

## **Avaliação da influência do tipo e teor de aditivo lubrificante na carga de compactação de concretos secos**

**(Evaluation of the influence of type and content of lubricant additive on compaction load of dry concretes)**

Gabriel C. P. Brasileiro, José Augusto F. S. de Mesquita, Danilo A. Niza, Roberto C. de O. Romano, Rafael G. Pileggi  
Escola Politécnica – Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 380 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-010  
gabrielperozzi@hotmail.com

### **Resumo**

Aditivos lubrificantes são utilizados nas composições de concretos secos para reduzir as forças de atrito entre os agregados e facilitar a compactação, o que permite melhorar a qualidade dos produtos no estado endurecido. Se tem notado que a eficiência dos equipamentos utilizados para a compactação está diretamente relacionada a qualidade do produto conformado. Enquanto cargas de compactação elevadas conferem melhor desempenho mecânico e maior densidade, demandam também maiores estruturas e quantidades de energia aplicada no processo. No entanto, poucos trabalhos são encontrados em literatura abordando o impacto da utilização dos lubrificantes para concretos secos durante a etapa de conformação, principalmente pela escassez de métodos científicos. Neste contexto, esse trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência do tipo e teor de aditivo lubrificante nas características de composições moldadas por compressão, seja durante o processo de conformação ou após o endurecimento. Os resultados indicaram que há boa correlação entre o processo de conformação e as propriedades mecânicas e que os aditivos apresentam distintas eficiências.

*Palavras chave: Concreto seco, compactação, lubrificante, propriedades mecânicas*

### **Abstract**

Lubricant additives are used in dry concrete compositions to reduce frictional forces between aggregates and facilitate the compaction, which may allow to improve the quality of the products in hardened state. What has been noticed is that the efficiency of the machines used for compaction is directly related to the quality of finished product. While high compaction loads impart better mechanical performance and higher density, they also require larger structures and high amounts of energy applied in the process. However, few studies are found in literature addressing the impact of the use of lubricants for concrete during the conformation stage, mainly due to the lack of scientific methods. In this context, this work was carried out with the objective of evaluating the influence of the type and content of lubricant additive on the characteristics of compositions molded by compression, either during the forming process or after hardening. The results indicated that there is a good correlation between conformation process and mechanical properties and that the additives present different efficiencies.

*Keywords: dry concrete, compaction, lubricant, mechanical properties*

## **INTRODUÇÃO**

A fabricação de componentes moldados através de compactação e vibro compressão é uma técnica tradicional e amplamente realizada, aplicada na produção de blocos de pavimentação e alvenaria, tubos de esgoto, sendo utilizado, para tanto, concretos com reduzido teor de umidade, conhecidos como concretos secos [1].

Este tipo de concreto, recebe esse nome pelo reduzido teor de água utilizado em sua mistura, consistência seca característica e reduzida coesão. A utilização de tais técnicas produtivas tem como base a alta produtividade, sendo realizada por grandes prensas e vibro-prensas, as quais tem a eficiência de sua compactação avaliada pela capacidade de eliminação dos vazios (proporcionando maior durabilidade e desempenho) e qualidade do produto final, sendo tal situação geralmente minimizada pela aplicação de vibração e controle de velocidade e de carga de prensagem durante o processo de compactação [2]–[4].

A reduzida quantidade de água favorece a formação de vazios, principalmente pela ineficiente acomodação das partículas e agregados gerados pela inação das forças mássicas (devido à falta de coesão). Tais vazios, que por sua vez estão diretamente relacionados com a mobilidade entre as partículas do sistema, podem também ser minimizados através da redução do atrito entre eles. Esse fato pode ocorrer pela utilização de partículas mais finas que compõem a pasta que afasta os agregados, pelo uso de aditivos lubrificantes de agregados ou pela combinação de ambas estratégias de dosagem [5].

