

# ESTUDO DA VIABILIDADE DO EMPREGO DE PÓ DE MÁRMORE PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL E SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DOS AGREGADOS POR PÉROLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

## Study of the Feasibility of the Use of Marble Powder for the Production of Self-Compacting Concrete and Partial Replacement of Parts by Pearls of Expanded Polystyrene (EPS)

Rosemarie Kumayama<sup>1</sup>, Prof. Dr. Marco Antonio de M. Alcântara<sup>2</sup>, Willian da Silva Cruz<sup>3</sup>, Prof. Dr. Antonio Anderson Da Silva Segantini<sup>4</sup>

Recebido em 02 de março de 2015; recebido para revisão em 10 de junho de 2015; aceito em 10 de setembro de 2015; disponível on-line em 23 de setembro de 2015.



### PALAVRAS CHAVE:

Concreto autoadensável;

Pó de Mármore;

Poliestireno expandido;

Resíduo de Construção.

### KEYWORDS:

Self-compacting concrete;

Marble powder;

Expanded polystyrene;

Construction residue.

**RESUMO:** Este trabalho estuda a viabilidade técnica da utilização do pó de mármore como finos na confecção de concreto autoadensável (CAA), juntamente com a substituição de parte dos agregados graúdos e miúdos por poliestireno expandido (EPS). Adotando a relação fíler-cimento igual a 0,15, foi otimizada uma composição de referência sem a substituição de EPS, e para fins de comparação foram otimizadas composições com substituição, adotando-se as porcentagens de 10%, 20%, 30% e 40% em substituição. Alguns ensaios foram realizados no estado fresco para fins da validação do CAA, e no estado endurecido para a avaliação do desempenho em função das substituições. Os ensaios no estado fresco incluíam os seguintes: Slump Flow Test, Slump Flow T<sub>50</sub> Test, V- Funnel Test, L- Box Test, Ensaio de Peneiramento, e Ensaio da Massa Específica Aparente. No estado endurecido foram realizados os ensaios de avaliação da resistência à compressão simples e da resistência à compressão diametral, além dos ensaios de absorção d'água. Dos ensaios no estado fresco observou-se influencias no sentido de que a incorporação gradativa de isopor junto ao pó de mármore contribuiu para o aumento dos valores das propriedades que dependem da viscosidade do concreto, de modo a minimizar os efeitos de segregação e de exsudação, compensado a baixa retenção de água pelo pó de mármore. Os resultados no estado fresco se apresentaram de modo a validar as propriedades requeridas para o CAA. No estado endurecido observou-se a diminuição dos valores de resistência à compressão simples e diametral, e o aumento dos valores da absorção, com o incremento do teor de EPS em substituição. Percebeu-se que a variação dos valores das propriedades mecânicas se deu de modo aproximadamente linear, oferecendo o indicativo de um modelo provisional para a variação do comportamento mecânico, quando considerado o teor de EPS adotado em substituição.

**ABSTRACT:** This work studies the technical feasibility of using marble dust as fine in the manufacture of self-compacting concrete (SCC), along with the replacement of the coarse aggregates and kids for expanded polystyrene (EPS). Adopting the filler-cement ratio of 0.15 was optimal a reference composition without the EPS substitution and replacement purposes of comparison with compositions were optimized, taking up the percentages of 10%, 20%, 30% and 40% in place. Some assays were carried out in the fresh state for the purpose of validation of CAA and in hardened condition for evaluating the performance for substitutions. Trials in the fresh state included the following: Slump Flow Test, T50 Slump Flow Test, V-Funnel Test, L-Box Test, Screening Test, and Test of Density Apparent. In the hardened state were conducted assessment tests of the compressive strength and diametrical compressive strength, in addition to water absorption tests. From tests in fresh influence was observed in the sense that the gradual incorporation of polystyrene with the marble dust contributed to the increase of the property values that depend on the concrete viscosity in order to minimize the effects of segregation and exudation, offset the low water retention by marble dust. The results presented in the natural state in order to validate the properties required for the CAA, in the hardened state there was a decrease in the simple and diametrical compression strength values, and the increase in absorption values, with the increase of content EPS in place. It was noticed that the variation in the mechanical property values given are approximately linearly, providing the indication of a forward model for the variation of the mechanical behavior when considered EPS content adopted instead.

\* Contato com os autores: veja na página seguinte

**\* Contato com os autores:**

<sup>1</sup> e-mail: [rosekumayama\\_arquitetura@hotmail.com](mailto:rosekumayama_arquitetura@hotmail.com) ( R. Kumayama )

Arquiteta, mestre em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira (FEIS-UNESP)

<sup>2</sup> e-mail : [alcantar@dec.feis.unesp.br](mailto:alcantar@dec.feis.unesp.br) ( M. A. M. Alcântara )

Doutor, Professor Assistente da Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira (FEIS-UNESP)

<sup>3</sup> e-mail: [willian02370@aluno.feis.unesp.br](mailto:willian02370@aluno.feis.unesp.br) ( W. Cruz )

Graduando do curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira (FEIS-UNESP)

<sup>4</sup> e-mail: [anderson@dec.feis.unesp.br](mailto:anderson@dec.feis.unesp.br) ( A. A. S. Segantini )

Livre docente, Professor Adjunto da Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira (FEIS-UNESP)

ISSN: 2179-0612 D.O.I. 10.5216/reec.V10i2.33117

© 2015 REEC - Todos os direitos reservados.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Walraven (1999), até aproximadamente 1980, o alvo dos exercícios de dosagens de concreto era o valor da resistência mecânica à compressão, sendo que, a partir do valor dela, outras propriedades seriam alcançadas, quando tivessem correlação com esta. A partir do advento da tecnologia dos superplastificantes, e do conhecimento e de investigações sobre as adições minerais ativas, surgiram os concretos de nova geração, os quais tiram partidos de outras propriedades, seja incrementando ainda o valor da resistência á compressão, como também, modificando as condições de ductilidade, e ainda, interferindo nas propriedades tecnológicas e permitindo modificações nas condições de aplicação nos canteiros.

O concreto autoadensável (CAA), foi inicialmente desenvolvido na década de 80, no Japão, tendo como características principais a sua excelente fluidez no estado fresco, mas com elevada resistência à segregação. É um concreto que pode ser compactado em toda a região simplesmente por meio de seu próprio peso, e sem a necessidade de equipamentos de vibração. Para tanto, o CAA deve satisfazer determinadas propriedades no estado fresco, tais como: além de preencher todos os espaços da fôrma somente pela ação de seu próprio peso, ele deve fluir entre os obstáculos (armadura e diminuição de seções) sem sofrer bloqueio; e manter-se homogêneo, sem que haja a ocorrência de segregação e/ou exsudação de seus componentes.

Por outro lado, as atividades relacionadas com a construção civil possuem enorme impacto ambiental. O setor é o maior consumidor individual de recursos naturais, e estima-se que ele seja

responsável por 15 a 50% deste consumo. Tomando-se por exemplo o resíduo do corte do mármore e do granito, no Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta deste tipo de resíduo é de 240.000 toneladas/ano, distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros estados. O potencial de uso do pó de mármore em CAA é já apresentado em Lisboa (2004). Um outro tipo de material de importância potencial para o aproveitamento é o poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como Isopor, material muito presente em nosso cotidiano. De acordo com a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (ABRAPEX), no Brasil são produzidas em torno de 60.000 toneladas/ano, além de outras 2.000 toneladas/ano importadas junto a diferentes produtos como equipamentos eletrônicos. Das 60.000 toneladas/ano de EPS fabricados no Brasil, apenas 5.000 toneladas/ano recebem a correta destinação.

