

## CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETOS LEVES USANDO PROCESSAMENTO TRIDIMENSIONAL DE IMAGENS DE MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Thiago Santos de Oliveira<sup>1</sup>; Susana Marrero Iglesias<sup>2</sup>; Paulo Eduardo Ambrósio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Universidade Estadual de Santa Cruz; Bolsista; PD&I HPC - FAPESB; thsoliveira@uesc.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC; Ilhéus-BA; smiglesias@uesc.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC; Ilhéus-BA; peambrosio@uesc.br

### RESUMO

A indústria da construção implanta processos sustentáveis e a adição de agregados leves apresenta-se como boa solução para obter misturas de concretos, absorvendo rejeitos de outros processos. Visando a ampla utilização destes novos materiais, é preciso conhecer suas características. Na ciência dos materiais, as técnicas de ensaios não destrutivos se destacam por manter a integridade do material examinado, gerando economia e sustentabilidade. Neste trabalho, foram analisadas imagens de oito amostras de diferentes composições de concretos, contendo adições de grãos de Etileno Acetato de Vinila (EVA) e fibras de piaçava, obtidas através de microtomografia computadorizada de raios-X. A análise tridimensional das imagens oferece descritores que tornam possível caracterizar a microestrutura interna da matriz cimentícia das amostras de concreto. Os resultados retornaram valores de porosidade e percentuais de grãos de EVA e fibras de piaçava reconhecidos pelo algoritmo nas amostras, estando de acordo com valores utilizados na composição dos corpos de prova.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concretos leves, segmentação, microtomografia, imagens tridimensionais.

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção planeja a reutilização de diferentes resíduos industriais como uma alternativa para reduzir o impacto ambiental tanto na construção civil quanto na produção industrial.<sup>1</sup>

Um dos resíduos que podem ser utilizados nestes concretos é o Etileno Acetato de Vinila, mais conhecido como EVA, material proveniente da indústria calçadista, que traz características de resiliência ao concreto.<sup>1</sup> Entretanto, agregados leves podem reduzir a resistência mecânica do concreto.<sup>2</sup> A recuperação da resistência é possível com a inclusão de fibras.<sup>3</sup> Entre estas fibras temos as de piaçava, uma espécie de palmeira, nativa da região sul da Bahia.

A necessidade de estudar a estrutura interna para entender o verdadeiro potencial desses materiais levam à utilização de ensaios. Entre estes, os não-destrutivos mantêm a estrutura do material ensaiado, evitando perdas de materiais e descartes desnecessários. Neste contexto destaca-se a microtomografia computadorizada de raios-X (micro-CT ou  $\mu$ CT), através da qual é possível analisar a microestrutura e obter informações quantitativas e qualitativas da amostra.

Uma das principais aplicações da micro-CT envolve a capacidade de identificar diferentes componentes na imagem, porém esse processo requer uma segmentação para separar os materiais e identificá-los.<sup>4</sup> Segmentar consiste em dividir a imagem em diferentes regiões, que serão analisadas posteriormente por algoritmos especializados em busca de informações.<sup>5</sup>

Desta forma, busca-se métodos de segmentação automatizados, acurados e eficientes, por exemplo, os métodos K-means<sup>6</sup>, de range-constrained Otsu.<sup>7</sup>

Neste trabalho, os métodos citados foram utilizados para limiarizar as imagens de  $\mu$ CT, a fim de obter a melhor separação entre a pasta de cimento, que fora considerada como fundo, e os poros, agregados leves de EVA, fibras piaçava e o agregado graúdo (brita), os quais foram considerados como objetos de estudo.

Assim, o presente trabalho utiliza técnicas de processamento de imagens tridimensionais, para segmentar imagens de micro-CT de concretos leves reforçados com fibras, com o objetivo de caracterizar a microestrutura interna da matriz cimentícia dessas amostras.

### 2. METODOLOGIA

Para a confecção dos corpos de prova deste estudo foram utilizados EVA moído e fibras de piaçava.<sup>2</sup> Os grãos de EVA utilizados foram divididos em duas categorias em relação ao seu diâmetro: EVA fino (até 850  $\mu$ m) e EVA grosso (entre 1,18 e 2,36 mm). A medida escolhida para as fibras de piaçava foi de 2 cm. Os ensaios geraram, para cada testemunho, em torno de 2100 imagens da sua seção transversal, todas em escala de cinza (8 bits) com 2240x2240 pixels cada uma.