Aditivos plastificantes e incorporadores de ar são geralmente aplicados em composições de concretos secos. Enquanto os plastificantes proporcionam melhora na coesão, diminuem a exsudação e aumentam a plasticidade, incorporadores de ar além da melhora da coesão, reduzem o módulo de elasticidade e, incorporam intencionalmente o ar, fator que promove uma característica lubrificante à estrutura do concreto. Uma melhora na lubrificação e/ou na coesão de concretos secos, permite a aplicação de máquinas com menores dimensões e capacidade de prensagem, e menor consumo energético gasto no processo [4], [6], [7].

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência de três tipos de aditivos, em diferentes teores, na carga de compactação e em parâmetros de desempenho do estado endurecido de concretos secos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### Matérias-primas

Neste trabalho utilizou-se cimento Portland do tipo CPV (Holcim), duas granulometrias de fíler calcário (Brasil Minas) – Profine 1 (F1, fíler de preenchimento) e Procarb 5 (F5, fíler de

substituição), areias normais brasileiras (IPT) e três tipos de aditivo (nomeados no trabalho por AD1, AD2 e AD3).

A densidade real (DR) de cada material seco foi determinada a partir de picnometria de gás Hélio (Multi Pycnometer – Quantachrome). A distribuição granulométrica das partículas finas foi medida através da técnica de difração à laser (Helos – Sympatec) utilizando água para dispersar as partículas e, das areias, determinada por análise dinâmica de imagens com dispersão por gravidade (QICPIC – Sympatec). A área superficial específica (ASE) foi determinada através do método BET (desenvolvido por Brunauer, Emmet e Teller), baseado na adsorção de gás nitrogênio na superfície da amostra, no equipamento Belsorp Max. Tais resultados são apresentados na Figura 1.

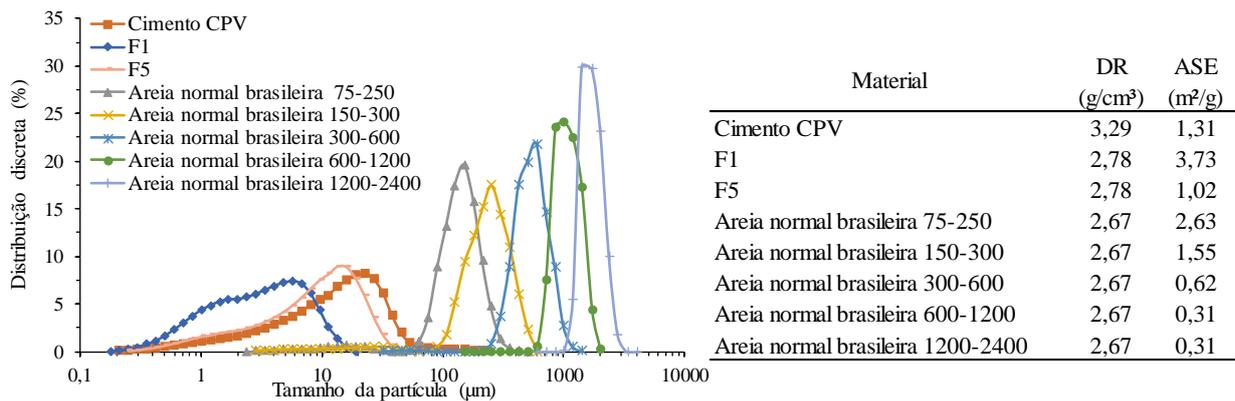


Figura 1 - Granulometria e caracterização física dos materiais

As areias utilizadas são comercializadas em tamanhos pré-determinados através do peneiramento realizado (exceto a fração denominada 75-250, a qual foi peneirada posteriormente em laboratório), portanto, apresentam distribuição granulométrica mais fechada. O cimento apresenta granulometria aberta e similar ao fíler de substituição (F5), porém com ASE superior, enquanto o fíler de preenchimento (F1) apresenta maior quantidade de partículas finas e maior ASE dentre os finos utilizados.