A busca de soluções ambientalmente corretas, e com qualidade técnica e vantajosa, vêm crescendo como uma prática para a sustentabilidade, minimizando a inadequada disposição destes resíduos no meio ambiente. A Resolução no 307, de 05/07/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicada em DOU (2002), criou instrumentos definindo as responsabilidades e deveres tornando obrigatória em todos os municípios do país a implantação local de Planos Integrados de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil. Acredita-se que, no caso do resíduo de pó de mármore e do resíduo de EPS, descartados em lixo comum doméstico, estes poderiam ser utilizados na produção de concretos, de modo a se constituir em uma alternativa de solução, no sentido de contemplar o reaproveitamento de materiais que

são descartados para o meio ambiente; cumprindo função nas obras de engenharia civil.

O presente trabalho teve por objetivos a avaliação do resíduo de pó de mármore como finos nas propriedades do concreto autoadensável, e do resíduo de EPS, quando considerado o concreto nos estados fresco e endurecido, de modo a se considerar a validação dos concretos em termos do atendendo das exigências para com o CAA, e de se compreender o desempenho potencial do concreto endurecido.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme já mencionado na definição, o CAA não depende de nenhum tipo de ação externa para que este possa ser adensado, dispensando-se o uso de vibradores de imersão, ou qualquer outro meio de compactação. Este possui mobilidade que permite fluir sob a ação do seu próprio peso, pela ação da gravidade em sua massa. O CAA, ao preencher as formas, ou envolvendo obstáculos como eletrodutos, e ferragens densas, não deve apresentar segregação, ou sofrer bloqueios.

A mobilidade, segundo Bauer (1994), é apresentada como sendo a resistência inversa à deformação, bastante relacionada à consistência, que é o trabalho efetuado para que se realize a deformação. Para o caso dos concretos e argamassas, o autor considera a influência das partículas finas que, em face da elevada superfície específica e a atividade físico-química, contribuem para o aumento da coesão interna por formação de pasta, enquanto que, as partículas grossas atuam como agentes de oposição, em face dos fatores de atrito e de inércia apresentados pelos mesmos.

Considerando a influência dos materiais componentes nas propriedades do CAA no estado fresco, tem-se conforme Alcantara (2004), Li et al (2001) e Bentur (2002) que, a água tem sido tradicionalmente utilizada para se promover as condições de trabalhabilidade do concreto, porém, esta é limitada quanto ao poder de promover a desfloculação do cimento. O superplastificante tem maior eficácia para isto quando atua pelos processos e letroestático e estérico, promovendo

boas condições de desfloculação do cimento e, permite o melhor contato da água com as partículas do cimento. Ainda segundo Alcantara (2004), os finos adicionados ao concreto também são importantes para que se alcancem as condições reológicas desejadas para o concreto fresco, as partículas podem ter efeito sobre as condições de fluidez tanto pela ação lubrificante, quando a forma e as condições de superfície auxiliam, como pela ação de superfície, absorvendo parte da água de amassamento, e reprimindo o escoamento.

Alcantara e Lima (2009) chamam a atenção para com as diferenças de tolerâncias quando se utilizam finos de diferentes origens, em razão de diferentes aspectos como a elevada finura, ou as condições de atrito da parte dos finos, causando influências nas condições de fluidez e de adequação dos concretos com eles utilizados, de modo a serem auto-adensáveis. Com base na relação finos/cimento, por exemplo, os autores apresentam que, para se obter condições iguais quanto ao diâmetro de espalhamento em ensaio slump-flow, a relação finos/cimento adotada para o caso do pó de pedra foi de 0,55, enquanto que, para o caso de cinzas de casca de arroz esta relação era da ordem de 0,35. Com relação aos casos do uso de cinzas de bagaço de cana, apresentam Alcantara e Santos (2012) que, para o caso de se adotar a relação finos/cimento variando da ordem de 0,35 a 0,50 notou-se que este apresentou grande eficácia no controle da segregação do concreto.

Com relação ao superplastificante, de acordo com AFGC (2000), se acrescido em excesso o superplastificante, o teor crescente deste induz a diminuição da viscosidade do concreto, e ao favorecimento dos riscos de exsudação e de segregação, de modo que seja comprometida a trabalhabilidade do concreto. A trabalhabilidade das misturas é a propriedade que assegura que se possa manipular uma massa sem que ocorra a perda mínima de homogeneidade. De modo geral, ela está associada tanto com as propriedades intrínsecas do material, como com ações do processo de produção. Bauer (1994) e Neville (1997) consideram a trabalhabilidade como uma propriedade que é atendida ou não, de que o

concreto possa se manter homogêneo durante o todo o processo de produção, desde as fases de mistura até as de lançamento e de adensamento nas formas. Como patologias conhecidas pelo CAA na fase do estado fresco têm-se a segregação, a exsudação, e pode-se falar nos bloqueios e na formação de ninhos ou de vazios na estrutura, decorrentes de um mau preenchimento. EFNARC (2002) ressaltam a resistência à segregação em termos de propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de se manter coeso ao fluir dentro das formas, passando ou não por obstáculos, e, Tutikyan e Molin (2008) ressaltam a habilidade do concreto fresco, seja um CAA ou não, de preencher as formas sem a presença de bolhas de ar ou falhas de concretagem (nichos), como um dos principais fatores que influenciam na qualidade final do concreto endurecido.

Quanto as propriedades do concreto no estado endurecido, segundo Andrade e Tutikyan (2011), são importantes a resistência mecânica, as condições de deformabilidade, a retratibilidade, e as condições de permissividade, tais como a permeabilidade, e a absorção; estas podem implicar nas condições que determinam a durabilidade do material. Dentre os fatores que determinam a resistência mecânica à compressão simples dos concretos tem-se a relação água/cimento, citada por diversos autores como: Neville (1997), Aïtciim (2000) e Mehta e Monteiro (2008), onde estes chamam a atenção de que o conceito da relação água/cimento ( $a/c$ ) tem sido o pilar da tecnologia do concreto por quase um século, fundamentados na experiência de Abrams, onde a resistência mecânica do concreto é inversamente proporcional ao valor da relação  $a/c$ . Por outro lado, a diminuição do valor da relação água/cimento é limitada ao valor mínimo de 0,38, conforme Neville (1997), de modo a hidratar efetivamente as partículas de cimento.

Além da relação água/cimento, como fator de influência na resistência do concreto tem-se a idade, visto que o cimento apresenta ganho de resistência mecânica crescente à longo prazo, conforme se desenvolve o processo lento de hidratação interno, e, componentes diferentes do

cimento apresentam períodos distintos para a contribuição com o ganho de resistência. A influência da idade está também associada com o tipo de cimento. Existem cimentos que apresentam valores nominais de resistência mecânica maiores do que outros, devendo isto influenciar na resistência do concreto, a isto, segundo Andrade e Tutikyan (2011) pode-se associar as condições de finura, proporção entre os elementos ativos, e as adições incorporadas.