Uma vez obtidas e classificadas as imagens em função da sua composição, iniciou-se o processo de segmentação, no qual a região de interesse (ROI) da imagem foi definida, a fim de separar a pasta de cimento dos elementos contidos no seu interior, sejam eles poros, EVA, fibras de piaçava ou agregados graúdos.

Todo o processo seguinte, no que diz respeito as imagens com destaque para poros, EVA e fibras, foi realizado com as imagens binarizadas através do range-constrained Otsu. Já para as imagens com destaque para o agregado graúdo foi utilizado o método k-means. Uma vez realizada a segmentação das imagens, foi possível então alimentar o algoritmo de processamento tridimensional para calcular o volume percentual de objetos presentes nas amostras.

Neste trabalho foi desenvolvido um algoritmo serial de duas passagens do tipo Union-Find, que utiliza as funções  $union(x,y)$  e  $find(x)$  para encontrar, unir e rotular elementos dentro das imagens binarizadas. Trata-se de um algoritmo para imagens bidimensionais que foi adaptado para tratar imagens tridimensionais e retornar os elementos encontrados com suas respectivas características.<sup>8</sup>

O algoritmo percorre todos os elementos da matriz tridimensional em uma determinada ordem que não é alterada pela complexidade da imagem, utilizando as posições anteriores na própria imagem bidimensional e posições apenas da imagem imediatamente anterior à analisada. Assim, esse algoritmo mantém apenas duas imagens binarizadas por vez carregadas na memória e uma imagem parcial em tons de cinza, tornando o consumo de memória mais eficiente, possibilitando a análise de imagens tridimensionais com tamanho superior à sua memória física.

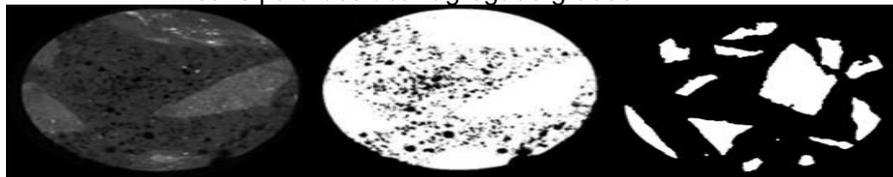
Este procedimento foi realizado para cada uma das nove amostras, tanto para as imagens segmentadas destacando poros, EVA e fibras, quanto para aquelas com destaque para o agregado graúdo. Assim, foram extraídas as características dos objetos encontrados, incluindo o volume total de objetos em relação ao total da amostra.

Por fim, foi desenvolvida uma rotina de classificação baseada nas características obtidas no algoritmo, tais quais média dos tons de cinza, volume, alongação, área de superfície, compacidade. Esta rotina permite discernir quais objetos encontrados no interior da matriz cimentícia são poros, EVA ou fibras de piaçava, tornando possível observar o comportamento das amostras.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foi destacada a importância da utilização de um método automatizado para limiarizar as imagens, de modo que o valor do limiar escolhido seja o mais apropriado para cada imagem. Com duas binarizações distintas das imagens, que podem ser observadas na Figura 1, foi possível distinguir, em cada fatia, os percentuais de pixels que foram classificados como objetos na segmentação e representam os poros, agregados em EVA, fibras de piaçava e agregados graúdos.

Figura 1: a) Imagem original de microtomografia computadorizada de raios-X. b) Segmentação com o método range-constrained Otsu para destacar poros fibras e EVA. c) Segmentação com o método k-means para destacar agregado graúdo.



Fonte: Autoria Própria

O algoritmo tridimensional foi alimentado com as imagens binarizadas para que se pudesse extrair as informações e características dos objetos no interior da matriz cimentícia das amostras. A análise tridimensional traz maior precisão à avaliação do comportamento dos concretos, refletida nos resultados da segmentação do agregado graúdo, onde foram obtidos valores entre 26,22% e 40,87%. Os resultados se encontram em uma faixa de valores compatível com a estimativa da composição dos corpos de prova, cuja adição de agregado graúdo variou entre 32,80% e 44,16% do volume total do traço.