#### Composições do concreto seco

A seleção das areias da composição foi elaborada respeitando os intervalos granulométricos dos materiais disponíveis, buscando-se uma melhor eficiência no preenchimento de vazios de empacotamento. Foi definida uma composição referência (Figura 2), a qual possui 35% de partículas finas (cimento e filers calcário) e 65% de areias (Tabela 1). Foram utilizados três tipos de aditivo, sendo eles:

- aditivo 1, representado por AD1 (DARATARD CM 80): polifuncional plastificante e retardador de pega, a base de componentes hidro carboxílicos, isentos de cloretos;

- aditivo 2 – representado por AD2 (WRDA PR 2): polifuncional plastificante e retentor de água, a base de lignosulfonatos; e

- aditivo 3 – representado por AD3 (Darafill 200): aditivo incorporador de ar.

Utilizou-se dois teores de cada aditivo (0,3 e 0,6% - AD1 e AD2; 0,025 e 0,05% - AD3, em relação à massa total de partículas finas), considerando o teor máximo recomendado pelo fabricante. Por isso, a nomenclatura designada para cada composição indica o tipo de aditivo e o teor utilizado, ou seja, AD1 - 0,3%, ilustra a formulação com o Daratard CM80, no teor de 0,3%, e assim por diante.

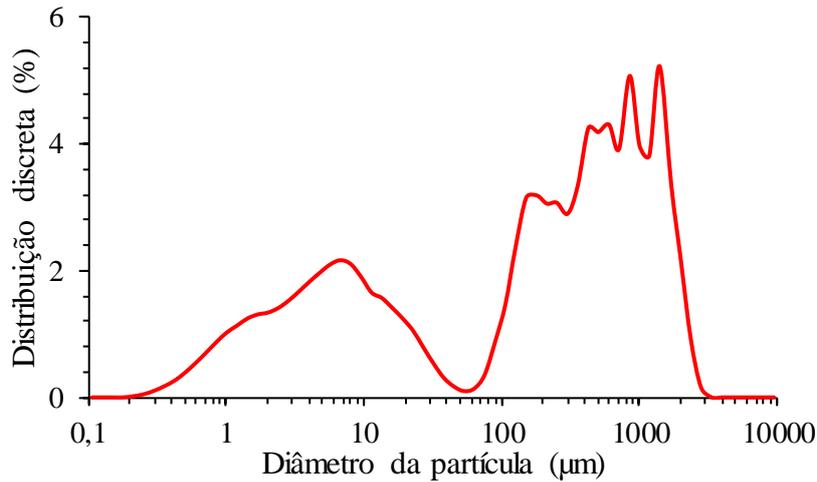


Figura 2 – Distribuição granulométrica do concreto seco

Tabela 1 - Composição de concreto seco

| Matéria prima<br>(% massa) | Composições |            |            |            |            |              |             |
|----------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|
|                            | Ref         | AD1 - 0,3% | AD1 - 0,6% | AD2 - 0,3% | AD2 - 0,6% | AD3 - 0,025% | AD3 - 0,05% |
| CPV                        |             |            |            |            |            |              |             |
| F1                         |             |            |            |            |            |              |             |
| F5                         |             |            |            |            |            |              |             |
| AN 75-250                  |             |            |            |            |            |              |             |
| AN 150-300                 |             |            |            |            |            |              |             |
| AN 300-600                 |             |            |            |            |            |              |             |
| AN 600-1200                |             |            |            |            |            |              |             |
| AN 1200-2400               |             |            |            |            |            |              |             |
| Água                       |             |            |            |            |            |              |             |
| Ad1 (%)                    | 0.00%       | 0,3%       | 0,6%       | 0.00%      | 0.00%      | 0.00%        | 0.00%       |
| Ad1 (g)                    | 0.00        | 2,94       | 5,88       | 0.00       | 0.00       | 0.00         | 0.00        |
| Ad2 (%)                    | 0.00%       | 0.00%      | 0.00%      | 0,3%       | 0,6%       | 0.00%        | 0.00%       |
| Ad2 (g)                    | 0.00        | 0.00       | 0.00       | 2,94       | 5,88       | 0.00         | 0.00        |
| Ad3 (%)                    | 0.00%       | 0.00%      | 0.00%      | 0.00%      | 0.00%      | 0,025%       | 0,05%       |
| Ad3 (g)                    | 0.00        | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0,245        | 0,49        |

A mistura do concreto seco foi realizada em uma argamassadeira de laboratório de eixo vertical com cerca de 2000g de pó. O material seco foi homogeneizado por 30s na velocidade 1 do equipamento, cessou-se o cisalhamento para a retirada do excesso de material da pá em

até 60s, e misturou-se por mais 30s. Posteriormente foi adicionado o aditivo já disperso em água, e misturado por mais 60s.