O tipo de agregado, e a sua relevância no concreto merece também atenção. Segundo Bauer (1994) e Petrucci (1980), para os casos de concretos ordinários, os agregados tem por finalidade absorver os esforços mecânicos. Em concretos de nova geração as pastas tendem a ser mais resistentes, e a ruptura não se dá necessariamente na pasta ou na zona de transição, podendo os agregados também sofrer a ruptura. A ruptura será ditada neste caso pelas características e propriedades da matriz e do agregado gráudo, como a forma e a graduação dos agregados, composição mineralógica, diâmetro máximo e, sobretudo, com relação às condições de aderência.

Quanto à presença de adições ativas, segundo Andrade e Tutikyan (2011), as adições ativas permitem trazer benefícios aos concretos tanto no estado fresco, diminuindo a segregação, como no estado endurecido, por meio do efeito fíler e das possíveis reações pozolânicas. Desta forma são minimizadas a porosidade e as condições de permeabilidade, diminuindo a percolação de umidade, e a migração de íons e de elementos agressivos ao concreto.

Além destes considera-se os fatores tecnológicos. A condição de preparo do concreto e a cura podem implicar significativamente na resistência mecânica deste. As condições de trabalhabilidade, ganham importância quando se considera as condições de adensamento. O concreto precisa ser plenamente adensado, de modo que este contenha o mínimo de vazios em seu interior. Neville (1997) apresenta a importância das condições plenas de adensamento, buscando associar a massa específica relativa e a resistência relativa, onde estas estão relacionadas aos valores

máximos de massa específica no estado fresco e os valores de resistência à compressão.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Com objetivos de avaliar as propriedades do CAA no estado fresco e no estado endurecido foram preparadas misturas de CAA com substituições crescentes de pérolas de isopor, a partir de uma composição de referência de CAA. Corpos de prova foram produzidos, que serão descritos nesta seção. Para a fabricação dos concretos utilizou-se de cimento do tipo Portland CP II-Z-32, de areia natural como agregado miúdo, e como agregado graúdo utilizou-se o material britado de origem basáltica. A Tabela 1 apresenta a caracterização do agregado miúdo e do agregado graúdo.

Foram utilizados aditivos superplastificantes à base de policarboxilatos. Utilizou-se como finos o Pó de Mármore, de origem do processamento e o beneficiamento deste em marmorarias da região de Ilha Solteira-SP. Este teve por finalidade promover a formação de pasta no CAA. O pó de mármore utilizado nesta pesquisa apresentou finura semelhante à do cimento, conforme ensaio de peneiramento realizado com a peneira 200, em acordo com a NBR 11579 (ABNT, 1990), onde o material retido na peneira foi de 10%, enquanto que para o caso do cimento Portland CP II, a retenção foi de 12%. De modo a se

ter referência quanto a este material, tem-se que, segundo Teixeira et al (2012), a massa específica do pó de mármore é de  $2,655\text{g/cm}^3$ . A Figura 1 ilustra a textura deste material.



**FIGURA 1:** Pó de Mármore.

Fonte: Fonte do próprio autor.

Foi utilizada água potável proveniente da rede pública de abastecimento de Ilha Solteira.

Em substituição da somatória de partes dos agregados finos e graúdos foram utilizadas pérolas de isopor. Substituiu-se parte da somatória do volume de ambos, agregados miúdos e de agregados graúdos, nas composições estudadas por pérolas de isopor. As substituições se deram de modo que fossem com relação ao volume ocupado pelas partes substituídas dos agregados. A adição utilizada na composição proposta é o pó de mármore, esse foi adotado de modo que atendesse à relação “finos/cimento” igual a 0,15.

**TABELA 1:** Tabela de Caracterização dos Agregados.

Caracterização dos Agregados Miúdo – Areia Natural.					
Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica aparente ( $\text{g/cm}^3$ )	Massa específica absoluta ( $\text{g/cm}^3$ )	Absorção (%)	Material pulverulento (%)
<b>4,75</b>	2,51	1,51	2,646	0,38	<b>0,26</b>
Caracterização do Agregado Graúdo – Brita Basáltica					
Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica aparente ( $\text{g/cm}^3$ )	Massa específica absoluta ( $\text{g/cm}^3$ )	Absorção (%)	Material pulverulento (%)
<b>19</b>	6,87	2,651	2,883	0,28	1,19

Fonte: Fonte do próprio autor.

Foi adotada uma composição de referência, estabelecida a partir da otimização de uma composição prévia, uma composição para CAA apresentada em Alcântara (2004), com o uso de fíler calcáreo como finos, e que também em Alcântara e Lima (2009) é apresentada para o uso de cinzas de casca de arroz como finos. De modo geral ela procura se adequar de modo que a relação “volume de agregados totais/volume de concreto” possa variar entre 0,58 a 0,62, segundo orientações de AFGC (2000), e ainda, que o volume de agregado miúdo com relação ao volume total da fração argamassa se situe em torno de 40 %, e finalmente, que a relação “agregado miúdo/agregado graúdo” em peso se situe próximo de 1, conforme recomendações

de AFGC (2000). Uma vez validada conforme os ensaios realizados para o estado fresco com o caráter autoadensável, sem as disfunções possíveis, esta foi adotada como composição de referência. Então foram propostas, segundo os critérios apresentados, cinco composições, de modo a haver um teor crescente de substituição de pérolas de isopor por parte dos agregados miúdos e agregados graúdos, nos valores de 0, 10, 20, 30, e 40. As composições então adotadas são apresentadas conforme a Tabela 2, onde são apresentadas as quantidades em massa de cada componente envolvido, por metro cúbico de concreto. A Tabela 3 apresenta o volume de cada componente envolvido nas composições adotadas.

**TABELA 2:** Volume dos componentes envolvidos nas composições adotadas.

Composição	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água	Pó de mármore	Superplastificante
	kg	kg	kg	kg	kg	Kg
<b>EPS 0%</b>	476,7	786,5	875,2	219,3	71,5	1,7
<b>EPS 10%</b>	476,7	707,9	787,5	219,3	71,5	1,7
<b>EPS20%</b>	476,7	629,2	700,7	219,3	71,5	1,7
<b>EPS 30%</b>	476,7	550,6	612,5	219,3	71,5	1,7
<b>EPS 40%</b>	476,7	471,9	524,3	219,3	71,5	1,7

Fonte: Fonte do próprio autor.

**TABELA 3:** Volume dos componentes envolvidos nas composições adotadas.

Composição	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água	Pó de mármore	Superplastificante	EPS
	litros	Litros	litros	litros	litros	Litros	Litros
<b>EPS 0%</b>	151,3	297,2	303,6	219,3	26,9	1,7	0
<b>EPS 10%</b>	151,3	267,5	273,1	219,3	26,9	1,7	60,1
<b>EPS 20%</b>	151,3	237,8	243,0	219,3	26,9	1,7	120,0
<b>EPS 30%</b>	151,3	208,1	212,5	219,3	26,9	1,7	180,3
<b>EPS 40%</b>	151,3	178,3	181,9	219,3	26,9	1,7	240,6

Fonte: Fonte do próprio autor.

