Técnica para Redução de CO_2 na Fabricação do Concreto



Revista Eletrônica Multidisciplinar
FACEAR
ISSN: 2316-2317

Erick Tarcisio De Conto[1]; Felipe de Oliveira Manchur[1]; Guilherme Demiciano Neto[1]
Profª. MSc Patricia Ribeiro da Silva Brandão[2]

[1] *Faculdade Educacional Araucária*
[2] *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

RESUMO

A partir da ideia de desenvolvimento sustentável, tem-se a informação de que o setor da construção civil gera um grande impacto ambiental com a utilização de materiais como o aço e o cimento, que se encontram em primeiro e segundo lugar, respectivamente, entre os maiores emissores de CO_2 (Dióxido de Carbono). Sabendo-se que o concreto é o segundo material mais utilizado no mundo, atrás apenas da H_2O (água), e que sua composição tem como principal matéria prima o cimento, este trabalho tem como objetivo apresentar técnicas para a redução do cimento na fabricação do concreto, através da substituição do mesmo por adições minerais, reduzindo assim a quantidade de CO_2 emitido. Estas técnicas serão realizadas em laboratório por meio de corpos de prova e os resultados serão apresentados em kg/MPa e em Kg para a emissão de CO_2. As adições minerais além de proporcionarem a redução do CO_2 possibilitam também outros benefícios ao concreto, como o aumento da resistência a compressão, diminuição das seções estruturais, entre outros. Será realizada a substituição de 10% do cimento por adições minerais como: metacaulim, sílica da casca de arroz e microssilica. Para os concretos estudados, através da Curva de Abrams, com a relação água/cimento, foi avaliada a propriedade do concreto endurecido (resistência a compressão axial) buscando chegar ao traço desejado do concreto com relação ao consumo de aglomerante.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Redução de CO_2. Concreto. Adições Minerais.

ABSTRACT

From the idea of sustainable development, has information that the construction sector generates a large environmental impact through the use of materials such as steel and cement, which are in first and second place, respectively, among largest emitters of CO_2 (Carbon Dioxide). Knowing that concrete is the second most used material in the world , behind only the H_2O (water), and its composition has as main raw material cement, this paper aims to present techniques for reducing the cement to create concrete by replacing it by mineral additions, thus reducing the amount of CO_2 emitted.These techniques will be made in the laboratory by means of test and results will be presented in kg /MPa and in kg for CO_2 emissions. The replacement of 10% of cement by mineral additions will be performed as metakaolin, silica rice husk and microsilica. For the concrete studied by Abrams curve, with the water/cement ratio was evaluated ownership of hardened concrete (resistance to axial compression) seeking to achieve the desired trait of concrete with respect to consumption of binder.

Key Words: Sustainable Development. CO_2 reduction. Concrete. Mineral additions.

Técnica para Redução de CO_2 na Fabricação do Concreto

1. INTRODUÇÃO

A evolução de tecnologias de produtos e o crescimento da população promovem várias mudanças ambientais a nível mundial, a ideia de desenvolvimento sustentável foi uma tese que surgiu com intuito de reversão deste quadro, principalmente na indústria da construção. Para acompanhar essa evolução a Construção Civil cresce nas instalações de indústrias, casas e obras públicas. Na construção existem vários produtos relacionados, porém um deles possui impacto preocupante junto ao meio ambiente: o concreto. Ele proporciona uma grande emissão de CO_2 (Dióxido de Carbono), que impacta diretamente no Aquecimento Global, que tem em sua composição um material que é o segundo maior emissor de CO_2 na atmosfera: o cimento.

Os fatores macroeconômicos e incentivos governamentais possibilitaram o crescimento da construção civil registrado nos últimos anos, que foi particularmente positivo para as concreteiras. Entre 2005 e 2012, enquanto o consumo de cimento avançou mais de 80%, o aumento do concreto preparado em centrais foi de 180%. Estima-se que as concreteiras tenham produzido 51 milhões de m^3 no ano de 2012. Esta é uma das conclusões de pesquisa realizada em parceria pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), e a inteligência UBM Brazil para traçar um perfil e projetar tendências para o setor (ABCP, 2013).

O objetivo principal deste trabalho é reduzir a quantidade de cimento por metro cúbico de um concreto padrão substituindo-o por adições minerais, o que impacta em redução de emissão de CO_2 oriundo da fabricação do cimento. E como objetivo especifico, a comparação do desempenho das adições minerais, que são a microssílica, o metacaulim e a sílica da casca de arroz, com a substituição de 10% do cimento na composição do concreto.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. CONCRETO

Segundo Pires, Lopes e Lacerda (2010), entre os materiais estruturais o concreto é o mais utilizado no mundo, seu consumo anual é de uma tonelada por habitante e perde somente para a água entre os materiais utilizados.

Os tipos de fissuras que acontecem no concreto armado são resultado de diferentes mecanismos e podem e manifestam-se antes ou depois do endurecimento. O período anterior ao endurecimento é aquele em que ainda é possível remoldar o concreto, mesmo em um período posterior ao lançamento (antes do início da pega). As fissuras no concreto fresco (não endurecido) podem ser através de: assentamentos

diferenciais dentro da massa do concreto, assentamento plástico (de retração da superfície causada pela rápida evaporação da água), decantação superficial ou ainda pela movimentação das formas (DAL MOLIN, 1988).

