

ANÁLISE MECÂNICA DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÃO DE PIGMENTOS EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL DE CIMENTO PORTLAND BRANCO ESTRUTURAL

Lucas da Silva Barboza (Professor Doutor/UNASP) E-mail: lucas.barboza@unasp.edu.br
Taymara Holanda Sousa Ferreira (Engenheira Civil / UNASP) E-mail: taymara.holanda.th@gmail.com
Leticia Lafuente (Engenheira Civil / UNASP) E-mail: lelafu2013@gmail.com
Thaise Caroline Costa Alves (Engenheira Civil / UNASP) E-mail: thaise_karol@hotmail.com

Resumo: Os crescentes avanços tecnológicos proporcionam o desenvolvimento de novos materiais na área da construção civil, apresentando estes, características e comportamentos diferenciados. O concreto composto por cimento Portland branco com adição de pigmento é um exemplo disso, embora sua utilização seja mais destinada para fins arquitetônicos, poucos são os trabalhos que analisam o comportamento mecânico do mesmo. Partindo deste contexto, esta pesquisa tem por objetivo analisar a influência da adição de pigmentos nas propriedades mecânicas de concretos autoadensáveis de cimento Portland branco estrutural. Foram utilizados pigmentos a base de hidróxido e óxido de ferro em duas colorações, amarelo e vermelho, respectivamente. Para cada cor foram estudadas três porcentagens em relação à massa do cimento: 3%, 4% e 5%. Os corpos de provas foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias. Constatou-se que não só as diferentes porcentagens, mas também a cor utilizada pode influenciar na perda de resistência e de trabalhabilidade.

Palavras-chave: Concreto Autoadensável Colorido, Pigmentos, Óxido de Ferro, Hidróxido de Ferro.

MECHANICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF PIGMENTS ADDITION IN SELF-COMPACTING CONCRETE OF PORTLAND WHITE STRUCTURAL CEMENT

Abstract: The growing technological advances provide the development of new materials in the area of civil construction, presenting these, characteristics and different behaviors. Concrete composed of white Portland cement with addition of pigment is an example of this, although its use is already used for architectural and structural purposes, few published works that show the behavior of the same. From this context, this research aims to analyze the influence of the addition of pigments on the compressive strength of self-compacting concrete of white Portland cement. Pigments based on hydroxide and iron oxide are used in two colors, yellow and red, respectively. For each color three percentages were studied in relation to the cement mass: 3%, 4% and 5%. The test specimens were submitted to the tests of compressive strength and dynamic elastic modulus at the ages of 3, 7, 28 and 91 days. It was found that not only the different percentages, but also the color used can influence the loss of resistance and workability.

Keywords: Self-compacting colored concrete, pigments, Iron Oxide, Iron Hydroxide.

1. Introdução

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil. Com o crescente conhecimento sobre o comportamento mecânico do mesmo, obtido por meio de pesquisas acadêmicas, juntamente com o auxílio de softwares de dimensionamento

estrutural, possibilitou aos projetistas que desenvolvessem arquiteturas mais elaboradas e estruturas mais complexas, no qual, apesar de sua versatilidade, o concreto convencional não atenderia a todos os requisitos de projeto (BARBOZA, 2018). Diante disto, exigências relativas ao concreto não mais ficaram restritas ao comportamento mecânico, surgindo assim, novas demandas de desempenho para o concreto, visando não somente o fator estrutural, mas também o fator estético (KIRCHHEIM *et al.*, 2010).

Novas metodologias de dosagem foram destinadas ao concreto, bem como a utilização de novos componentes como aditivos, adições e minerais ultrafinos (pós-reativos), para que o mesmo pudesse atender as novas exigências do mercado, desenvolvendo novos tipos de concretos com características especiais e desempenhos elevados, sendo estas propriedades superiores quando comparadas ao concreto convencional (BARBOZA, 2018). Dentre esses novos tipos de concreto pode-se citar o concreto autoadensável, concreto de ultra-alta resistência, concreto com fibras, concreto branco, concreto colorido e outros.

Partindo deste contexto, o concreto branco, geralmente é empregado para fins arquitetônicos, valorizando a estética da estrutura, fazendo com que a mesma não seja apenas considerada um elemento estrutural (DELLINGHAUSEN, 2009). Embora sua principal finalidade seja para elementos arquitetônicos, o concreto branco estrutural apresenta valores superiores quando comparado às propriedades mecânicas do concreto convencional (HAMAD, 1995).

Com a adição de pigmentos e agregados coloridos o concreto branco torna-se concreto pigmentado, podendo ser produzidos em diversas cores. Passuelo (2004) afirmou que essa versatilidade de cores quando adicionado em cimento branco estrutural proporciona uma esfera de inovação para os profissionais da área, pois possibilita criações arquitetônicas elaboradas, aumentando a aceitação do concreto aparente como um elemento de composição estética, visto que, oferece uma proposta atraente e moderna.

