Piovesan (2009) também percebeu que a resistência aumentava à medida que o tempo de cura do concreto aumentava e que o aumento do teor de pigmento pouco influenciou nas variações das resistências obtidas, sendo este aumento, cerca de 5% para o pigmento vermelho e 2% para o verde em relação ao concreto referência.

As resistências reduziram significativamente com o aumento da relação a/c, comprovando a lei de Abrams de que a resistência à compressão é inversamente proporcional à relação a/c.

Os resultados obtidos por Aguiar (2006) e Piovesan (2009) foram divergentes, uma vez que Aguiar obteve resistências a compressão com adição de pigmentos abaixo do concreto referência, Piovesan obteve todas as resistências superiores.

Outros autores como Costa et al. (2004), Hendges (2004) e Alencar (2005) analisaram a resistência à compressão dos concretos com adição de pigmentos e concluíram que a adição de pigmento na ordem de 1,1 a 8% sobre a massa de cimento praticamente não altera a resistência à compressão do concreto (Conceição, 2015).

Entretanto Rojas (2003) expõe que a adição de pigmentos à mistura, contribui para a redução da resistência dos concretos, independentemente do seu tipo e da cor. Estas quedas ficam perceptíveis com acréscimos de teores superiores a 5% sobre a massa do cimento (Conceição, 2015).

No presente trabalho, os resultados obtidos em traços com percentual de 3% de pigmento, apresentaram maiores resistências à compressão do que os com 6%.

Os valores obtidos nos ensaios de compressão apresentaram resultados bem próximos aos teóricos aos 28 dias, sendo 15,83 MPa para um fck 18 Mpa e 38,25 MPa para o fck de 40 MPa.

Utilizou-se somente pigmento inorgânico à base de óxido de ferro, de coloração vermelha e da marca LANXESS.

O resultado obtido para T2P3, 12,74 MPa aos 28 dias para o traço de fck 25 MPa, foi o que mais se distanciou do teórico, às chuvas no dia da fabricação dos concretos contribuiu para o aumento da umidade dos agregados e a presença da biotita pode ter modificado o fator água/cimento da mistura. Assim, são necessários mais estudos para um maior entendimento destes resultados.

5. Conclusão

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, através dos ensaios de compressão, verificou-se que o óxido de ferro de coloração vermelha, principal componente do pigmento inorgânico utilizado na elaboração dos traços de concreto,

pode interferir e reduzir na resistência à compressão de concretos coloridos.

Constatou-se que os traços com percentual de 3% de pigmento apresentaram maiores resistências à compressão do que os com 6%.

O percentual recomendado para a adição à mistura do concreto na região de Teófilo, é de 3% de aditivos coloridos inorgânicos, pois apresentaram resultados bem próximos aos valores teóricos aos 28 dias, sendo 15,83 MPa para um fck 18 MPa, 12,74 MPa para o fck de 25 MPa e 38,25 MPa para o fck de 40 MPa.

As amostras com acréscimo de 6% de pigmento, T1P6, T2P6 e T3P6 apresentaram menores variações de resistência dos 9 aos 28 dias, 3%, 23% e 9% respectivamente do que as com 3%, T1P3, T2P3 e T3P3, sendo 24%, 96% e 41% respectivamente, no entanto aos 28 dias o percentual de 6% apresentou menores resistências, respectivamente 38,25 Mpa e 30,53 Mpa.

O pigmento além de acelerar o processo de hidratação do cimento, ocasiona uma diminuição da resistência do concreto, em relação à sua resistência teórica.

Quanto maior o teor de pigmento adicionado a mistura do concreto, menor foi a consistência, tendendo a uma pior trabalhabilidade, sendo requerido uma demanda maior de água, comprometendo a resistência do concreto.

A presença de biotita nos gnaisses utilizados para fabricação de brita e areia artificial, ainda pouco pesquisada na região, possivelmente também contribuiu para a diminuição da resistência à compressão de todas as amostras, em virtude da sua forma lamelar e seu consequente comportamento na mistura do concreto.

A ausência de um rigoroso controle tecnológico dos materiais empregados na fabricação dos corpos de prova do concreto, também pode ter contribuído para a redução das resistências obtidas no experimento.

Desta forma, o concreto colorido pode ser empregado para fins não estruturais em edificações, sua utilização requer estudos mais avançados, com controle rigoroso nos processos a serem executados principalmente com relação a dosagem e caracterização dos materiais utilizados.

O cimento é o material que mais contribui para o aumento da resistência do concreto e o óxido de ferro promove a redução à compressão.

Neste sentido acredita-se que houve uma maior interação entre as partículas do cimento e do óxido de ferro na amostra T3P3, devido a elevada quantidade de cimento presente na mistura, favorecendo o aumento da resistência do concreto, anulando o efeito do óxido de ferro.