Para suprir as deficiências do concreto, existem várias alternativas. A baixa resistência à tração pode ser controlada com o uso de armadura adequada, em geral constituída de barras de aço, obtendo-se o concreto armado. Além de resistência à tração, o aço garante ductilidade e também proporciona um aumento na resistência à compressão, em relação ao concreto simples (PINHEIRO, 2004).

Segundo Valverde (2001), considerado como produto básico da indústria da construção civil, o concreto de cimento portland utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos. Como se pode observar, cerca de 70% do concreto é constituído de agregados.

2.1.1. Dosagem

Segundo Helene e Terzian (1992), o estudo da dosagem dos concretos teve uma de seus maiores contribuições quando foi publicado, em 1918, por Duff A. Abrams, do estudo de inúmeros traços e análise de mais de 50.000 corpos-de-prova enunciando e seguinte lei: “Dentro do campo dos concretos plásticos, a resistência aos esforços mecânicos, bem como as demais propriedades do concreto endurecido variam na relação inversa da relação A/C (água/cimento)”.

Para produzir uma determinada resistência média, a relação água/cimento é melhor determinada a partir de relações previamente estabelecidas para misturas produzidas com componentes similares ou pela realização de ensaios utilizando misturas experimentais com materiais que serão utilizados em obra, incluindo aditivos. É importante que a relação água cimento selecionada com base na resistência seja adequada também para as exigências de durabilidade e deve ser estabelecida antes do início da realização do projeto estrutural podendo obter vantagens no projeto pelo uso de um concreto de maior resistência (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo Assunção (2002), com relação aos esforços mecânicos, normalmente utiliza-se como referência a resistência à compressão axial. A expressão analítica que correlaciona a resistência à compressão à relação água/cimento mais utilizada é a proposta por Duff Abrams, que estabelece a resistência à compressão com a relação água/cimento, quanto maior essa relação menor será a resistência, e vice versa.

2.1.2. Materiais Constituintes do Concreto

2.1.2.1. Microssílica (Sílica Ativa)

Segundo Alves, Campos e Netto (1994), a Sílica Ativa que agora é conhecida como Microssílica é uma adição que melhora as propriedades do concreto tanto no estado fresco como endurecido e também é um material pozolânico. Ela é um subproduto da indústria de ligas ferrosas que consiste de partículas extremamente pequenas de sílica amorfa (SiO_2), de forma esférica e diâmetro médio da ordem de 0,1 µm a 0,2 µm , do que resulta uma enorme superfície específica (2.000m²/kg). A microssílica era considerada um material de refugo, mas tem-se descoberto que a microssílica apresenta propriedades favoráveis no emprego em diferentes aplicações, inclusive ao concreto.

Segundo Vieira et. al. (2007), as reações pozolânicas da microssílica com o $Ca(OH)_2$ são rápidas e pouco variáveis, o que possibilita períodos de cura mais curtos para atingir as resistências e estrutura de poros desejada. Este mesmo comportamento não ocorre com as pozolanas naturais, escórias e cinzas volantes. A adição de microssílica no concreto não reduz a porosidade total, mas oferece um refinamento da estrutura porosa, com diminuição e incontinuidade dos poros capilares. No entanto, o uso da microssílica como adição sobre a massa de cimento pode diminuir a relação vazios/volume, o que diminui a porosidade e, por consequência, a penetração e deslocamento de agentes agressivos no concreto.

2.1.2.2. Metacaulim

O metacaulim é uma matéria-prima utilizada em vários estudos relacionados a ativação alcalina e é derivado da desidroxilação do caulim. O Brasil produz aproximadamente cerca de 0,8 milhões de toneladas/ano de caulim (ANTUNES, 2012).

O metacaulim é um material pozolânico, cuja obtenção é proveniente da calcinação de argilas cauliníticas. Segundo estudo realizado por Malhotra e Mehta (1996), este material também é obtido através da calcinação em baixas temperaturas e da moagem de argilas especiais como o caulim puro. Através deste processo é obtido um material com alta atividade pozolânica, recebendo assim a denominação MCAR (Metacaulim de Alta Reatividade).

2.1.2.3. Sílica da Casca de Arroz

Segundo Souza (2000), por se tratar de matéria-prima abundante e renovável, tanto a casca como a sua cinza podem ser empregadas como matéria-prima para a

obtenção de materiais de construção alternativos, principalmente para atender às necessidades rurais.

O Brasil é um grande produtor de arroz, sendo que, o estado que detém a maior parte da produção é o Rio Grande do Sul, seguido de Santa Catarina, correspondendo cerca de 70% da produção nacional de arroz em casca, de acordo com os dados do IBGE (2008). A casca de arroz é uma capa lenhosa do grão, dura, com alto teor de sílica, composta de aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra (SILVA, 2009).

As vantagens do método é que a fonte agrícola é farta. Dos 10 milhões de toneladas de arroz que o país produz por ano, sobram 2 milhões de toneladas de casca – que rendem cerca de 400 mil toneladas de sílica, o suficiente para suprir o mercado de concretos estruturais e outros. Dependendo da quantidade de cimento usada, a proporção de sílica nos concretos varia de 5% a 10% e é particularmente importante para o concreto de elevado desempenho (SOUZA, 2000).