### Metodologia de moldagem dos corpos de prova

Adotou-se a metodologia de moldagem por compressão proposta por [2], a qual permite reproduzir em escala laboratorial a moldagem por compactação aplicada por vibro prensas industriais durante o processo de produção de peças cimentícias. Uma ilustração do setup de moldagem/avaliação do estado fresco é apresentada na Figura 3.

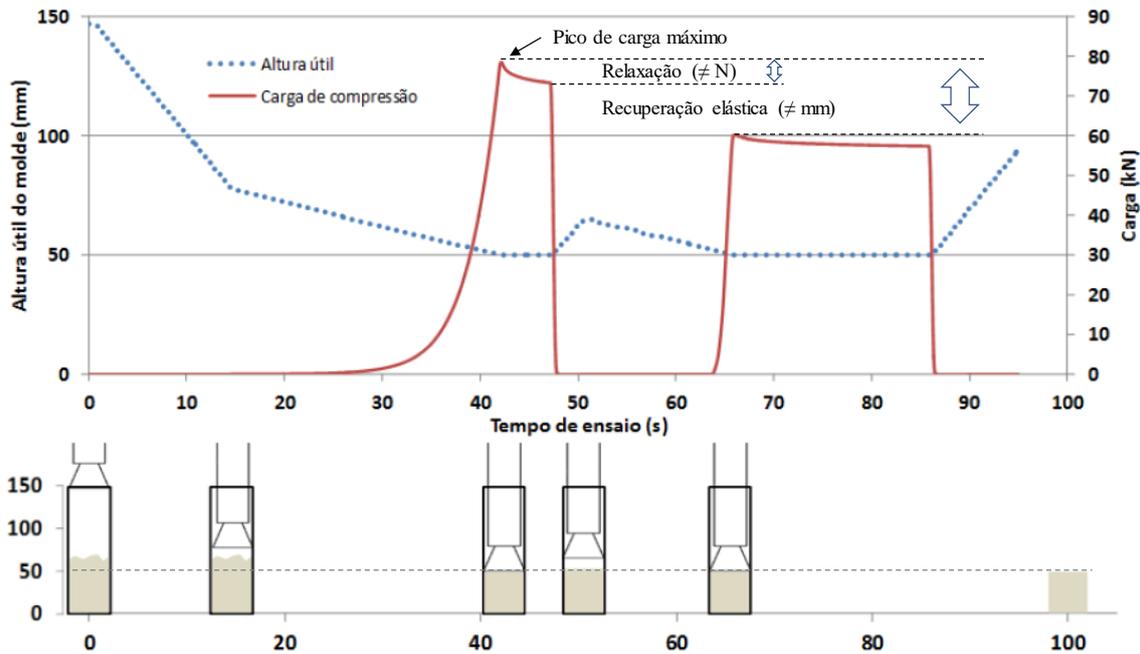


Figura 3 - Representação gráfica do ciclo de moldagem por compressão (adaptado de [8])

Após a mistura, uma quantidade de concreto seco é inserida em moldes metálicos bipartidos de espessura de parede 1mm. A amostra é comprimida por um pistão específico de 48mm de diâmetro acoplado à célula de carga da prensa (EMIC DL 10000 com célula de carga de 100kN). O pistão se desloca a uma velocidade controlada de 5 mm/s até 70 mm e 1 mm/s por mais 30 mm até o deslocamento total de 100 mm sendo o referencial o topo do molde bipartido. Ao atingir este deslocamento e registrar a carga de compactação neste ponto, o cilindro permanece em repouso por 5s. Em seguida, o pistão sobe 20 mm a uma velocidade de 5 mm/s, aliviando a carga sobre o concreto seco. Um novo ciclo de prensagem se reinicia por um período de 20s e se encerra, gerando corpos de prova de aproximadamente 50x50mm. A célula de carga registra os valores de deslocamento do pistão (mm), cargas de compactação (N) e tempos de ensaio (s) a cada instante do processo de compactação.