Quanto a preparação do concreto, inicialmente umedeceu-se a betoneira com água e, a seguir, colocou-se os agregados graúdos e miúdos, juntamente com 50% da quantidade total da água. Deixou-se o material por dois minutos em mistura. Após, adicionou-se cimento juntamente com o pó de mármore e o isopor (EPS) mais 50% de água, e prosseguiu-se a mistura por mais 2 minutos, e, por fim, adicionou-se superplastificante aos poucos, durante a fase de mistura, por mais 2 minutos.

Após a preparação das misturas foram realizados os ensaios de validação das composições no estado fresco, que tinha por objetivo avaliar a influência da substituição do EPS nas propriedades reológicas deste no estado fresco. Os ensaios de validação do concreto fresco foram executados nos primeiros 15 minutos após a mistura, e compreenderam a realização de:

- I. Slump Flow Test;
- II. Slump Flow  $T_{50}$  Test;
- III. L- Box Test, realizado de acordo AFGC (2000) e Tutikyan e Molin (2008);
- IV. V- Funnel Test, Alcântara (2004);
- V. Ensaio de Peneiramento foi realizado de acordo AFGC (2000), por se tratar este de um método simples, confiável e eficiente;
- VI. Ensaio da Massa Específica Aparente, esse foi realizado vertendo-se o concreto sobre um molde de PVC cilíndrico previamente tarado e disposto sobre uma balança, cujo volume do molde era conhecido.

O adensamento do concreto nos moldes de PVC com dimensões de 15 x 30 cm foi feito sob a ação unicamente do seu peso próprio, sem que este fosse vibrado. Após moldado o corpo de prova era rasado e pesado de modo a registrar a sua massa, de modo a poder calcular o valor da massa específica aparente.

Os corpos de prova eram desformados após 24 horas, sendo após conduzidos para a câmara úmida, mantida a temperatura média de 22°C e condições de umidade de 98%, para serem submetidos ao processo de cura por períodos de 7 e 28 dias.

De modo a poder avaliar a influência das substituições nas propriedades do concreto no estado endurecido, as quais responderão pelo desempenho final do material, foram realizados os ensaios no estado endurecido. Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados conforme NBR 5739 (ABNT, 2007), tendo sido adotado 3 corpos de prova para cada caso de composição e idade do concreto, os de resistência à compressão diametral conforme a NBR 7222 (ABNT, 1994), adotando 2 corpos de prova para cada caso de composição e idade do concreto, e os ensaios de absorção conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005), adotando 3 corpos de prova para cada caso de composição e idade do concreto.

#### 4. RESULTADOS

Com base nas composições apresentadas nas Tabela 2 e 3 foram elaboradas Tabelas 4, 5, e 6 envolvendo os parâmetros das composições, 4 e 5. Estes dados são apresentados de modo a auxiliarem na análise dos resultados.

A Tabela 6 apresenta as relações entre os agregados miúdo e graúdo com relação ao concreto e as fases do concreto.

A Tabela 7 apresenta os resultados alcançados para os ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição em EPS.

Pode observar que, apesar de haver oscilação de resultados, quando se considera o aumento da substituição, o valor do diâmetro de espalhamento tende a diminuir com relação ao da composição de referência, com o aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos.

As condições de mobilidade dos concretos podem no caso ser modificadas favoravelmente pelo valor da relação água/materiais secos inorgânicos, H (%), que tende a crescer com este aumento, conforme se observa da Tabela 5. A porcentagem em volume dos agregados graúdos no concreto tende a ser favorável à mobilidade pela substituição conforme a Tabela 6 pela diminuição tanto da inércia como do atrito causados pelos

agregados graúdos, conforme Bauer (1994) e Neville (1997). Por outro lado, com o aumento do valor da porcentagem de EPS em substituição observa-se o aumento do valor percentual em massa do pó de mármore sobre os constituintes da fase argamassa, o qual tende a dotar a mistura de mais coesão, no sentido de se refrear o escoamento. Quanto ao caso particular do EPS, podem ser considerados os aspectos de que existe, também, a influência destes

sobre a viscosidade da pasta, cujo aumento deste em volume tende a refrear o escoamento, visto que ao aumento de volume deste, aumenta-se também a área de exposição. A Figura 2, elaborada a partir de informações da Tabela 4, mostra o crescimento da área de exposição das partículas de EPS com relação ao volume de água adicionado, quando existe o aumento deste em substituição.

**TABELA 4:** Relações de volume tomadas a partir das diversas composições com relação à composição de referência e áreas de exposição do EPS.

Composição	Volume da composição sem EPS (litros)	Volume de EPS (litros)	Volume da composição de referência/volume da composição sem o EPS	Volume da composição sem o EPS/ Volume da composição de referência (%)	Área de exposição do EPS por m <sup>3</sup> de concreto (m <sup>2</sup> )	Área de exposição de EPS por volume de água adicionada (m <sup>2</sup> /litro)
EPS 0%	1000	0	1	100	0	0
EPS 10%	939,9	60,1	1,06	94,0	18,90	0,09
EPS 20%	880,0	120,0	1,14	88,0	37,69	0,17
EPS 30%	819,7	180,3	1,22	82,0	56,64	0,26
EPS 40%	759,4	240,6	1,32	75,9	75,58	0,34

Fonte: Fonte do próprio autor.

**TABELA 5:** Relações entre a água e os elementos da composição, e a relação superplastificante/cimento e finos cimento.

Composição	Relação água/cimento	Relação água/finos	Relação água/materiais secos (%)	Volume de EPS/volume de água	Relação sup/cimento (%)	Relação finos./cimento (%)
EPS 0%	0,46	0,40	10,00	-	0,35	0,15
EPS 10%	0,46	0,40	10,81	0,27	0,35	0,15
EPS 20%	0,46	0,40	11,76	0,55	0,35	0,15
EPS 30%	0,46	0,40	12,91	0,82	0,35	0,15
EPS 40%	0,46	0,40	14,31	1,10	0,35	0,15

Fonte: Fonte próprio autor.