2.1.2.4. Cimento

A descoberta do cimento foi realizada por Joseph Aspdin, um pedreiro, que em 1824 patenteou o produto com o nome de cimento Portland, numa referência portlandstone, um tipo de rocha arenosa de grande utilização na região de Portland, Inglaterra (BASTOS, 2002).

Segundo a NBR 5732 (1991), o cimento é um aglomerante hidráulico obtido através da moagem de clinquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio.

O CPV ARI – RS é um cimento de alta resistência inicial. Utilizado em situações que necessitam de uma desforma rápida e resistência a agentes agressivos do meio ambiente, especialmente ao ataque por sulfatos. Usado em artefatos de concreto (blocos de concreto, pisos intertravados e pré-fabricados de concreto em geral), concreto e concreto de alto desempenho - CAD (VOTORANTIM, 2014).

2.1.2.5. Água

A água imprópria para beber não é necessariamente imprópria para o amassamento do concreto. Quando se diz respeito a resistência do concreto, água ácida, alcalina, salgada, salobra, colorida ou com mau cheiro não deve ser rejeitada imediatamente. Isto é extremamente interessante do ponto de vista ambiental, porque as águas recicladas da mineração e varias outras operações industriais podem ser usadas

seguramente como água de amassamento para o concreto. O melhor método para determinar a aptidão de uma água cujo desempenho é desconhecido para o preparo do concreto é realizar uma comparação do tempo de pega do cimento e a resistência de corpos-de-prova de argamassa feitos com água desconhecida e ter como base água limpa servindo de referência (BASTOS, 2002).

2.1.2.6. Aditivo Plastificante

O aditivo plastificante polifuncional é um redutor de água, seu desempenho em relação á redução de água é de aproximadamente 12% a 18%, essa porcentagem pode variar em função da energia de mistura, agregados e aglomerantes. Ele é um produto de coloração marrom escuro, com densidade da faixa de 1,18 a 1,20 g/cm³, a dose recomendada varia de 0,6 a 1,2% em relação à massa de aglomerantes, deve variar em função da reatividade dos cimentos utilizados (SANTOS; LACHOWSKI, 2012).

2.1.2.7 Agregados

Segundo Valverde (2001), o termo “agregados para a construção civil” é adotado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral responsável pela produção de matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil. Basicamente são a areia e a rocha britada. O termo “emprego imediato na construção civil” que consta da legislação mineral para definir uma classe de substâncias minerais não é muito correto, já que não é toda a vez que é usada com esta finalidade.

Segundo Neville e Brooks (2013), o concreto é ocupado pelos agregados aproximadamente $^3/_4$ do seu volume, logo a sua qualidade é muito importante. Os agregados não só limitam a resistência do concreto, como também suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto.

2.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a verificação do desempenho do concreto com as adições minerais, visando a redução de CO_2, os traços serão avaliados através da Lei de Abrams, adotando as relações água/cimento de 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 e 0,9, e, a partir desses traços, analisar as combinações com as adições minerais adotando um teor de 10% de na substituição do cimento.

Técnica para Redução de CO_2 na Fabricação do Concreto

A comprovação do estudo será realizado a partir da ruptura de corpos de prova de concreto do traço padrão, comparando com traços dosados com substituição do cimento pelas adições minerais. Em cada relação água/cimento, ou água/aglomerante, serão moldados corpos de prova para a verificação da resistência a compressão em 3, 7 e 28 dias, sendo um par para cada idade.

O traço padrão é composto por cimento CP V ARI RS, agregado (areia natural, areia artificial e brita) e aditivo polifuncional. As adições minerais utilizadas para cada comparação serão a microssilica, metacaulim e sílica da casca de arroz. Serão moldados 48 corpos de prova para cada idade, totalizando em 144 corpos de prova para o estudo, verificando, assim, o impacto na resistência a compressão, obtido pela Curva de Abrams em MPa.

Vários estudos mostram que o teor ideal de utilização da microssilica e como substituição do cimento em 8%, como apontado por Silva e Helene (1993). Mendes (2002) explica que no início era comum utilizar dosagens de 15%, mas há uma tendência nas dosagens atuais em teores de 8%. Já para Neville (1997) um teor de sílica ativa em torno de 10%, em relação à massa de cimento, produz efeito mais eficiente que quando se adota valores maiores. Para o presente estudo, definiu-se um teor de 10% para todas as adições com efeito pozolânico (microssilica - MS, metacaluim - MCA e sílica da casca de arroz - SCA)

Após os resultados de ruptura aos 28 dias, será calculado o consumo de aglomerante para cada traço com fck 20, 25, 30 e 35MPa, com base nas curvas de Abrams determinadas em laboratório e, com base nos consumos obtidos, calcular a emissão de CO_2, em Kg, de cada um dos traços baseado em que, para produzir 1 tonelada de cimento há uma emissão de 860 Kg de CO_2 para a atmosfera, segundo Albano, Kirst e Diz (2011). Será analisado um indicador que correlaciona a quantidade de cimento, ou aglomerante, utilizado em cada traço, em Kg, e sua resistência característica (fck), sendo assim, a relação será Kg/MPa.