Desta forma é possível se obter o pico de carga máximo de compactação (N), a diferença de carga e de deslocamento entre os picos (1 e 2) máximos, representando, respectivamente, a

relaxação e a recuperação elástica (%) do corpo de prova e, a partir da área abaixo da curva, é calculado o trabalho empregado durante a compactação de cada mistura de concreto seco, sendo seu valor expresso em Joules (J).

Após o processo de moldagem, os corpos de prova foram armazenados em câmara úmida com temperatura  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  e 100 % de umidade por 24 horas, para que adquirissem resistência suficiente para a desmoldagem. Posteriormente, foram colocados novamente na câmara úmida, para serem avaliados com idades de 7, 28 e 63 dias.

#### Definição do teor de água e massa ideal do corpo de prova

Para a definição da massa ideal de concreto, foram realizadas moldagens prévias ao teste de teor de água, sendo adotada a máxima quantidade possível de massa (213 gramas) a qual não excedeu o limite de carga da célula da prensa (100kN) durante a moldagem por compressão. A partir da determinação da massa ideal do corpo de prova, foi definido o teor de água através da avaliação da densidade aparente dos corpos de prova do concreto verde. Para tanto, foram realizadas moldagens teste com 3 teores diferentes (8,5, 9,5 e 10,5% em relação à massa total de pó), analisando-se a consistência adequada de concreto seco (através da análise tátil-visual) e, a partir disso, foi realizada a compactação do concreto seco. Após esse processo, os corpos de prova foram medidos e pesados para o cálculo da densidade e porosidade de cada um (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros dos corpos de prova de concreto verde

| Amostra | Massa (g) | Altura média (mm) | Diâmetro médio (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Densidade aparente média | Densidade teórica (g/cm <sup>3</sup> ) | Volume vazios (%) |
|---------|-----------|-------------------|---------------------|-------------------------|---|--------------------------|--|-------------------|
|         | 211       |                   |                     |                         | 2,23                                    |                          |  |                   |
| 10,5%   | 210,9     | 51,5              | 48,5                | 1847,50                 | 2,21                                    | 2,23                     | 2,84                                   | 22,0              |
|         | 210,3     |                   |                     |                         | 2,21                                    |                          |  |                   |
|         | 212,6     |                   |                     |                         | 2,23                                    |                          |  |                   |
| 9,5%    | 212,3     | 51,5              | 48,5                | 1847,50                 | 2,23                                    | 2,23                     | 2,83                                   | 21,1              |
|         | 212,4     |                   |                     |                         | 2,23                                    |                          |  |                   |
|         | 212,2     |                   |                     |                         | 2,23                                    |                          |  |                   |
| 8,5%    | 212,3     | 51,5              | 48,5                | 1847,50                 | 2,23                                    | 2,23                     | 2,82                                   | 20,8              |
|         | 212,8     |                   |                     |                         | 2,23                                    |                          |  |                   |

Ainda que uma menor quantidade de água possa proporcionar menor resistência nos concretos secos, neste caso é necessário que seja possível que a mistura possa ser compactada, não ultrapassando os limites de carga da máquina utilizada e/ou não apresentando exsudação após a compactação. Adicionalmente, deve-se calcular a porosidade total do sistema. Em concretos secos, uma resistência superior é comumente alcançada com uma maior quantidade de água utilizada devido ao fato de a água atribuir plasticidade ao sistema, servindo de maneira indireta como lubrificante e, aumentando a quantidade de pasta da composição [9]. No

entanto, com a utilização de aditivos próprios para esse tipo de concreto buscou-se um teor reduzido de água, visando a avaliação do potencial lubrificante deles. Desta forma, como os teores de 8,5 e 9,5% de água apresentaram densidades próximas, optou-se pelo teor com menor quantidade de água e de vazios no sistema.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Estado fresco