Apesar de já ser utilizado mundialmente, principalmente no continente Europeu, o concreto branco ou pigmentado teve inicialmente no Brasil sua utilização restringida a confecção de pavimentos intertravados e peças pré-fabricadas sem função estrutural (KIRCHHEIM *et al.*, 2010). Só a partir do ano 2000 o emprego de concreto branco ou pigmentado como elemento estrutural passou a ser utilizado em grandes obras. Dentre as obras realizadas se destacam, a ponte de Brusque/SC, projetada pelo Engenheiro Osvaldemar Marquetti, construída com dois mil metros cúbicos de concreto branco e a embaixada Brasileira em Tóquio, projetada pelo Arquiteto Ruy Ohtake, e executada em parte com concreto amarelo (AGUIAR, 2006). O Museu Iberê Camargo, projetado pelo Arquiteto Alvaro Siza, construído em Porto Alegre/RS e inaugurado em 2008 também ganhou um toque especial, pois a utilização de inovações técnicas como o uso de concreto autoadensável branco proporcionou com que mesmo ainda em fase de projeto ganhasse prêmios internacionais, sendo um marco para a arquitetura brasileira (SILVA, 2007).

Entretanto Aguiar (2006) afirmou que, umas das consequências da adição de pigmentos ao concreto branco, é que este tende a causar uma interferência significativa nas propriedades mecânicas do concreto.

Embora não existam muitos estudos sobre este assunto, a utilização de outros tipos de concretos especiais como o concreto autoadensável pode ser uma solução para minimizar este problema, pois o mesmo oferece um ganho considerável de resistência à compressão axial quando comparado ao concreto convencional (SILVA, 2000).

Outra vantagem de se combinar o concreto pigmentado ao concreto autoadensável é que este apresenta características únicas, podendo se adequar nas fôrmas, dispensando a necessidade de vibração ou qualquer outro tipo de compactação, sendo indicado principalmente para obras que apresentam muitas curvaturas e grande taxa de armadura, oferecendo assim um melhor acabamento na peça (NEVILLE; BROOKS, 2013). De acordo com Tutikian (2004) a utilização do concreto autoadensável oferece vantagens como a diminuição do custo de mão-de-obra, o aumento da qualidade e da durabilidade da estrutura.

Piovesam (2009) destacou a importância do conhecimento da resistência mecânica e da durabilidade do concreto, pois além de possibilitar a inserção deste material no mercado com maior confiabilidade de aplicação, a falta de tais conhecimentos pode ocasionar o surgimento de manifestações patológicas, resultantes de falhas ao longo do seu processo produtivo.

A presente pesquisa tem como objetivo analisar a resistência à compressão do concreto autoadensável com cimento Portland branco com diferentes teores de adição de pigmentação, assim como suas propriedades no estado fresco.

2. Materiais e Programa experimental

O procedimento e os métodos para a realização dos concretos foram obtidos por meio do Método de Gomes (2002). Este método consiste em analisar o concreto em três fases, sendo elas a determinação da pasta, a determinação do esqueleto granular, e por fim a determinação do Concreto Autoadensável (CAA).

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário Adventista de São Paulo - UNASP-EC.

2.1 Caracterização dos materiais

Optou-se pela utilização de um cimento Portland Branco Estrutural CPB40, fabricado pela CEMEX®. Neville e Brooks (2013) afirmaram que para obtenção de melhores resultados referente a cor deve-se utilizar cimento Portland branco.

Os procedimentos de ensaios para a determinação da massa específica do cimento foram realizados de acordo com ABNT NBR 16605:2017, que resultou em 2,90 g/cm³.

Optou-se também pela utilização do fíler calcário de coloração branca, que de acordo com o fabricante possui uma densidade aparente de 1 a 12 g/cm³ e um diâmetro médio 45 µm, com uma massa específica variando entre 2,55 a 2,75 g/cm³ (BRASILMINAS, 2018). Foram utilizados sílica ativa Silmix® com massa específica de 2,2 g/cm³ fabricada pela empresa Tecnosil® e o aditivo da marca Adiment Super MC® fabricado pela empresa VEDACIT®.

Para a obtenção da tonalidade do concreto utilizou-se pigmentos inorgânicos em pó Xadrez® nas cores amarelo e vermelho do fabricante Lanxess®, sendo o pigmento amarelo substância a base de hidróxido de ferro, com pH de 4,0 – 8,0 em suspensão aquosa (5g/50ml água) e uma densidade aproximadamente de 4,0 g/cm³ (LANXESS, 2007). Já o pigmento vermelho possui substância a base de óxido de ferro, com um pH de 2,5 – 8,0 em suspensão aquosa (5g/50 ml água) e uma densidade de 4,5 g/cm³ (LANXESS, 2008).

Os procedimentos para a determinação do módulo de finura, granulometria e dimensão máxima características dos agregados graúdos e miúdos, foram realizados de acordo

com a ABNT NBR NM 248:2003. Por meio dos ensaios obteve-se para o agregado miúdo um módulo de finura de 1,55, e a dimensão máxima característica de 0,6 mm. O agregado graúdo apresentou classificação do módulo de finura de 5,82, e dimensão máxima característica de 9,5 mm, podendo assim ser classificada como brita 0.