Será considerado o abatimento de 11 cm, conforme elaborado a Curva de Abrams com o consumo de água obtido nos testes de laboratório e, conforme a NBR 12655: ABNT,2006, considerando o desvio padrão de dosagem mínimo de 4,0 MPa para as condições de preparo em central de concreto, será determinado a resistência de dosagem pela seguinte formula:

$$fcj = fck + 1{,}65 * Sd \tag{1}$$

onde:

fcj é a resistência média do concreto à compressão, prevista a idade de *j* dias, em megapascals;

fck é a resistência característica do concreto à compressão, em megapascals;

Sd é o desvio-padrão da dosagem, em megapascals.

A resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade prevalecentes durante a construção. Esta variabilidade medida pelo desvio-padrão, que de acordo com a condição A de preparo de concreto adota-se 4,0 MPa, é levado em conta no cálculo da resistência de dosagem, segundo a equação 2 (NBR12655, 2006).

2.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados de todos os ensaios, analisado e verificado a viabilidade do uso das adições minerais como a MS (microssílica), SCA (sílica da casca de arroz) e o MCA (metacaulim) no concreto.

2.3.1 Curvas de Abrams Individuais

A análise do desempenho dos materiais foi avaliada individualmente através da Curva de Abrams que foi realizada a partir dos resultados com idade de 3, 7 e 28 dias com seus respectivos fatores de relação água/aglomerante, conforme mostra as Figuras 1, 2, 3 e 4. E para cada material estudado no concreto, adições ou o padrão, foi utilizado uma quantidade de água, de acordo com a Tabela 2.

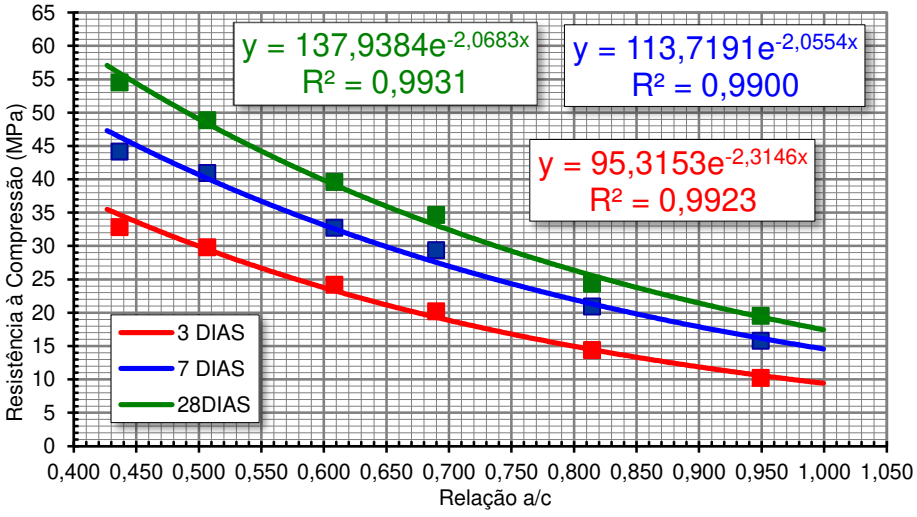

FIGURA 1: CURVA DE ABRMS – PADRÃO

Em cada curva de Abrams traz a equação da curva com as variáveis Y e X, onde Y é a resistência à compressão de dosagem (fcj) e a variável X é a relação água/cimento ou água/aglomerante.

Segundo Nascimento e Araújo (2009), a qualidade de um ajuste linear pode ser dada em função do coeficiente de determinação (R^2), que quando o valor do coeficiente é

mais próximo de 1 mais confiáveis são os resultados das curvas. Isso pode ser evidenciado nas curvas obtidas, já que seu R^2 ficou muito próximo de 1 para todas as idades.

A Lei de Abrams, ou Curva de Abrams, correlaciona a resistência à compressão pela relação água/aglomerante (a/agl.), ou água/cimento (a/c), onde quanto menor essa relação maior é a resistência à compressão.

Pelas curvas de Abrams dos traços do concreto padrão (sem adição mineral), verifica-se que a média de crescimento da resistência à compressão entre a idade de 3 para 7 dias é de 42,56% e a de 7 para 28 dias é de 20,40%.