Foram moldados treze corpos de prova para cada composição e suas curvas de compactação são apresentadas na Figura 4

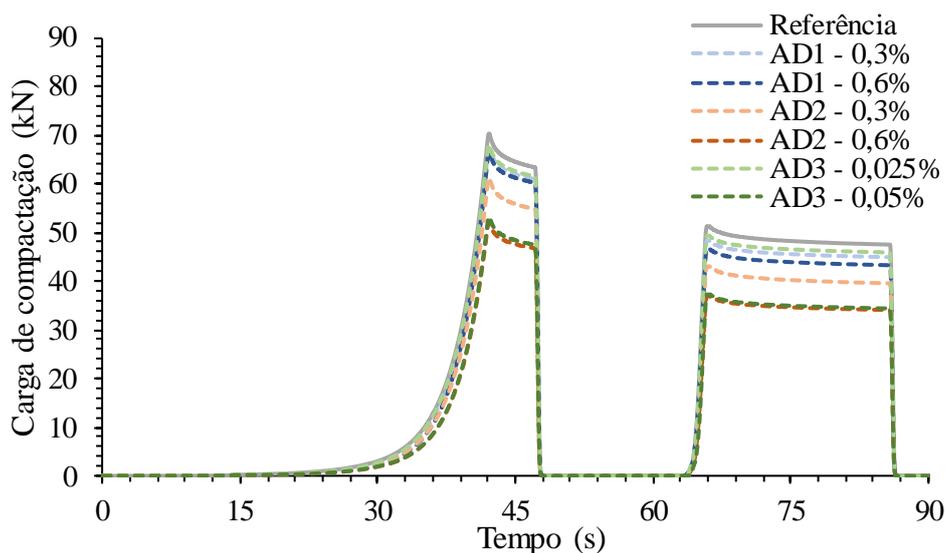


Figura 4 - Curva de compactação dos concretos secos

Elas representam o valor médio obtido em cada concreto, onde é possível observar que o comportamento de todas as composições foi semelhante, alterando-se apenas os patamares de carga. A partir dela é realizada a análise de diferentes parâmetros, mostrados na Figura 5.

A carga de compactação representa o valor máximo de força aplicado para a realização da conformação do corpo de prova no ciclo de moldagem. A energia total de compactação é calculada a partir da área abaixo da curva de resposta da moldagem por compressão, indicando a quantidade total de energia utilizada no processo. Os parâmetros de relaxação e recuperação elástica são relativos à resposta do corpo de prova frente às aplicações e alívio de carga. A relaxação é a diferença de carga entre o início e o final do primeiro pico de carga realizado, indicando a acomodação das partículas durante a prensagem. A recuperação elástica representa a diferença dimensional do corpo de prova, entre as partes iniciais dos ciclos de prensagem.