2.2 Dosagem dos concretos

A determinação da dosagem do Concreto de Referência (CR) atende aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655:2015. A dosagem do CR com relação aos concretos pigmentados apresentaram proporções e consumos de materiais iguais, variando apenas a adição de pigmento com relação ao consumo de cimento, no qual valores da relação água/cimento (A/C), Sílica Ativa/Cimento (SA/C), Superplastificante/Cimento (SP/C) e Fíler/Cimento (F/C) foram estabelecidos com base nos estudos desenvolvidos por Barboza (2018).

Optou-se pela adição de pigmento em três porcentagens, sendo elas de 3%, 4% e 5%. A escolha dessas porcentagens se deu mediante estudos de outros autores como Rojas (2003) que recomenda que a adição máxima de pigmentação não ultrapasse 5% do consumo de cimento. Vale ressaltar que porcentagens são adicionadas em relação ao consumo de cimento e não para substituição do mesmo.

2.3 Concreto no estado fresco

Após a elaboração das dosagens, foram realizados ensaios para a verificação do concreto no estado fresco, conforme Figura 1, sendo eles: *Slump-Flow test*, Funil V e Caixa L, de acordo com os parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 15823:2017.

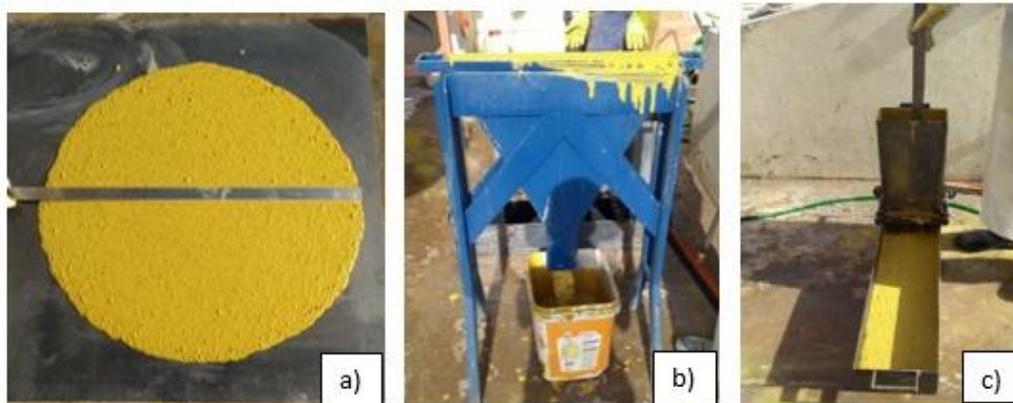


Figura 1 - Ensaio do concreto no estado fresco – (a) *Slump-Flow test*, (b) Funil V e (c) Caixa L.

2.4 Concreto no estado endurecido

Foram moldados Corpos de Prova (CP) com dimensão de 10 x 20 cm, sendo realizados para quatro diferentes idades de 3, 7, 28 e 91 dias e moldados 3 CP's para cada idade, variando apenas a porcentagem de adição de pigmentação, totalizando assim em 84 corpos de prova. A Figura 2 apresenta a variação da adição de pigmento que se deu em 3 diferentes porcentagens. O procedimento de cura seguiu de acordo com os parâmetros estabelecido na ABNT NBR 5738:2015.



Figura 2 - Corpos de prova com diferentes porcentagens de pigmentação.

2.4.1 Resistência à compressão axial

Para a realização do ensaio de resistência à compressão utilizou-se uma prensa servo-hidráulica Classe I com capacidade de 1000 kN, conforme apresentado na Figura 3. Os ensaios de compressão foram realizados de acordo com as especificações da norma ABNT NBR 5739:2018, com uma velocidade ininterrupta equivalente a 0,5 MPa/s.

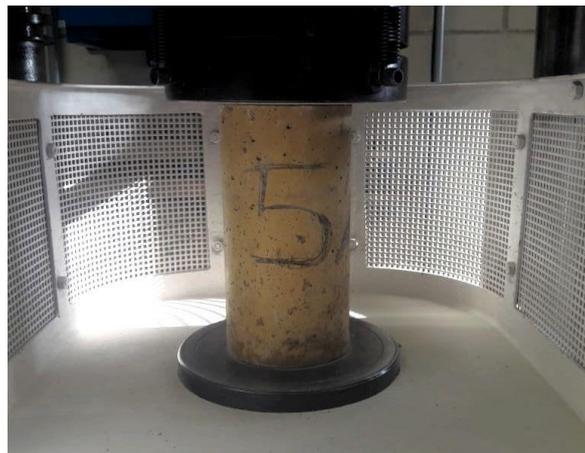


Figura 3 - Ensaio de resistência à compressão

2.4.2 Módulo de elasticidade dinâmico

Para a realização deste ensaio foram necessários 14 CP's por idade, optou-se pela realização do ensaio de módulo de elasticidade dinâmica não destrutivo por meio da técnica de propagação de ondas, apresentado na Figura 4, obtidos por meio do equipamento de solução Sonelastic® conforme descrita na ASTM E1876:2009.