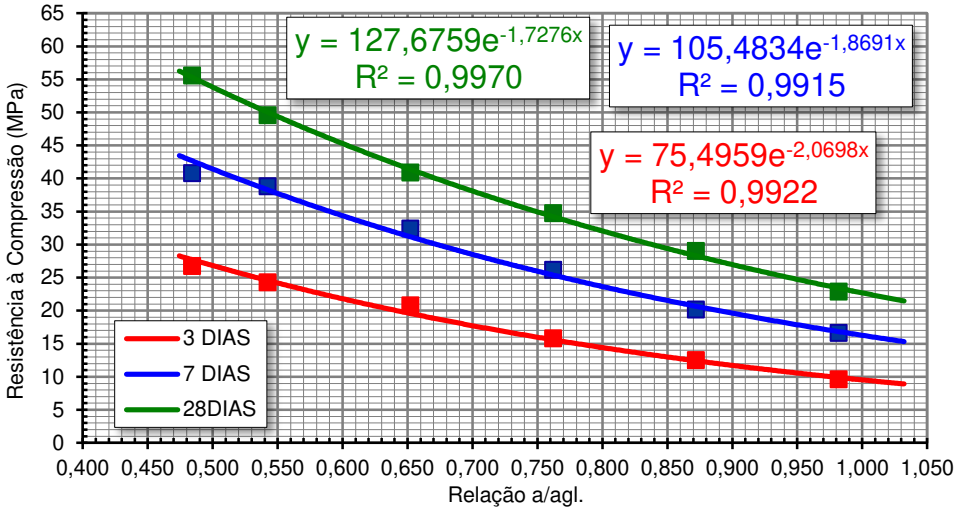

FIGURA 2: CURVA DE ABRAMS – MS

Verificando as curvas de Abrams dos traços de concreto com adição de MS, pode-se expor que a média de crescimento da resistência à compressão entre a idade de 3 para 7 dias é de 59,83% e a de 7 para 28 dias é de 34,08%, assumindo como valores confiáveis, já que o coeficiente de determinação R^2 ficou próximo de 1 para todas as idades analisadas.

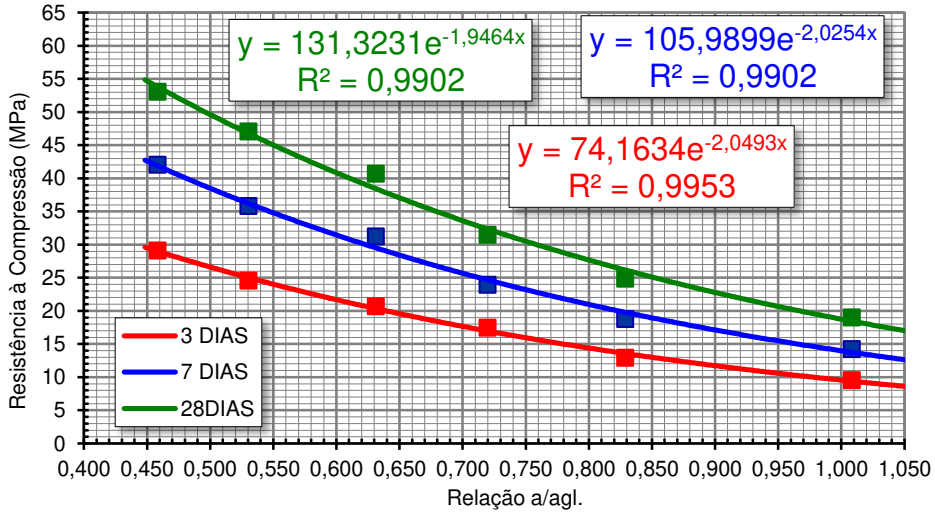

FIGURA 3: CURVA DE ABRAMS – SCA

As curvas de Abrams dos traços de concreto com adição de SCA determinam que a média de crescimento entre a idade de 3 para 7 dias é de 45,51% e a de 7 para 28 dias é de 31,39%. Da mesma maneira, como R^2 ficou próximo de 1 para todas as idades, assume-se que são valores confiáveis.

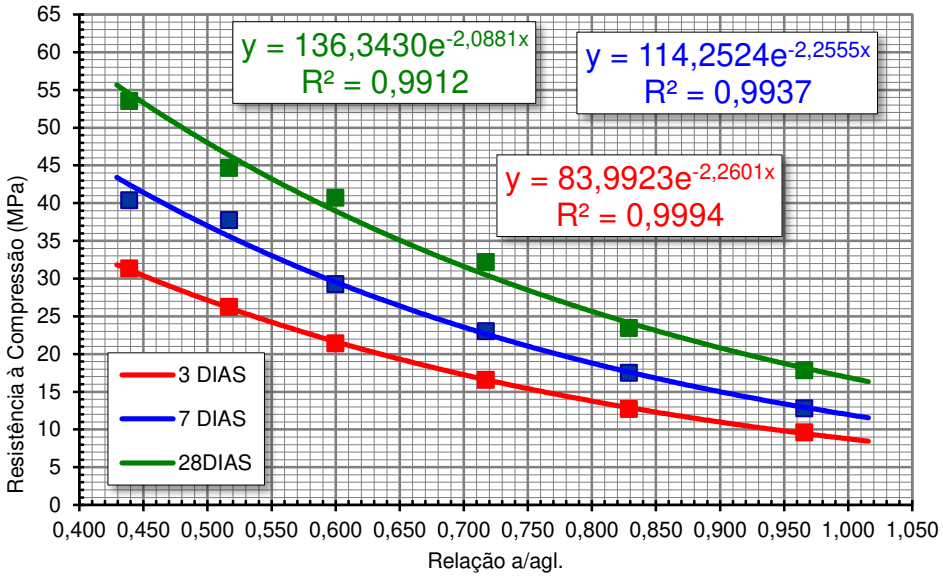

FIGURA 4: CURVA DE ABRAMS – MCA

Analisando as curvas de Abrams dos traços de concreto com adição de MCA, pode-se expor que a média de crescimento da resistência a compressão entre a idade de 3 para 7 dias é de 36,54% e a de 7 para 28 dias é de 33,89%, considerando os valores confiáveis (R^2 próximos de 1).