**TABELA 6:** Relações entre os agregados miúdo e graúdo com relação ao concreto e as fases do concreto.

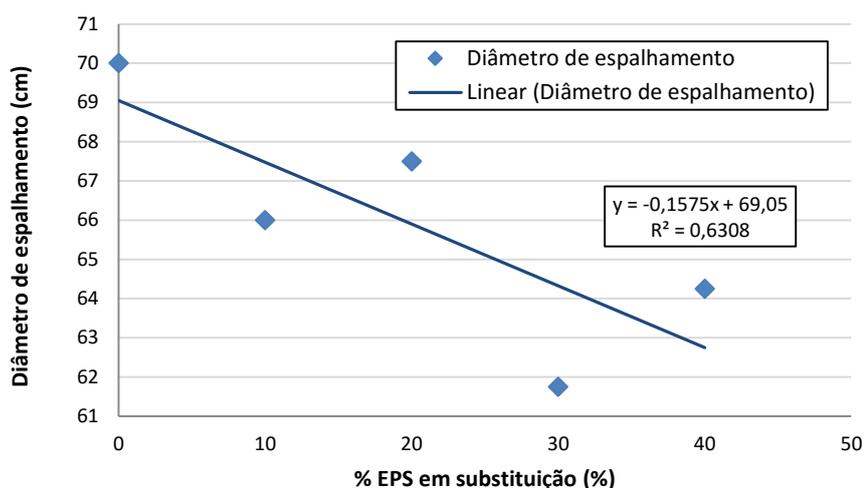
Composição	Volume de agregados miúdos/Volume total de concreto	Volume de agregados graúdos/Volume total de concreto	Volume de agregados totais/Volume total de concreto	Porcentagem de agregado miúdo em massa na fase da argamassa	Porcentagem de pó de mármore em massa na fase da argamassa	Porcentagem de agregado graúdo em massa no concreto
EPS 0%	0,304	0,297	0,60	50,56	4,60	36,00
EPS 10%	0,268	0,273	0,54	47,93	4,84	34,78
EPS 20%	0,238	0,243	0,48	45,00	5,11	33,38
EPS 30%	0,208	0,212	0,42	41,72	5,42	31,70
EPS 40%	0,178	0,182	0,36	38,03	5,76	29,70

Fonte: Fonte do próprio autor.

**TABELA 7:** Resultados alcançados para os ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição em EPS.

COMPOSIÇÃO	Diâmetro 1	Diâmetro 2	Valor médio	T <sub>50</sub>	Situação
	Cm	cm	cm	s	
EPS 0%	70	70	70	4	ATENDIDO
EPS 10%	67,5	64,5	66	1,38	ATENDIDO
EPS 20%	68	67	67,5	1	ATENDIDO
EPS 30%	62	61,5	61,75	0,68	ATENDIDO
EPS 40%	64,5	64	64,25	1,25	ATENDIDO

FORNTE: Fonte do próprio autor.



**FIGURA 3:** Correlação entre os valores alcançados para os ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição de EPS.

Fonte: Fonte do próprio autor.

Observa-se que a referida correlação apresenta um valor de correlação média, dando indicativo de haver tendência à diminuição do diâmetro de espalhamento com o aumento do valor da porcentagem de EPS incorporada em substituição parcial aos agregados. Embora exista algumas dispersões de resultados, observa-se que, os valores dos tempos de espalhamento tendem apresentar diminuição com o aumento de EPS em substituição aos agregados miúdos, com base no valor do T<sub>50</sub>, este tende a diminuir com o referido acréscimo, em razão da diminuição dos efeitos de atrito e de inércia dos agregados miúdos e graúdos, a partir de informações da Tabela 7.

Quanto aos resultados alcançados para os ensaios de escoamento confinado V-funil, em função do valor de substituição de EPS, estes são apresentados na Tabela 8.

Pela análise da Tabela 8 observa que o valor da vazão mássica passante pelo funil tende a ser crescente com o aumento do valor de

substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos. Do mesmo modo que para os casos de escoamento livre, existem algumas oscilações de resultados. Considera-se que no escoamento confinado são relevantes o atrito e os choques intergranulares, influenciando nas condições de mobilidade (Alcântara, 2004), havendo, ainda, a competitividade entre os elementos constituintes para passar pela abertura do funil; a viscosidade exerce grande influência, de modo que, um concreto com maior viscosidade, até certo limite, pode contribuir para o melhor disciplinamento dos constituintes no escoamento confinado (Alcântara, 2004). Neste sentido, o aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos podem ser esperados de maneira a contribuir para o aumento da vazão mássica em escoamento confinado.

O valor encontrado para a correlação representa um valor médio de correlação, em vista

das dispersões apresentadas, contudo, constitui-se um indicativo quanto à influência da incorporação de EPS no valor da vazão mássica em escoamento confinado. Observa-se, também, que existe um indicativo de que o tempo de escoamento ao funil tende a diminuir com o aumento da porcentagem de EPS em substituição aos agregados graúdos e agregados miúdos, em face de um possível efeito de melhoria na mobilidade do concreto.

A Tabela 9 apresenta os resultados alcançados para os ensaios de escoamento confinado na caixa em “L”, em função do valor de substituição de EPS.

Observa-se que, para o aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos a influência sobre o valor da relação  $H_2/H_1$ , pela modificação das condições de mobilidade, não se apresentam bem definidas, quando submetido o material ao escoamento e passagem pela ferragem da caixa em L. Por outro ele aparenta ter contribuído para o melhor disciplinamento ao confinamento e passagem pela grade. Os resultados alcançados para os ensaios de segregação por peneiramento, em função do valor de substituição de EPS, são apresenta na Tabela 10.

**TABELA 8:** Resultados alcançados para os ensaios de escoamento confinado V-funil, em função do valor de substituição de EPS.

COMPOSIÇÃO	Quantidade vertida	Quantidade passante	Tempo de fluxo	Vazão mássica
	Kg	kg	s	kg/s
EPS 0%	20	19,1	4	4,78
EPS 10%	20	19,34	5,4	3,58
EPS 20%	20	19,2	2,89	6,64
EPS 30%	20	18,4	2,46	7,48
EPS 40%	20	19,4	3	6,47

Fonte: Fonte do próprio autor.

**TABELA 9:** Resultados alcançados para os ensaios da caixa em L, em função do valor de substituição de EPS.

COMPOSIÇÃO	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	Tempo	Situação
	cm	cm	Cm	Seg	
EPS 0%	10	8,5	0,85	4	ATENDIDO
EPS 10%	10,5	8	0,76	2	ATENDIDO
EPS 20%	10	8	0,8	2	ATENDIDO
EPS 30%	10	8	0,8	1	ATENDIDO
EPS 40%	9,5	8	0,84	1	ATENDIDO

Fonte: Fonte do próprio autor.

**TABELA 10:** Resultados alcançados para os ensaios de segregação por peneiramento, em função do valor de substituição de EPS.

COMPOSIÇÃO	Quantidade vertida	Quantidade passante	Valor da segregação	Situação
	Kg	g	%	
EPS 0%	5	30	0,6	ATENDIDO
EPS 10%	5	20	0,4	ATENDIDO
EPS 20%	5	25	0,5	ATENDIDO
EPS 30%	5	15	0,3	ATENDIDO
EPS 40%	5	14	0,28	ATENDIDO

Fonte: Fonte do próprio autor.

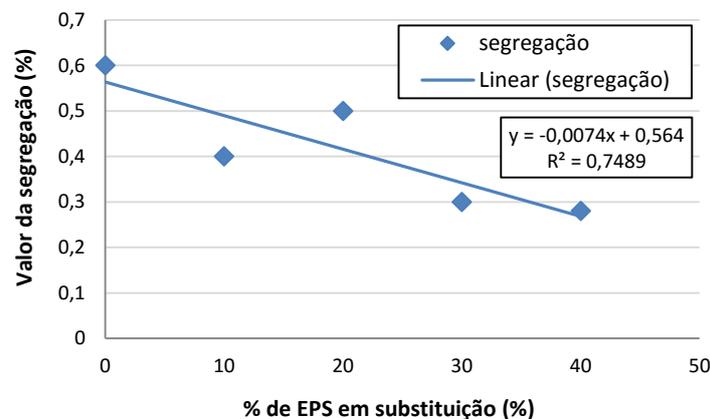
Com relação aos ensaios de segregação, ensaios de peneiramento, foram apresentados valores conforme a Tabela 10 que apontam para o aumento da viscosidade e para a estabilidade da mistura, conforme os valores prescritos para a metodologia, em AFGC (2000). A Figura 4 ilustra a variação entre os valores da segregação com relação à variação do aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos. Observa-se que esta relação tende a apresentar um forte valor de correlação, dando o indicativo de que ocorre o aumento da viscosidade da mistura.