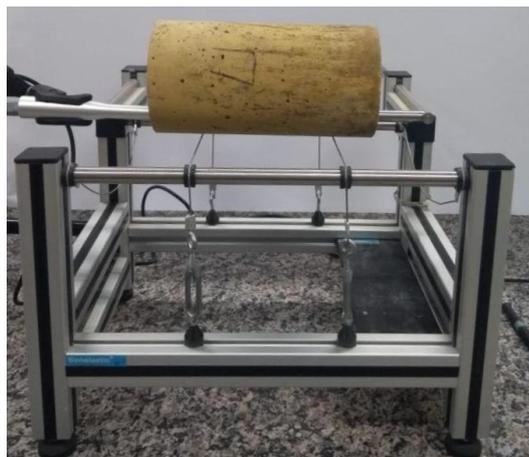


Figura 4 - Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico

3 Resultados e análise dos resultados

Conforme citado na seção 1, o presente trabalho tem como objetivo verificar as características mecânicas do concreto juntamente com os efeitos provocados pela variação do pigmento com diferentes porcentagens, analisando assim os efeitos que o mesmo poderá influenciar nas propriedades do CAA no estado fresco e endurecido.

3.1 Dosagem dos concretos

De acordo com a seção 2.2 a dosagem foi definida por meio do método de Gomes (2002), obtendo assim as proporções de dosagem do CAA demonstrado na Tabela 1. Vale ressaltar que a adição de pigmento está em função do consumo de cimento. Para a determinação do consumo dos materiais para 1 m³ de concreto foi utilizado como referência a pesquisa desenvolvida por Barboza (2018).

Houve a necessidade do ajuste na quantidade de superplastificante para cada tipo de concreto, observa-se na Tabela 1, os concretos que sofreram mais alteração na adição de superplastificante foram os concretos com adição de pigmentação amarela. Coelho (2001 apud Piovesan 2009) afirmou que a incorporação de pigmentos no concreto resulta em uma redução da trabalhabilidade, e que isso se deve ao tamanho das partículas dos pigmentos (<1µm) e também por sua forma acicular. Com o aumento do teor dos pigmentos aumenta-se também a demanda de água ou o emprego de um aditivo superplastificante (PIOVESAN, 2009). Manuel (2005) afirmou que por meio de observação visual e dos resultados dos ensaios no estado fresco do concreto é possível avaliar se haverá segregação no concreto, caso seja confirmada, a dosagem deverá ser corrigida para melhorar essas propriedades.

Tabela 1 - Consumo de materiais para as dosagens obtidas em kg/m³.

Material	CR	¹ CAM			² CVM		
		3%	4%	5%	3%	4%	5%
Cimento	434,00	434,00	434,00	434,00	434,00	434,00	434,00
Agregado Miúdo	825,04	825,04	825,04	825,04	825,04	825,04	825,04
Agregado Graúdo	825,04	825,04	825,04	825,04	825,04	825,04	825,04
Sílica Ativa	43,40	43,40	43,40	43,40	43,40	43,40	43,40
Fíler calcário	173,60	173,60	173,60	173,60	173,60	173,60	173,60

Superplastificante	15,32	17,64	18,21	19,53	17,11	17,98	18,56
Pigmentação	-	13,02	17,36	21,70	13,02	17,36	21,70
Água	173,60	173,60	173,60	173,60	173,60	173,60	173,60

¹Concreto Autoadensável com Pigmentação Amarelo

²Concreto Autoadensável com Pigmentação Vermelho

3.2 Concreto no estado fresco

São apresentados na Tabela 2 os resultados obtidos por meio dos ensaios de *Slump-Flow test*, caixa L e funil V, para a determinação das características do CR, CAM3%, CAM4%, CAM5%, CVM3%, CVM4% e CVM5% no estado fresco.

Tabela 2 - Caracterização do CAA no estado fresco

Concretos	<i>Slump-flow test</i> , df (mm)	T 500 (s)	Caixa L, (h2/h1)	Caixa L, t20 (s)	Caixa L, t40 (s)	Funil V, t _v (s)
Limites ^a	SF1, SF2 e SF3 ^b	> 2 s	≥0,80	---	---	VF1 e VF2 ^c
CR	710	7''29	1,053	3''48	10''20	12''35
CAM 3%	775	3''01	0,974	1''71	4''66	7''10
CAM 4%	780	4''55	1,027	2''14	4''70	10''51
CAM 5%	805	3''04	1,027	2''12	4''25	7''74
CVM 3%	720	6''90	0,933	4''12	10''85	14''41
CVM 4%	722,5	5''84	1,031	3''48	10''18	12''71
CVM 5%	725	5''61	1,013	2''	5''45	8''78

^a Valores retidos da NBR 15823:2017;

^b SF1 limites entre 550 ≤df≤ 650; SF2 limites entre 660 ≤df≤ 750; SF3 limites entre 760 ≤df≤ 850;

^c VF1 tv < 9s; VF2 9 ≤tv≤ 25

Observa-se que há diferença de fluidez entre as colorações e porcentagens de adição de pigmento. Segundo os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 15823:2017, os concreto com pigmento vermelho se enquadram na classe SF2, com limites entre 660 – 750, podendo ser utilizado para a maioria das aplicações correntes. Já o amarelo, por ter atingido uma fluidez superior devido ao maior uso de aditivo superplastificante, pode ser classificado como SF3, com limites entre 760 - 850, podendo assim ser aplicado em estruturas com alta densidade de armadura (ANGELIN; CECCHÉ; BARBOSA, 2018). O CR apresentou menor fluidez que os demais devido ao menor uso do aditivo, podendo ser classificado como SF2.