As resistências à compressão de dosagem dos traços de concreto foram calculadas e avaliadas através das equações das curvas de Abrams utilizando as relações água/cimento ou água/aglomerante de 0,5; 0,6 e 0,7, conforme mostra a Tabela 1.

TABELA 1 – RESISTÊNCIAS A COMPRESSÃO DOS TRAÇOS DE CONCRETO

		TRAÇOS DE CONCRETO											
		Padrão (Relação a/c)			MS (Relação a/agl)			SCA (Relação a/agl)			MCA (Relação a/agl)		
		0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
Resistências em idade (MPa)	3 dias	29,96	23,77	18,86	26,82	21,81	17,73	26,62	21,69	17,68	27,13	21,64	17,62
	7 dias	40,69	33,13	26,98	41,43	34,37	28,51	38,50	31,44	25,68	36,99	29,52	23,56
	28 dias	49,04	39,88	32,43	53,82	45,28	38,10	49,62	40,85	33,62	47,29	38,38	31,15

Analisando os resultados da Tabela 1, a MS obteve menores resistência na idade de 3 dias e nas idades de 7 e 28 dias as resistências foram maiores (acréscimos de 3,74% e de 13,59%, respectivamente), em relação ao traço padrão.

A SCA obteve resistências menores nas idades de 3 e 7 dias e resistências maiores na idade de 28 dias (acréscimo na resistência de 2,43%), em relação ao traço padrão, mas em relação a MS suas resistências foram menores em todas as idades.

Já o MCA teve as resistências menores em todas as idades, tanto em relação ao traço padrão quanto aos traços dosados com as adições minerais.

Nas resistências iniciais (3 dias) as adições não são tão eficazes quanto ao padrão (cimento puro), porém, a partir dessa idade tem-se um desenvolvimento mais acentuado.

2.3.2. Curvas de Abrams Sobrepostas aos 28 dias

A resistência característica do concreto (fck) sempre é dada aos 28 dias, logo, para uma melhor verificação do desempenho dos materiais no concreto, foram analisadas as curvas de Abrams com todas as adições estudadas, comparando com o padrão, como mostra a Figura 5.

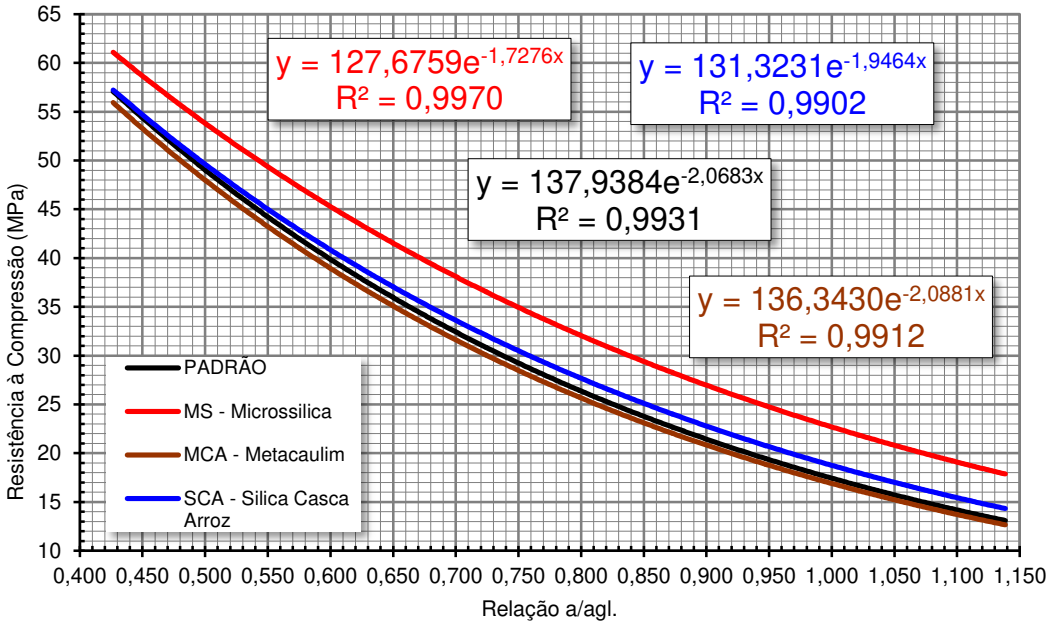

FIGURA 5: CURVA DE ABRAMS AOS 28 DIAS – SOBREPOSTAS

Pela Figura 5, pode-se verificar que a curva que apresentou um maior desempenho, em relação às demais, foi a com adição de MS, seguida pela SCA. O MCA apresentou um desempenho inferior, inclusive, em relação às resistências obtidas na curva padrão, ou seja, sem adição mineral, conforme os resultados apresentados na Tabela 5. Ressaltando que as curvas apresentam um coeficiente de determinação bem próximos de 1, o que se estabelece a confiança dos resultados.

Esses resultados são de grande importância, pois se tem a possibilidade de substituir o cimento por duas adições minerais, a MS e SCA, sem reduzir a resistência à

compressão do concreto e, ainda melhor, atingir resistências maiores em relação ao concreto padrão.