Observa-se pelas Figuras 5a, 5b e 5c, apresentadas a seguir, que as superfícies de espalhamento se apresentaram bastante homogêneas, quando feitos os ensaios de espalhamento “slump-flow”, sem haver a presença de ninhos de aglomeração ou de halos d’água que fornecessem os indicativos de segregação. Nos

ensaios da caixa em L o fluxo se deu de modo espontâneo logo que se abrisse a comporta da abertura com as barras. Nos ensaios de segregação por peneiramento foi observado sempre o aparente aumento da viscosidade do concreto com a crescente incorporação do EPS.

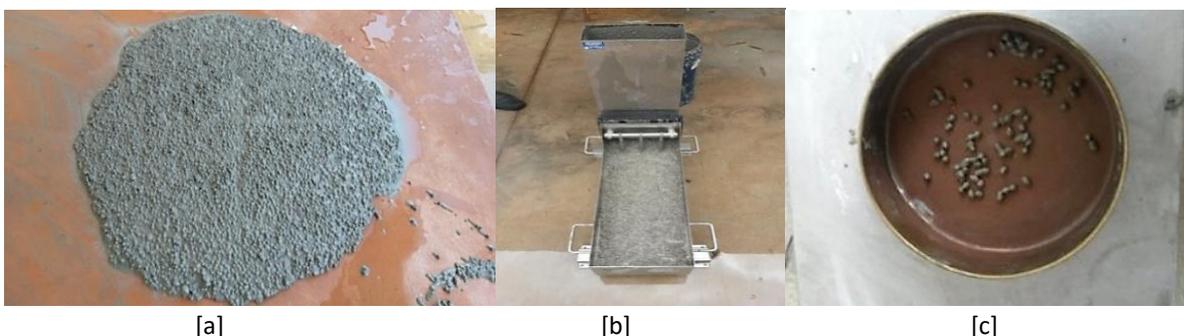
Finalmente, a Tabela 11 apresenta os resultados alcançados para a massa específica aparente, em função do valor de substituição de EPS.

Com relação à massa específica aparente do concreto fresco e o teor de EPS incorporado em substituição, os resultados apontam para a diminuição desta com o aumento do teor de EPS em substituição. Este valor se apresenta coerente, tendo em vista à substituição de materiais com diferentes massas específicas, sendo, o EPS de massa desprezível. A Figura 6, elaborada conforme informações da Tabela 11 apresenta a variação desta massa específica.



**FIGURA 4:** Variação da segregação com relação ao aumento do valor de substituição parcial de EPS.

Fonte: Fonte do próprio autor.



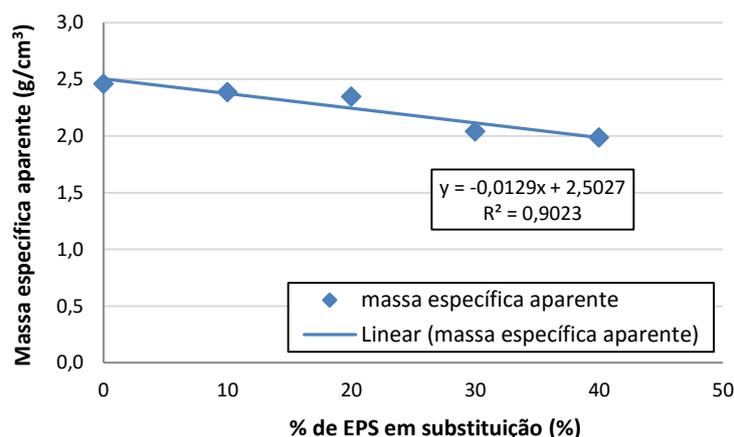
**FIGURA 5:** Ensaios no estado fresco – [a] Ensaio de Espalhamento Slump Flow Test; [b] Ensaio de Escoamento Confinado L-Box Test; [c] Ensaio de Peneiramento, material passante.

Fonte: Fonte do próprio autor.

**TABELA 11:** Resultados alcançados para a massa específica aparente, em função do valor de substituição de EPS.

COMPOSIÇÃO	VOLUME	Quantidade avaliada	Massa específica aparente
	Litros	Kg	Kg/litros
EPS 0%	0,75	1,845	2,46
EPS 10%	0,75	1,790	2,39
EPS 20%	0,75	1,760	2,35
EPS 30%	0,75	1,530	2,04
EPS 40%	0,75	1,1490	1,99

FONTE: Fonte do próprio autor.

**FIGURA 6:** Variação da massa específica aparente em função da porcentagem de EPS em substituição, a partir de dados experimentais.

Fonte: Fonte do próprio autor.

A Tabela 12 apresenta os valores obtidos para a massa específica aparente teórica, calculada conforme as características dos materiais e os valores das composições propostas.

Observando e os valores experimentais alcançados, conforme a Tabela 11, e comparando-os com os da Tabela 12, observa-se pela Figura 7 que estes valores não são muito diferentes, tendo em vista haver uma correlação forte entre os valores.

Observa-se através da Figura 7, que os valores das massas específicas aparentes secas se apresentaram bastante próximos para o caso da composição de referência, quando se considera os valores teóricos e experimental, e de modo geral são um pouco mais elevados para os casos com EPS. A isto se atribui provavelmente como causa a deformabilidade do EPS frente aos outros materiais, que são incompressíveis, de modo que o volume de referência adotado seja reduzido

levemente pela pressão do concreto sobre o EPS. A Tabela 13 apresenta os resultados da resistência à compressão axial e diametral, para as idades de 7 e de 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%, e as Figuras 8 e 9 ilustram a variação dos valores com as respectivas tendências.

Observa-se pela Tabela 13 e Figuras 08 e 09 que os valores de resistência tanto à compressão axial como diametral vem a sofrer diminuições com o acréscimo de EPS em composição. Aparentemente os valores de resistência à compressão simples se configuram de forma quase linear, dando um indicativo de que existe um modelo previsionial para com o valor da resistência, quando se considera valores de porcentagem de substituição diferentes desse. Acredita-se que a razão da diminuição dos valores da resistência mecânica é, sobretudo pela diminuição de agregados totais na mistura, por volume unitário, conforme a Tabela 6, pois estes são os

principais responsáveis pela absorção dos esforços mecânicos do concreto para este nível de resistência, de modo a transferir maior responsabilidade para a pasta Andrade e Tutikyan (2011). A diminuição do valor da resistência

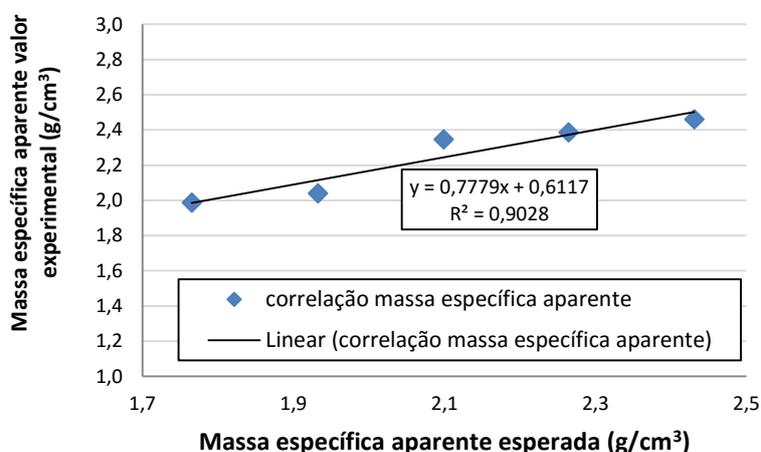
também se apresentou coerente com a diminuição da massa específica aparente alcançada em moldagem.