Com relação aos resultados do ensaio de Funil “V” os concretos CAM 3%, CAM 5% e CVM 5% apresentaram valores abaixo de 9 segundos, sendo classificados como VF1, sendo os mesmos indicados para utilização em pilar-parede e indústria de pré-moldados (BARBOSA, 2017). Para esse tipo de concreto de acordo com Melo (2017) há uma necessidade de maior controle quanto à segregação e a exsudação do mesmo. Os concretos CAM 4%, CVM3% e CVM4% apresentaram valores acima de 9 segundos, sendo classificados como podendo ser empregados na maioria das aplicações corriqueiras da construção civil, sendo elas, vigas, pilares e outros (BARBOSA, 2017). Esse tipo de concreto apresenta uma tixotropia, sendo este um comportamento que apresenta menos pressão nas fôrmas e melhor resistência à segregação (GIAMMUSSO, 1989). O CR indicou maior viscosidade que os concretos da cor amarela devido a sua

menor adição de superplastificante.

As medidas obtidas no ensaio de caixa “L” caracterizam os concretos como sendo classe PL1 ($\geq 0,80$) em equipamento com 3 barras de aço, sendo seu uso indicado para elementos estruturais com espaçamentos entre as armaduras de 80 a 100 mm, com aplicação em painéis, vigas, pilares, tirantes, entre outros elementos pré-moldados. (ANGELIN; CECICHE; BARBOSA, 2018).

3.3 Concreto no estado endurecido

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmica serão apresentados nas seções a seguir.

3.3.1 Ensaio de resistência à compressão axial

Os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão estão descritos na Tabela 3 e Figura 6.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial média

CP	IDADES (Dias)	CR	CAM 3%	CAM 4%	CAM 5%	CVM 3%	CVM 4%	CVM 5%
Média (MPa)	3	43,01	40,77	39,97	35,91	42,9	42,42	41,28
	7	66,52	58,69	56,64	55,1	61,74	58,41	53,74
	28	82,79	77,98	75,92	75,02	80,84	79,06	78,35
	91	98,58	90,01	87,90	85,89	92,34	90,19	89,09
Desvio Padrão (MPa)	3	1,06	0,69	2,69	2,58	5,02	1,06	3,94
	7	3,08	6,24	1,02	0,73	11,40	12,00	8,27
	28	2,52	11,77	17,45	6,16	2,05	7,86	8,70
	91	4,12	6,01	12,01	6,28	6,27	12,25	3,91
CV (%)	3	2,46	1,68	6,60	7,18	9,58	2,01	10,66
	7	4,64	11,75	1,76	1,22	19,81	18,63	16,66
	28	3,11	15,50	24,27	8,96	2,53	10,37	11,84
	91	3,94	6,68	14,80	8,32	6,79	13,59	4,77

Observa-se que quanto maior a porcentagem de adição de pigmentação menor será a resistência à compressão, sendo os concretos que apresentaram menor perda de resistência foram os CVM, isso ocorre devido a sua densidade ser maior que a do pigmento amarelo. De acordo com Vieira e Molin (2011) quanto maior a densidade do material, maior será a resistência do mesmo, o que ajuda no ganho de resistência final do concreto.