2.3.3. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

A Tabela 2 mostra os resultados proposto na metodologia que foram obtidos através das curvas de Abrams sobrepostas com idade de 28 dias, referente à emissão de CO_2 e o indicador Kg/MPa.

TABELA 2 – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DAS CURVAS DE ABRAMS SOBREPOSTAS

fck	Água (Kg)	Fator a/agl.	Cimento (Kg)	Adição (Kg)	Aglomerante Total (Kg)	Emissão CO_2 (Kg)	Kg/MPa
20 - Padrão	186	0,796	233,67	-	233,67	200,96	11,68
20 - MS	195	0,908	193,28	21,48	214,16	166,21	10,71
20 - MCA	189	0,783	217,24	24,14	241,38	186,83	12,07
20 - SCA	189	0,820	207,44	23,05	230,49	178,40	11,53
25 - Padrão	186	0,713	260,87	-	260,87	224,35	10,44
25 - MS	195	0,808	217,21	24,13	241,34	186,80	9,65
25 - MCA	189	0,700	243,00	27,00	270,00	208,98	10,80
25 - SCA	189	0,732	232,38	25,82	258,20	199,85	10,33
30 - Padrão	186	0,642	289,72	-	289,72	249,16	9,66
30 - MS	195	0,723	242,74	26,97	269,71	208,76	8,99
30 - MCA	189	0,630	270,00	30,00	300,00	232,20	10,00
30 - SCA	189	0,656	259,30	28,81	288,11	223,00	9,60
35 - Padrão	186	0,580	320,69	-	320,69	275,75	9,16
35 - MS	195	0,649	270,41	30,05	300,46	232,55	8,59
35 - MCA	189	0,569	298,94	33,22	332,16	257,09	9,49
35 - SCA	189	0,591	287,82	31,98	319,80	247,53	9,14

Para explicar como foram calculados os resultados da Tabela 2, será apresentado um exemplo com o traço de concreto fck 20 MPa com a adição da MS. Utilizando a fórmula da NBR 12655 (2006), para o calculo da resistência de dosagem, tem-se:

$$fcj = fck + 1{,}65 * Sd = 20 + 1{,}65 * 4 = 26{,}6\ MPa$$

Substituindo a resistência de dosagem na fórmula obtida pela curva de Abrams aos 28 dias e sabendo do consumo de água obtido nos teste de laboratório, tem-se:

$$y = 127{,}6759 * e^{-1{,}7276*x} \qquad 26{,}6 = 127{,}6759 * e^{-1{,}7276*x} \qquad x = 0{,}908$$

$$x = \frac{a}{agl.} = 0{,}908 \qquad \frac{195}{agl.} = 0{,}908 \qquad agl. = 214{,}16Kg$$

Tendo o consumo de aglomerante total, sabendo que a substituição do cimento é de 10% pela MS e que para 1 Kg de cimento há uma emissão de 0,86 Kg de CO_2 na atmosfera, é possível calcular a quantidade de cimento, adição, emissão de CO_2 e o indicador Kg/MPa, da seguinte maneira:

$$Cimento = 90\%\ do\ agl. = 193{,}28Kg$$
$$Adição = 10\%\ do\ agl. = 21{,}48Kg$$
$$Emissão\ de\ CO_2 = 193{,}28 * 0{,}86 = 166{,}21Kg$$

$$Indicador = \frac{214{,}16}{20} = 10{,}71\, Kg/MPa$$

Com base no exemplo apresentado, calculam-se os valores apresentado na Tabela 2.

A Figura 6 mostra a emissão de CO_2 e o indicador Kg/MPa, comparando o traço padrão com os traços dosados com a substituição do cimento pelas adições minerais.

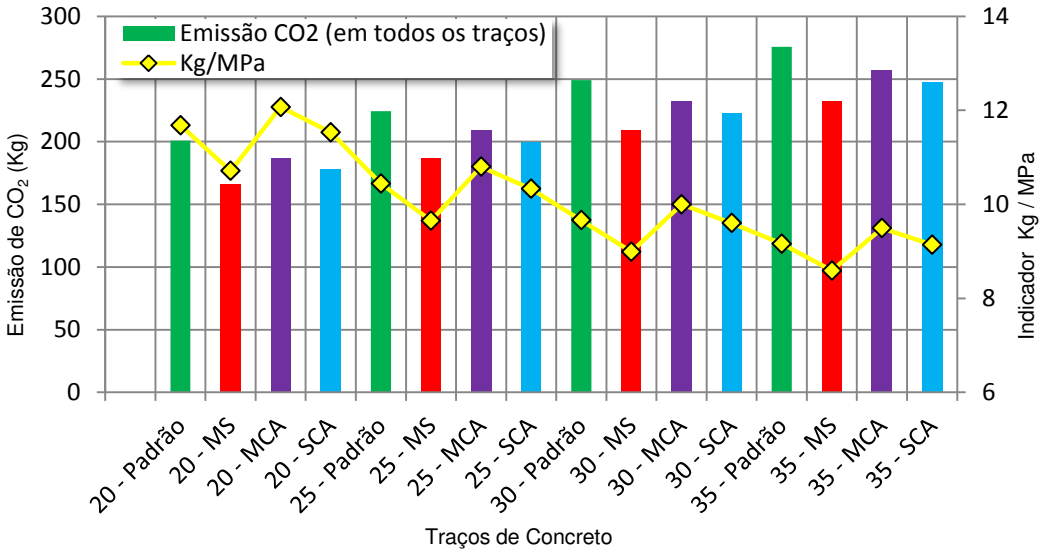

FIGURA 6: INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Conforme os resultados apresentado na Tabela 2 e na Figura 6, quaisquer umas das adições minerais analisadas possibilitam menor emissão de CO_2 sendo que a MS apresentou um melhor desempenho, tanto no indicador Kg/MPa quanto em emissão de CO_2, possibilitando redução de 7,26% e 16,50%, respectivamente, em relação ao padrão.