A Tabela 14 apresenta os valores relativos ao ensaio de absorção.

**TABELA 12:** Valor teórico a ser alcançado pelas misturas, com base nas informações das características dos materiais.

Composição	EPS 0%	EPS 10%	EPS 20%	EPS 30%	EPS 40%
Massa específica aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,43	2,26	2,10	1,93	1,77

Fonte: Fonte do próprio autor.



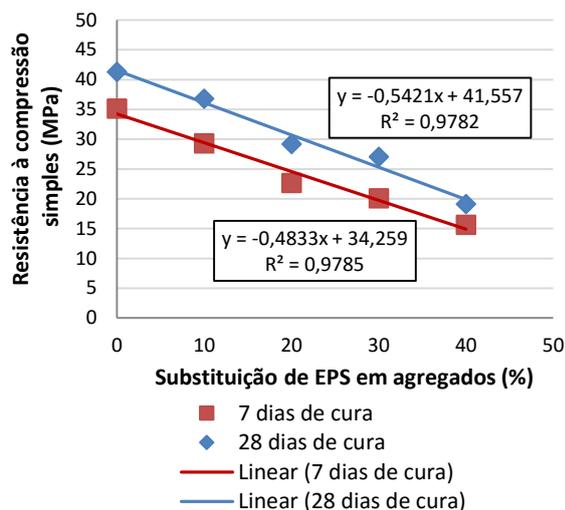
**FIGURA 7:** Correlação entre os valores da massa específica aparente em função da porcentagem de EPS, tomadas a partir de valores de cálculo com base nas propriedades dos materiais, e valores experimentais.

Fonte: Fonte do próprio autor.

**TABELA 13:** Resultados da resistência à compressão simples, axial, e da resistência à compressão diametral para as idades de 7 e de 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%.

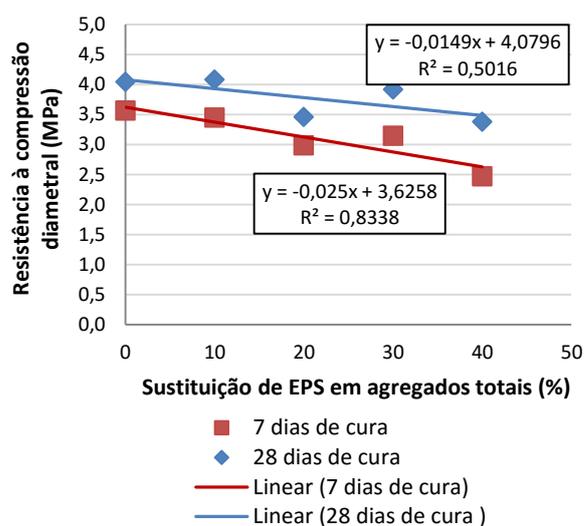
Composição	EPS 0%		EPS 10%		EPS 20%		EPS 30%		EPS 40%	
Resistência à compressão axial										
Idade	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Valor médio	35,19	41,34	29,35	36,83	22,69	29,21	20,10	27,08	15,65	19,12
Dv <sub>pd</sub>	0,39	2,00	1,44	0,47	3,67	2,30	3,09	7,88	2,14	2,29
c.v	0,01	0,05	0,05	0,01	0,16	0,08	0,15	0,29	0,14	0,12
c.v%	1,11	4,84	4,91	1,28	16,20	7,86	15,39	29,10	13,69	11,96
Resistência à compressão diametral										
Idade	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Valor médio	3,57	4,05	3,45	4,09	2,99	3,46	3,15	3,92	2,47	3,39
Dv <sub>pd</sub>	0,02	0,22	0,93	0,26	0,09	0,54	0,15	0,47	0,26	0,12
c.v	0,01	0,05	0,27	0,06	0,03	0,16	0,05	0,12	0,11	0,04
c.v%	0,59	5,33	26,84	6,45	3,07	15,56	4,83	11,99	10,65	3,60

Fonte: Fonte do próprio autor.



**FIGURA 8:** Variação do valor da resistência à compressão simples, axial, com relação à variação do teor de EPS incorporado, para 7 e 28 dias de cura.

Fonte: Fonte do próprio autor.



**FIGURA 9:** Variação do valor da resistência à compressão simples, axial, com relação à variação do teor de EPS incorporado, para 7 e 28 dias de cura.

Fonte: Fonte do próprio autor.

**TABELA 14:** Valores relativos ao ensaio de absorção.

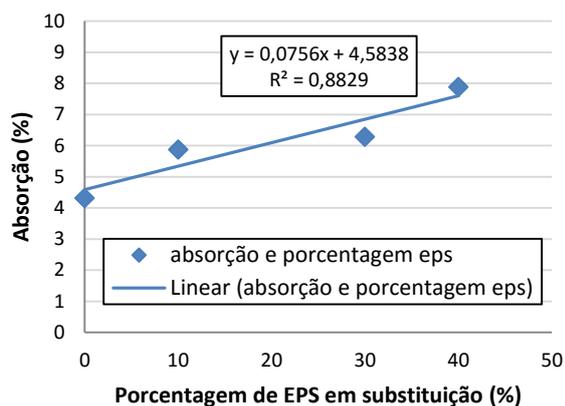
	Porcentagem em EPS (%)									
	0		10		20		30		40	
	Peso seco	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido
<b>Valor médio</b>	<b>3,51</b>	<b>3,66</b>	<b>3,35</b>	<b>3,54</b>	<b>3,26</b>	<b>3,39</b>	<b>3,13</b>	<b>3,32</b>	<b>2,89</b>	<b>3,12</b>
<b>dvpd</b>	0,060	0,03	0,048	0,018	0,04	0,07	0,06	0,06	0,03	0,02
<b>cv</b>	0,017	0,0075	0,014	0,005	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
<b>Cv%</b>	1,70	0,75	1,44	0,50	1,13	1,95	1,91	1,88	0,95	0,67
<b>Valor da absorção (%)</b>	4,32		5,88		3,99		6,29		7,89	

Fonte: Fonte do próprio autor.