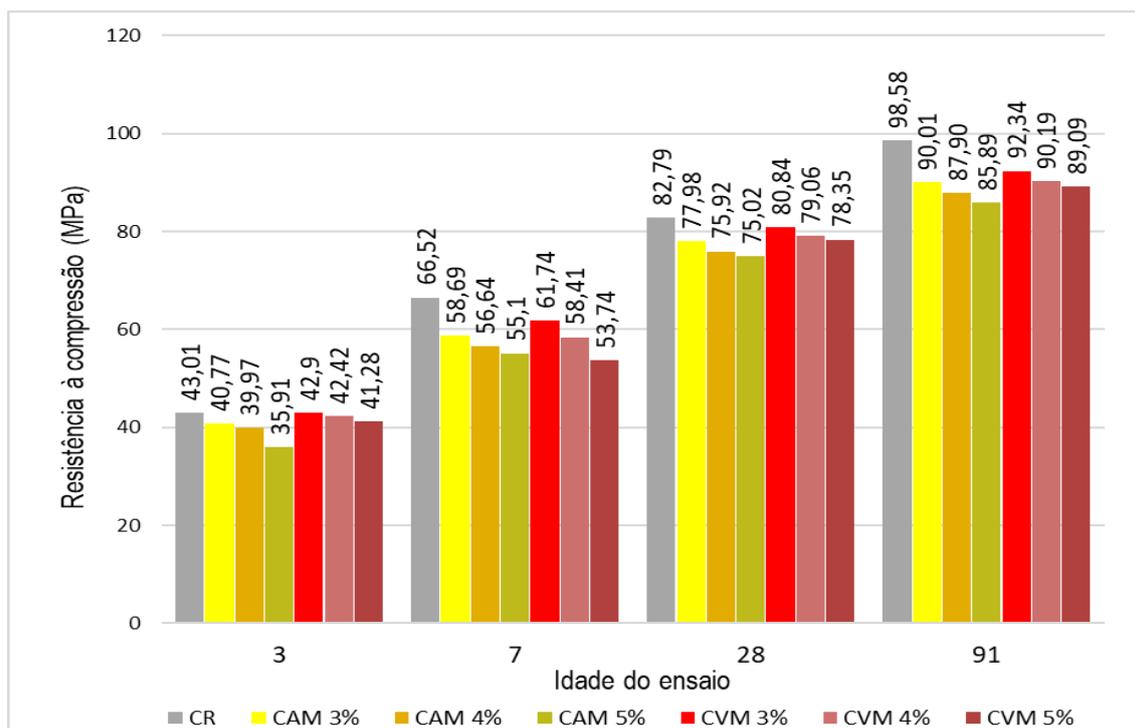


Figura 6 - Resistência à compressão axial média de acordo com a idade do ensaio

Segundo Piovesan (2009) quanto maior for o acréscimo de porcentagem de pigmentação maior será a absorção de água, havendo a necessidade do aumento da relação água/cimento. Optou-se então pela utilização do superplastificante, conforme citado no item 2.2, o que reduziu o consumo de água. Vale ressaltar que quanto maior for a adição da porcentagem de pigmento, maior será o consumo de superplastificante, porém para os concretos que necessitam de maior consumo de superplastificante ocorre a necessidade de maior controle referente ao consumo dosagem, para que não haja enrijecimento prematuro da mistura ou segregação (NAKAMURA, 2009).

Os pigmentos inorgânicos apresentam características inertes e possuem uma forma acicular e irregular, o que de acordo com Gomes (2018) pode ocasionar um maior volume de vazios, pois os componentes do concreto que apresentam formas irregulares não possuem um empacotamento adequando com o concreto, ocasionando assim a diminuição da resistência à compressão.

3.3.2 Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico

Os resultados obtidos por meio do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico são apresentados na Tabela 4 e na Figura 7.

Observa-se que as perdas do módulo de elasticidade dinâmico foram proporcionais em relação à porcentagem da adição de pigmento no concreto. De acordo com Neto e Helene (2002) há vários fatores que podem causar a perda do módulo de elasticidade, sendo esses a relação entre o tipo de agregado, dimensão dos corpos de prova, temperatura, adição de finos na dosagem entre outros. O fato da relação direta entre o módulo de elasticidade e a resistência provém de que ambos são influenciados pela porosidade das fases constituintes, porém vale ressaltar que isto acontece em graus diferentes entre eles (SANTOS *et al.*, 2013).

Tabela 4 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico médio.

CP	IDADES (Dias)	CR	CAM 3%	CAM 4%	CAM 5%	CVM 3%	CVM 4%	CVM 5%
Média (GPa)	3	44,85	43,30	42,71	42,45	44,53	44,42	44,28
	7	48,98	47,80	47,69	46,60	48,54	48,44	47,46
	28	51,06	49,78	48,56	48,52	51,09	50,94	50,34
	91	52,55	51,18	50,99	50,77	51,95	51,74	51,24
Desvio Padrão (GPa)	3	0,08	0,98	0,10	0,92	0,38	1,05	1,27
	7	0,65	2,25	0,41	0,38	0,15	0,04	1,52
	28	0,06	2,86	0,90	0,02	0,24	0,57	0,40
	91	0,54	0,47	0,31	0,01	0,15	1,10	0,22
CV (%)	3	0,19	2,24	0,23	2,19	0,82	2,30	3,08
	7	0,61	4,99	0,90	0,83	0,31	0,09	3,42
	28	0,11	5,75	1,87	0,04	0,48	1,11	0,80
	91	1,02	0,97	0,65	0,02	0,29	2,18	0,43