Como foi evidenciado nas curvas sobrepostas, os traços com MCA apresentaram o maior Kg/MPa, inclusive em relação ao padrão, mas mesmo assim possibilitaram reduzir a emissão de CO_2.

3. CONCLUSÃO

Conforme os resultados apresentados no estudo verificou-se que em idades menores o uso da adição pode comprometer a resistência inicial do concreto, acarretando uma menor resistência a compressão em relação ao concreto padrão.

A Lei de Abrams tem a relação entre a resistência à compressão e o fator água/cimento ou água/aglomerante e que quanto menor essa relação maior a resistência à compressão, e vice versa. Com os resultados obtidos aos 28 dias, onde é dada a resistência característica do concreto (fck), a MS apresentou um melhor desempenho em suas resistências à compressão seguido da SCA (acréscimo de 13,56% e 2,43%, respectivamente), em relação ao traço padrão.

Através dos indicadores de sustentabilidade, foi possível verificar que entre as adições analisadas a que apresentou maior redução de cimento e consequentemente menor emissão de CO_2 foi a MS, seguida pela SCA (redução de 16,50% e 10,72% de

CO_2, respectivamente). Apesar de o MCA apresentar um consumo de aglomerante total maior, também possibilitou uma redução de 6,87% na emissão de CO_2 em relação ao padrão. Com base nesses resultados, a MS e a SCA possibilitaram substituir o cimento na fabricação do concreto visando à redução da emissão de CO_2 na atmosfera, mas não descartando o uso do MCA, pois também apresentou uma redução na emissão de CO_2.

A confiança dos resultados e da comprovação do estudo se dá ao coeficiente de determinação (R^2), apresentado nas equações das curvas, onde todos ficaram próximos de 1.

Como o objetivo do estudo é a redução do cimento na fabricação do concreto, visando à sustentabilidade, e vendo a necessidade da diminuição da emissão de CO_2 no setor da construção civil pelo alto volume produzido de concreto, ficou provado o benefício do uso das adições minerais como contribuição para a sustentabilidade do planeta.

6. REFERÊNCIAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.** Imprensa, 28 de Agosto de 2013. Disponível em http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto#.U4Xz880lCSo. Acessado em 27 de Maio de 2014.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5732 – Cimento Portland Comum.** Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2006.

ALBANO, L. T.; KIRST, M. G.; DIZ, P. F. **Estimativa de geração de Dióxido de Carbono por uma obra de alvenaria estrutural em blocos de concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Paraná: Paraná, 2011.

ALVES, C. H. N.; CAMPOS, F. G. V. de; NETTO, P. A. **Concretos e Argamassas com Microssílica.** Projeto Final, Universidade Federal de Goiás: Goiânia, 1994.

ANTUNES, R. A. **Desenvolvimento de geopolímeros a partir de cinzas pesadas oriundas da queima do carvão mineral e metacaulim sintetizado a partir de resíduo da indústria de papel**. Programa de Pós-Graduação, 2012.

ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de Dosagem para Concretos Convencionais e Aditivados Confeccionados com Materiais da Região Nordeste do Paraná.** Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2002.

BASTOS, S. R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais**. Florianópolis, 2002.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1998.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1992.

MENDES, S. E. da S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná. UFPR, 2002.

NASCIMENTO, G.; ARAÚJO, P. F. de. **Estudo a Cerca do Coeficiente de Determinação nos Modelos Lineares a Algumas Generalizações.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2009.

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, 96-97: São Carlos, 2004.

PIRES, A.; LOPES, D.; LACERDA, E. **Concreto Sustentável.** Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2010.

SANTOS, A. P. dos; LACHOWSKI, N. J. **Estudo experimental e análise da viabilidade do emprego do pó de mármore para a produção de concreto auto-adensável.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Paraná, 2012.

SILVA, E. J. da et al. **Avaliação da cinza de casca de arroz (sem sofrer processo de moagem) quando adicionado ao concreto.** 2009.

SILVA, M. G. da.; HELENE, P. **Concreto projetado com adição de microssilica**. Departamento de Engenharia Civil. Boletim Técnico da Escola politécnica da USP: São Paulo, 1993.

SOUZA, R. S. **Entendendo a questão ambiental: temas de economia, política e gestão do meio ambiente**. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2000.

VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil**. Balanço mineral brasileiro. São Paulo, 2001.

VIEIRA, F. P. et. al. **Estudos de durabilidade em concretos e argamassas com adição de microssílica.** 2007.

VOTORANTIM. Disponível em http://www.votorantimcimentos.com.br/htms-tb/Produtos/ Cimento.htm. Acesso em 04 de Novembro de 2014.