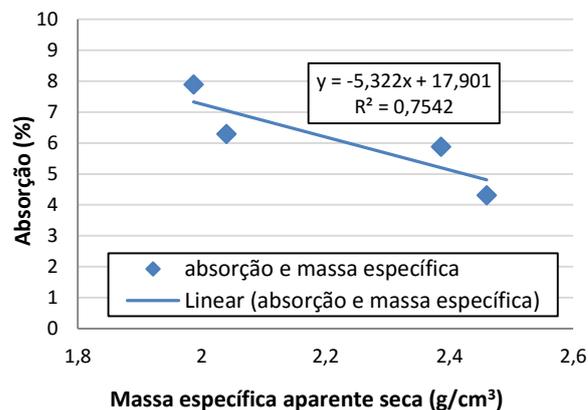
Conforme se apresenta na Tabela 14, os valores da absorção tendem a ser crescentes com o aumento do teor de EPS em substituição parcial aos agregados miúdos e agregados miúdos. A isso, se pode atribuir o desconfinamento da composição, conforme foi apresentado nas Tabelas 3, 4 e 5, e ao aumento da porosidade da fase da argamassa, pelo aumento do conteúdo de EPS com relação à composição de referência. As condições de compactação do concreto, quando no estado fresco, podem ter sofrido a influência das condições de mobilidade na trabalhabilidade. A composição 20% apresentou um valor atípico para a série.

Considerou-se uma tentativa de ajuste eliminado esta composição, onde se observou valores médios e desvio padrão dados por 6,10% e 1,47, de modo que o valor da absorção deveria ser pelo menos da ordem de 4,63%, muito maior do que o valor de 3,99%. Considerando-se então as demais composições foi elaborada a Figura 10, qual aponta para tendências de correlação para com os valores da porcentagem de EPS e da absorção.

A Figura 11 ilustra a correlação entre os valores da massa específica aparente alcançadas em estado fresco, aos valores da absorção, em se desconsiderando o caso da composição de 20%.



**FIGURA 10:** Correlação entre os valores da absorção com relação aos valores do teor de EPS em substituição na composição, não se considerando a composição com 20%.  
Fonte: Fonte do próprio autor.



**FIGURA 11:** Correlação entre os valores da massa específica aparente alcançadas em estado fresco, aos valores da absorção, não se considerando a composição com 20%.  
Fonte: Fonte do próprio autor.

## 5. CONCLUSÕES

Pelo que se depara com os resultados alcançados e analisados, conclui-se que:

- O pó de mármore em associação com o EPS se mostrou adequado para a utilização como finos na fabricação do concreto autoadensável, tendo em vista o atendimento aos requisitos de desempenho para este tipo de concreto no estado.
- As propriedades mecânicas e a porosidade do concreto autoadensável com adição de EPS sofrem variação com o acréscimo do teor de EPS em substituição, coerentes com a diminuição da porcentagem de agregados totais em composição por volume unitário, e com a variação da densidade alcançada em moldagem.
- A variação dos valores de resistência mecânica em função da variação do teor de EPS incorporado, em substituição aos agregados miúdos e graúdos, oferece bom um indicativo para o estabelecimento de um modelo previsional para o comportamento mecânico, para os casos de se adotar outros valores de EPS incorporados em substituição, estabelecendo a porcentagem de EPS um parâmetro de dosagem.

- Como contribuição importante para este trabalho considera-se relevante o papel do EPS em atuação nos estados fresco e endurecido. O EPS como substituição parcial aos agregados miúdos e graúdos se apresenta promissor para ser utilizado na produção de concretos autoadensáveis, com potencial para contribuir no controle das propriedades reológicas no estado fresco, quando for requerido, em razão de algum tipo de fino utilizado; no estado endurecido, embora contribua para a diminuição dos valores de resistência a compressão, e para o aumento da absorção d'água, a sua influência sobre estas propriedades do concreto pode ser controlada, permitindo que seja viável a sua utilização, evidentemente em função do atendimento às exigências particulares, conforme os requisitos de desempenho dados para o concreto endurecido.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂITCIN, P.-C. **Concreto de alto desempenho**. Tradução: Geraldo G. Serra. São Paulo: PINI, 2000, 667p.

ALCANTARA, M.A.M. **Bétons auto-plaçants et fibrages hybrides: Composition, rhéologie et comportement mécanique**. Toulouse, 2004, INSA, 192 p (thèse.).

- ALCÂNTARA, M.A.M.; LIMA, G.G.S. **O uso de Cinzas de Casca de Arroz e do Pó de Pedra como Finos na Produção do concreto Auto adensável**. 2º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos-SP, 2009.np.
- ALCANTARA, M.A.M.; SANTOS, B. V. **O uso de resíduos como finos na fabricação do concreto auto adensável**. In: Simpósio Latino Americano sobre Concreto Auto Adensável, 1, 2012, Maceió: IBRACON, 2012.np.
- ANDRADE, J.J.O; TUTIKIAN, B.F. Resistência mecânica do concreto, **CONCRETO: CIÊNCIA e TECNOLOGIA**, Editor Geraldo C. Isaia-IBRACON, 2011, p. 615-651
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 2001.4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 – **Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrico: procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222 **Argamassa e concreto – Ensaio de Resistência à tração por compressão diametral**. Rio de Janeiro, 1994(a).5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579 – **Cimento Portland– Determinação da Finura por Meio da Peneira 75 µm (Número 200)**. Rio de Janeiro, 1990, 2p.
- Association Française de Génie Civil (AFGC). **Bétons autoplaçants, recommandations provisoires**. Paris, 2000, np.
- BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. vol. 2. Rio de Janeiro: LCT. 1994. 531p.
- BENTUR, A. Cimentitious Materials. Nine millenia and a New Century, past, present, future. **Journal of materials of civil engineering**, 14-1, ASCE- American Society of Civil Engineers Materials Engineering Divisions, 2002.
- DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO (DOU) **Resolução nº307, de 05 de Julho de 202-** CONAMA, Brasília, no 136, 2002, p. 95-96.
- EFNARC. **Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. United Kingdom, 2002.
- LI, V.; KONG, H.; BIKE, S. **Constitutive Rheological design for development of Self-Compacting engineered cementitious composites**. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Self-Compacting Concrete. Tokyo, 2001, p.147-158.
- LISBOA, E.M. **Obtenção de concreto auto adensável utilizando resíduo do beneficiamento de mármore e granito e estudo das propriedades mecânicas**. (dissertação). UFAL. Maceió, 2004, 144p.
- MEHTA,P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997, 828p.
- PETRUCCI, E.J. **Concreto de Cimento Portland**. 7 ed. São Paulo: Globo, 1980. 307p.
- TEIXEIRA,A.M.; GAZZOLA,P.M.; GALZERANO, M.B.; RIBEIRO,L.C.L.J; LINTZ,R.C.C. e BARBOSA,L,A,G; **Produção de Concreto Auto adensável Utilizando Resíduos de Mármore**. Maceió. Anais do IBRACON- 54 Congresso Brasileiro do Concreto.UNICAMP, Campinas, 2012.
- TUTIKIAN, B.F.; MOLIN, D.C.D. **Concreto auto adensável**. São Paulo: PINI, 2008. 140p.
- WALRAVEN, J Evolution of concrete. in: **“Structural Concrete”**, 1999, 1, 01, p. 03-11.