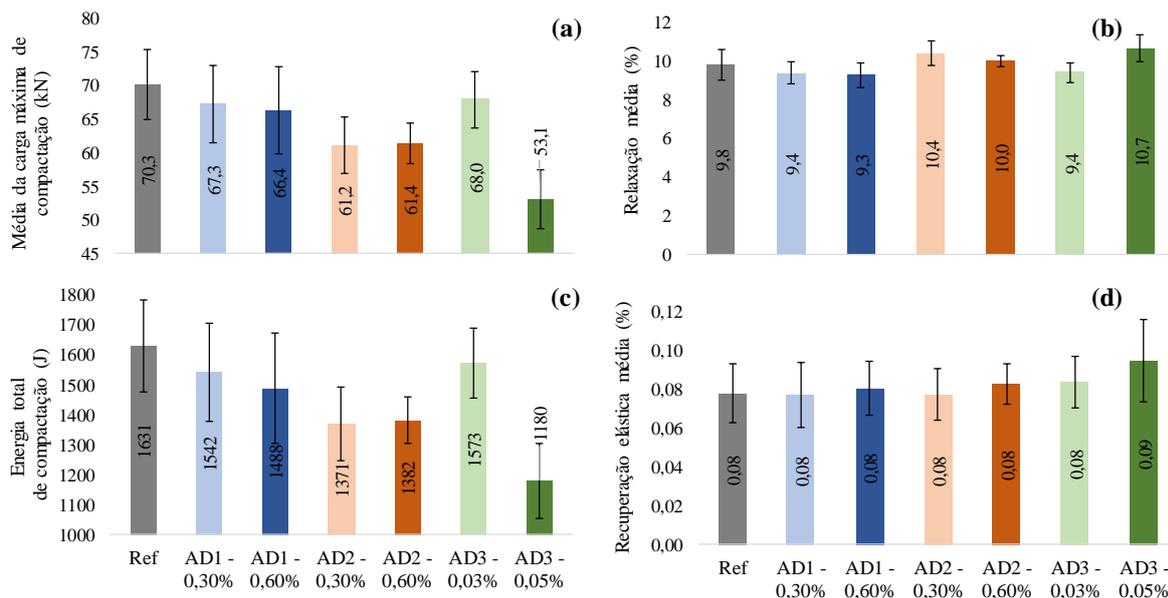


Figura 5 - Parâmetros de análise da reometria compressiva (médias): carga máxima de compactação (a), relaxação (b), energia total de compactação (c) e recuperação elástica (d)

A média da carga máxima de compactação foi alterada independentemente do tipo e do teor de aditivo utilizado. Diminuições mais significativas foram observadas nas composições AD2 em ambos os teores, onde a carga média no pico máximo diminuiu cerca de 9kN, e na composição AD3 – 0,05%, apresentando uma expressiva queda de 17kN de carga máxima em relação à referência. Ambas composições de AD1 apresentaram resultados semelhantes, ainda com resultados inferiores cerca de 3kN quando comparados à referência.

A energia total de compactação, parâmetro relacionado aos valores de carga máxima, apresentou resultados similares, tendo diminuído em todas as composições em que foi utilizado aditivo, indicando diminuições mais expressivas nas composições AD2 em ambos os teores e na composição AD3 – 0,05%.

No resultado de relaxação todas as composições apresentaram valores semelhante, sendo que uma maior relaxação, evidencia uma melhor acomodação entre as partículas entre os ciclos de compactação.

Entre todas composições o resultado de recuperação elástica é similar, apresentando uma mínima alteração na composição AD3 – 0,05% entre as demais.

Dentre as composições e os parâmetros avaliados, AD3 – 0,05% apresentou os melhores resultados, com menores cargas e energia de compactação.

### Estado endurecido

A avaliação no estado endurecido foi realizada em corpos de prova com 7 dias de cura.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme proposto na norma NBR5739/07 e seu resultado foi corrigido respeitando a relação entre altura (h) e diâmetro (d) do corpo de prova, vide Tabela 3.

Tabela 3 - Fator de correção para resistência à compressão

|                   |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Relação h/d       | 2,00 | 1,75 | 1,50 | 1,25 | 1,00 |
| Fator de correção | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,86 |

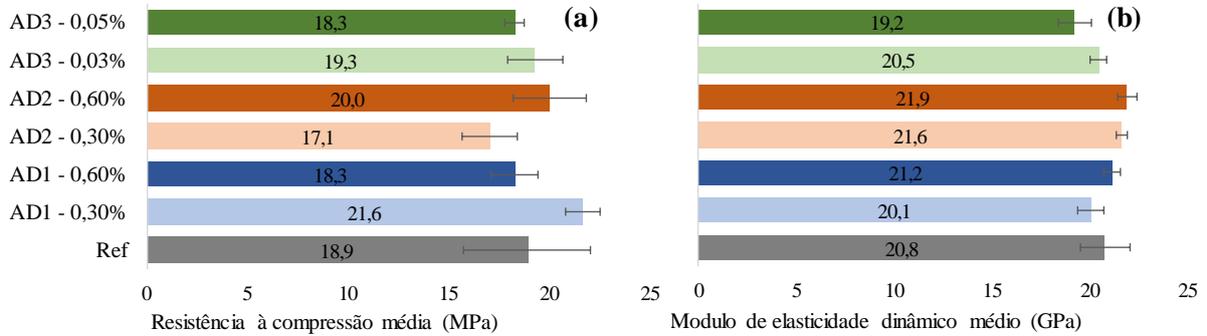


Figura 6 - Resultados dos concretos secos no estado endurecido: (a) resistência à compressão média aos 7 dias, (b) módulo de elasticidade dinâmico médio