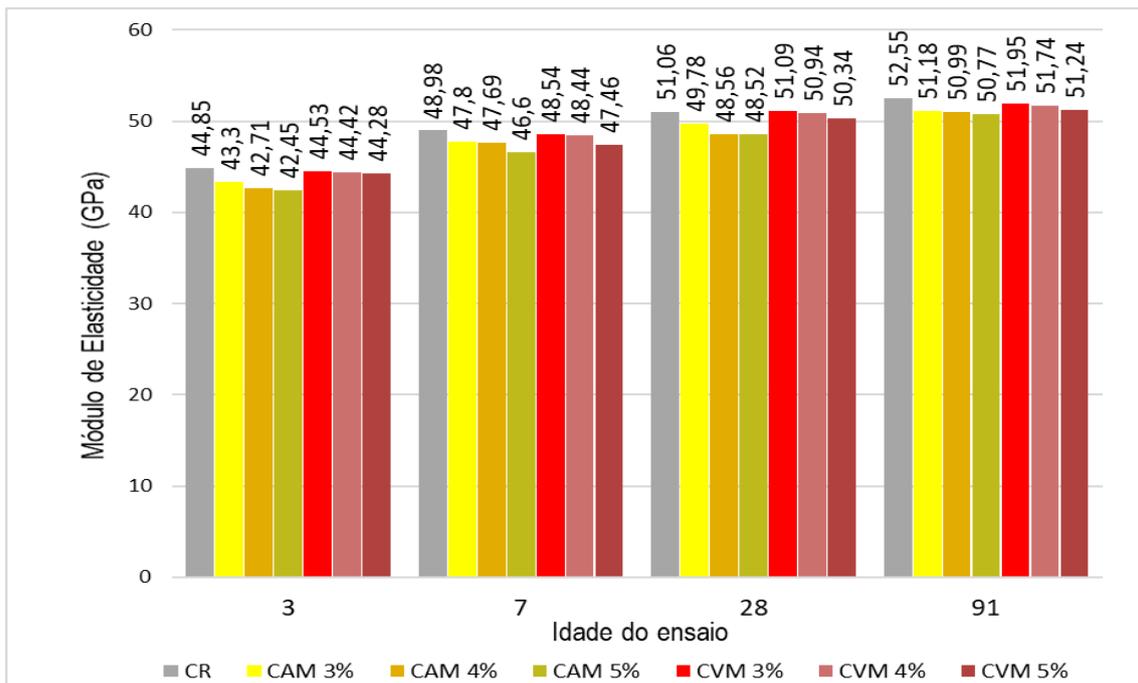


Figura 7 - Resultados do módulo de elasticidade dinâmico de acordo com a idade de ensaio

De acordo com Amaral Filho (1998), o principal fator que causa a diminuição do módulo de elasticidade é o tipo de agregado utilizado na produção do concreto. Nota-se que mesmo havendo uma queda no módulo de elasticidade, pode-se afirmar que essa perda foi pequena em relação ao concreto de referência, pois as proporções de dosagens se mantiveram iguais para todos os concretos fabricados, variando apenas a porcentagem de pigmento em relação ao cimento e o consumo de superplastificante.

Segundo Popovics (2005), outro fator que pode alterar na perda do módulo de

elasticidade é que o mesmo tende a ser proporcional a resistência à compressão, ou seja, quanto maior a resistência à compressão maior será o valor do módulo de elasticidade e quanto menor a resistência à compressão menor será o valor do módulo de elasticidade.

4 Conclusão

Com o objetivo de avaliar a influência da adição de pigmentos nas propriedades do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido, foram utilizados neste projeto pigmentos a base de hidróxido de ferro para a cor amarela e óxido de ferro para a cor vermelha, em três teores 3%, 4% e 5%, sendo estes em relação ao volume de cimento. Os resultados obtidos por meio dos ensaios de compressão e módulo de elasticidade foram analisados estatisticamente em comparação ao concreto branco de referência, com traço do CAA obtido por meio do método de Gomes (2002).

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa pode-se constatar que a adição de pigmento influenciou na perda de resistência à compressão, principalmente nos concretos de pigmento amarelo. Uma das explicações é devido a densidade do pigmento ser menor em relação à cor vermelha, proporcionando uma menor resistência do material, influenciando assim na resistência final do concreto. Outro ponto importante é à forma acicular e irregular que o pigmento possui, ocasionando um maior volume de vazios, o que gera um menor resistência ao concreto.

O módulo de elasticidade também sofreu alterações devido à adição de pigmento. Essa diminuição está relacionada a quantidade de finos na mistura, pois quanto maior a quantidade de finos, menor será o valor do módulo de elasticidade (MAGALHÃES, 2010). Porém a diminuição do módulo de elasticidade não é significativa em relação ao concreto de referência, pois as proporções de dosagem se mantiveram iguais para todos os concretos fabricados.

Ainda que não haja uma norma regulamentadora brasileira destinada aos concretos coloridos, pode-se utilizar como parâmetro as normas internacionais ASTM C 979-05 e a norma BS EN 12878:2005. Mesmo havendo uma queda na resistência à compressão, o concreto pigmentado atende os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas estrangeiras, os mesmos recomendam que o concreto aos 28 dias atinja no mínimo 90% da resistência quando comparado ao concreto de referência, sendo assim todos os concretos com adição de pigmentação apresentaram resultados satisfatórios, sendo que o concreto com adição de pigmento vermelho apresentou melhor desempenho, atingindo valores acima de 94% com relação ao concreto de referência.

Um ponto importante quanto à variação das porcentagens é que visualmente não há uma diferença na intensidade da cor entre os concretos de 3%, 4% e 5%, isso se dá devido ao ponto de saturação, quando a alteração na tonalidade é praticamente nula. Sendo assim, é indicado uma menor porcentagem, para evitar grandes perdas de resistência à compressão ou de módulo de elasticidade. Vale ressaltar que além de agregar valor estético à estrutura os pigmentos inorgânicos apresentam grandes resistências a agentes agressivos e à luz, fazendo com que sua cor perdure por mais tempo (COELHO, 2001).

Referências

AGUIAR, C. A. Concreto cimento Portland branco estrutural: análise da adição de pigmentos quanto à resistência à compressão. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1876 - 09**: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration.