A composição mais recomendada para fabricação dos concretos coloridos foi o traço T3P3, sendo sua resistência obtida de 38,25 MPa, bem próxima a teórica de 40 MPa. Este traço requer um consumo de cimento mais elevado que os traços 1 e 2.

Para que sejam obtidos resultados com maior confiabilidade e precisão, sugere-se a criação de uma tabela de traços em massa e volume baseada em estudos realizados com os materiais disponíveis na região e aplicados para a produção de concretos na cidade de Teófilo Otoni.

Por fim, indica-se o percentual de 3% de óxido de ferro de cor vermelha para misturas em traços de concretos coloridos para a região de Teófilo Otoni por apresentar resistências mais próximas dos valores teóricos já conhecidos pela literatura.

Agradecimentos

Agradecemos ao Grupo Pedreira Mix Mattar por nos ter cedido material para os traços de concreto e equipamentos para a realização desta pesquisa.

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. *NBR 5738:2015 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT.
- Aguiar, C., 2006. *Concreto de Cimento Portland Branco Estrutural: Análise da adição de pigmentos quanto à resistência à compressão*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Carvalho, A.G., 2002. *Energia de Ativação dos Concretos: Experimentação e Modelagem*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CLIMATE-DATA.ORG, 2020. *Clima Teófilo Otoni*. [online] Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/americas-sul/brasil/minas-gerais/teofilo-otoni-2880/>>. [Acessado 10 março 2020].
- Conceição, L.B., 2015. *Estudo da Tecnologia e Aplicação do Concreto Colorido em Habitações de Interesse Social*. Projeto de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Corsini, S., 2011. *Paleta de Cores*. Revista Técnica, 172. [online] Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/172/artigo286837-2.aspx>>. [Acessado 18 maio 2019].
- Ferraz, L.M.C., Valadão, C.R. e Henrique, J.R., 2016. *Geomorfologia do espaço urbano de Teófilo Otoni (MG): contribuições ao ordenamento territorial*. In: XI Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO).
- Garcia, E.M.B., Pereira, J.M., Lisboa, M.R.L., Moreira, G.F., Gomes, A.J.L. e Souza, I. P., 2017. *Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Teófilo Otoni*. Programa Teófilo Otoni Sustentável. Teófilo Otoni, Minas Gerais, MG.
- Gomes, A.J.L., Silva, J.M.P., Gomes, J.L.S. e Gomes, P.S., 2012. *Gradiente Geotérmico do Município de Teófilo Otoni no Vale do Mucuri*. Revista de Ciência e Tecnologia do Vale do Mucuri, 1, pp.1-13.
- Gomes, J.L.S., Gomes, A.J.L. e Gomes, P.S., 2014. *Planejamento ambiental com base na geologia e sua aplicação no desenvolvimento urbano do município de Teófilo Otoni*. In: XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades*. Teófilo Otoni. [online] Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. [Acessado 14 março 2020].
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 2020. *Índice pluviométricos*. [online] Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. [Acessado 18 março 2020].
- Parreira, H.M.T.B., 2016. *Remoção de Biotita em Areias de Brita Utilizando Separador Magnético de Alta Intensidade a Seco*. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Metalúrgica). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Passuelo, A., 2004. *Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pedroso, L.F., 2009. *Concreto: material construtivo mais consumido no mundo*. Revista do Instituto Brasileiro de Concreto. Concreto e construções (IBRACON). Ano XXXVII, 53.
- Piovesan, A., 2009. *Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromaticidade do concreto de cimento Portland branco*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ramos, J.O. e Gomes, A.J.L., 2016. *Estratégias para prevenção de riscos ambientais e geológicos nos espaços urbanos da cidade de Teófilo Otoni*. Revista Vozes dos Vales, V(9), pp.1-17.
- Sousa, M.G; Ramalho, F.J. e Oliveira, R.K., 2018. *Aplicabilidade do concreto colorido na construção civil, Trabalho de conclusão do curso de engenharia civil*. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.
- Sousa, M.G; Oliveira, R.K. e Gomes, A.J.L, 2019. *Aplicabilidade do Concreto Colorido na Cidade de Teófilo Otoni - MG*. In: II Semana da Engenharia do Campus do Mucuri: Engenharia e Futuro. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, MG.
- Sousa, M.G; Oliveira, R.K. e Gomes, A.J.L, 2019. *Concretos coloridos para uso na construção civil na cidade de Teófilo Otoni- MG*. Anais da VII SINTEGRA Semana da Integração Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG.
- Tutikian, B.F. e Helene, P., 2011. *Dosagem dos Concretos de Cimento Portland*. In: G.C. Isaia, ed. 2011. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. p.1-38. Rio de Janeiro: Ibracon. pp.415-452.
- Valença, J. V., 2017. *Concreto Colorido: Influência da Adição de Pigmentos e suas Aplicações*. Universidade Presbiteriana Mackenzie. In: XIII Jornada de Iniciação Científica e VII Mostra de Iniciação Tecnológica.