Dentre as composições com utilização de aditivo, somente os concretos produzidos com AD2 - 0.60% e AD3 - 0.05% apresentaram resultado de resistência à compressão inferior à referência. As composições AD1 - 0,30% e AD2 - 0,60% apresentaram cerca de 15 e 10% de aumento na resistência mecânica média, respectivamente. O módulo de elasticidade foi determinado de acordo com a norma técnica brasileira NBR 15630 (ABNT, 2009), com um equipamento denominado 'pulso-eco' (*Pundit*), com transdutores de frequência 200 kHz. O módulo de elasticidade, ou módulo de Young, é a relação entre a tensão aplicada e a deformação elástica resultante, e indica a rigidez do material, sendo inversamente proporcional à porosidade. Todas as composições apresentaram módulo de elasticidade equivalente, sendo uma maior diferença (aproximadamente 5%), observada na composição AD - 0.05% em relação à referência, dado este já esperado, tendo em vista a utilização do aditivo incorporador de ar em maior quantidade, ocasionando microbolhas na estrutura dos corpos de prova [6].

## CONCLUSÕES

Todos os aditivos avaliados resultaram em diminuição na carga máxima de compactação dos concretos e, conseqüentemente redução na energia total aplicada no processo, evidenciando uma melhor eficiência para a produção dos concretos secos.

Tal informação é bastante relevante pois possibilita a produção dos componentes em equipamentos mais reduzidos, com limites de cargas menores.

As propriedades avaliadas no estado endurecido tiveram resultados semelhantes, indicando que não houve perdas de desempenho mecânico com a aplicação deles. A composição AD3 - 0.05% foi a que apresentou melhores resultados, tendo sido a menor carga máxima de compactação ( $\pm 25\%$  inferior à referência) e energia total aplicada (28% inferior à referência) e semelhantes resultados em compressão axial e módulo de elasticidade dinâmico.

Adicionalmente, pela pequena diferença presente nos resultados dos parâmetros analisados, recomenda-se a realização de tratamento dos dados através de análise estatística, para identificação da melhor composição.

A utilização dos aditivos nos teores empregados neste trabalho se mostrou benéfica e com bom potencial de aplicações em composições de concretos secos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Projeto 2014/50948-3 – INCT CEMtec – Tecnologias Cimentícias Ecoeficientes Avançadas), a Alcoa Foundation e a GCP Applied Technologies pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] D. A. Niza and S. C. Angulo, “CONCRETO SECO COM AGREGADOS RECICLADOS: CONTROLE DE VOLUME DURANTE A COMPACTAÇÃO,” Fortaleza, 2017.
- [2] M. L. Marchioni, “Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.,” text, Universidade de São Paulo, 2012.
- [3] J. A. Albaro, “A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial. Parte III: Variáveis do Processo de Compactação,” *Cerâmica Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–23, 2001.
- [4] S. Medeiros Albuquerque, “Estudo para uso de agregado de residuos de construação e demolicão em blocos de concreto para alvenarias,” dissertação, IPT, São Paulo, 2005.
- [5] A. Lima de Oliveira, “Contribuição para dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação,” tese, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- [6] R. C. de O. Romano, “Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil.,” tese, Universidade de São Paulo, 2013.
- [7] J. S. Lyra, “Estudo da influência de policarboxilato comercial na hidratação, reologia e físico-química de superfície do cimento.,” text, Universidade de São Paulo, 2010.
- [8] A. Yukio Nakano, D. dos Reis Torres, F. Ancona Grandes, F. Talbenkas Veras Maia, and G. Jun Fujitaki, “ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS INTERTRAVADAS DE CONCRETO,” TCC, Universidade de São Paulo, 2014.
- [9] F. C. Pirola, “Contribuição para o estudo de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação de 50MPa,” dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.