West Conshohocken, 2009.

AMARAL FILHO, E. M. Concreto de Alto Desempenho, Definições e Características Técnicas. In: Revista Ibracon, 21, ano VI. São Paulo abril / julho 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 979 - 05** Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete. Pennsylvania, 2005.

ANGELIN, A. F.; LINTZ, R. C. C.; BARBOSA, L. A. G. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete modified with lightweight and recycled aggregates. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, [s.l.], v. 11, n. 1, p.76-94, fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605:2017**: Cimento portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro: 2017.

_____. **NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: 2015.

_____. **NBR 5739**: Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 2018.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: 2015.

_____. **NBR 15823**: Concreto autoadensável. Rio de Janeiro: 2017.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: 2003.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: 2009.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: 2009.

BRASIL MINAS (2018). Pó de Calcário (Ficha técnica do produto). Disponível em: <http://www.brasilminas.net/produtos_item.php?id=calc%C3%A1rio>. Acesso em: 10 maio.2019.

BARBOSA, M. P. Desenvolvimento normativo do concreto autoadensável - a NBR 15823 revisada. In: IBRACON 58º Congresso Brasileiro do Concreto (2017).

BARBOZA, L. S. Estudo sobre redução do consumo de cimento e emissão de co2 para concreto de alto desempenho. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Estrutura e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 12878**: Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime. Specifications and methods of test. London, 2005

COELHO, F. C. A. Variación del color y textura de hormigones vistos con adcion de pigmentos inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental. Tese (Doutorado em Ingeniero de Caminos Canales y Puertos). Universidad Politécnica de Madrid, U. P. MADRID. Espanha. 2001.

DELLINGHAUSEN, L. M. Retração total de cloretos em concretos com cimento portland branco e escória de alto forno. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Preservação Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

GIAMMUSSO, S. E. Reologia do Concreto (2ª Parte). Revista A Construção Região Sul, São Paulo, n. 244, p. 27-30, fev. 1989.

GOMES, P. C. C. Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete. Barcelona, 2002. 150f. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2002.

GOMES, J. R. F. Estudo da dosagem do concreto colorido de alto desempenho no estado do Ceará. In: XIII Encontro de pesquisadores da Unichristus. Ceará, 2018.

HAMAD, B. S. Investigations of chemical and physical properties of white cement concrete. Elsevier Science Inc. Nova York: Elsevier Science Inc., p. 161-167, 1995.

HELENE, P. R.; NETO, A. Módulo de Elasticidade: Dosagem e Avaliação de Modelos de Previsão do Módulo de Elasticidade do Concreto. In: IBRACON 44º Congresso Brasileiro do Concreto (2002).

IRCHHEIM, A. P.; PASSUELO, A.; DAL MOLIN, D. D. D.; SILVA FILHO, L. C. P. In: IBRACON. Concreto Branco: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRANCON, 2010. Cap.46.

LANXESS (2007). Pigmentação química inorgânica amarela (Ficha técnica do produto). Disponível em: < <http://tbr.ind.br/wp-content/uploads/2014/07/FISPQ-XADREZ-AMARELO.pdf>>. Acesso em: 13 maio.2019.

LANXESS (2008). Pigmentação química inorgânica vermelha (Ficha técnica do produto). Disponível em: < <http://tbr.ind.br/wp-content/uploads/2014/07/FISPQ-XADREZ-VERMELHO.pdf>>. Acesso em: 13 maio.2019.

MAGALHÃES, A.G.; CALIXTO, J.M.; PAULINO T.M.; VASCONCELOS, L.W. Módulo de deformação do concreto: ensaio estático versus dinâmico. In: 52º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Anais, 2010.

MANUEL, P. J. M. Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concreto autoadensáveis. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação na Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MELO, C. E. S. Verificação e análise da conformidade do concreto autoadensável destinado a edificações construídas pelo sistema de paredes moldadas no local. Dissertação (Mestrado). -Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 2017.

NAKAMURA, J. Aditivos e Adições. Revista Téchn. n. 150. 2009

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 409p.

PASSUELO, A. Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco. 176 f. Dissertação (Pós-Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

PIOVESAN, A. 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.

POPOVICS, S. Effects of uneven moisture Distribution on the Strength of and Wave Velocity in Concrete. Ultrasonics, 2005, v. 43. p. 429-434.

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

SANTOS, A. M.; CABRAL, L. M. C.; MONTEIRO, E. B.; HELENE, P. R. L. Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico para diferentes dosagens de concreto. In: IBRACON 55º Congresso Brasileiro do Concreto CBC (2013).

SILVA, I. J. Contribuição ao estudo dos concretos de elevado desempenho: propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura. Tese de doutorado, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade de São Paulo, São Carlos, 279p, 2000.

SILVA, P. Z. D. C. A dimensão pública da arquitetura em museus: uma análise de projetos contemporâneos. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

TUTIKIAN, B. F. Método para dosagem de concretos autoadensáveis. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2004.

VIEIRA, G. L.; MOLIN D. C. C. D. Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos, quando aplicado um pré-carregamento de compressão. Dissertação (Mestrado) - Universidade federal do Espírito Santo, 2011.