O algoritmo também retornou os percentuais de poros, EVA e fibras, de maneira isolada, em cada amostra. Foram encontrados valores de porosidade entre 0,87% e 2,69% do volume total das amostras. Para o concreto de referência (CR) o seu índice de porosidade foi de 1,28%, uma pequena diferença em comparação com os resultados dos ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio, o qual apresenta valor 1,51%, apenas 0,23% acima do ensaio de microtomografia. Entre as desvantagens da intrusão de mercúrio, reside a impossibilidade de detectar poros fechados e à medida em que o mercúrio penetra na amostra a parede dos poros podem se romper.<sup>9</sup>

A amostra com 1% de fibra e 15% de EVA fino apresentou o menor valor de porosidade (0,87%) entre as amostras estudadas, esse valor coincide a presença do maior percentual de agregado graúdo (40,87%).

Em caráter comparativo, foram reconhecidos 222217 objetos como poros na amostra 1EF15, o que representou apenas 0,87% do volume total da amostra, enquanto no CR foram identificados 218619 objetos como poros, representando 1,28% do volume total desta amostra. Isto significa dizer que, apesar da maior quantidade de poros, ela não reflete no percentual em relação ao volume da amostra. Esta relação pode ser

explicada por conta da presença de uma quantidade maior de objetos em combinação com um maior percentual de agregado graúdo, limitando o tamanho dos poros.

Os percentuais de objetos classificados como grãos de EVA nas amostras foram contabilizados entre 0,1% e 11,26%. Estes valores são compatíveis com os calculados na estimativa da composição do traço dos corpos de prova, encontrados entre 2,22% e 11,04%. A exceção no caso fica pela amostra 1EF5, que apresentou apenas 0,10% de objetos reconhecidos como grãos de EVA, de forma que este valor se refere à apenas 412 objetos. A amostra EF5, por exemplo, retornou 2997 objetos rotulados como EVA, equivalentes a 2,09% do volume total da amostra. A presença de um agregado graúdo de maior dimensão pode ter afetado os resultados dessa amostra, não permitindo a presença de uma quantidade maior de objetos.

Na estimativa realizada com base no traço das amostras as fibras de piaçava representam 0,98% do volume total dos corpos de prova de 100 mm x 200 mm. Na análise tridimensional esses valores apresentaram uma variação entre 0,22% e 0,91%.

É importante ainda ressaltar o tamanho do elemento fibra de piaçava, definido em 20 mm, quando confrontado com o tamanho da amostra lida no microtomógrafo (25 mm x 40mm) pode não permitir a presença significativa dentro da amostra.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados foram comparados com dados obtidos a partir da composição do traço a partir do qual os corpos de prova foram formados, comprovando a relevância do algoritmo e a eficácia da rotina.

A etapa de segmentação representou um avanço importante nos estudos dos ensaios microtomográficos de concretos. Automatizar a binarização permitiu obter resultados mais precisos uma vez que à cada imagem foi designado um limiar próprio, reduzindo a propagação de erro nas etapas seguintes. Uma segmentação eficiente aumenta a confiabilidade do método e garante uma boa leitura nos algoritmos de classificação.

As amostras contendo apenas grãos de EVA apresentaram melhores resultados por possuírem uma menor quantidade de material no interior da matriz cimentícia e uma variação maior nos tons de cinza, permitindo uma separação mais eficiente.

Considerando estes resultados, é possível concluir que a análise tridimensional de imagens microtomográficas como ferramenta no estudo de concretos leves é uma opção viável com o ajuste adequado da rotina de classificação. A próxima etapa deste projeto é avaliar a paralelização das rotinas com o objetivo de aumentar a eficiência do método.

#### Agradecimentos

Agradeço ao SENAI CIMATEC e à UESC pela oportunidade e apoio e a FAPESB pelo fomento.

#### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> KUNZLER, Lara; VIER, Lucas Carvalho; BUENO, Bruna; HUPPES, Fábio Augusto; SILVA, Joice Moura. **Utilização De Eva Na Fabricação De Concreto**. Cruz Alta: Revista GEDECON-Gestão e Desenvolvimento em Contexto, 2017.
- <sup>2</sup> DIAS, Leonardo Alves. **Concreto Incorporado Com Eva E Fibras De Piaçava: Uma Alternativa Sustentável Na Construção Civil**. Ilhéus: Dissertação de Mestrado PPGC/UESC, 2017.
- <sup>3</sup> OLIVEIRA, Carlos Augusto de Souza; GOUVEIA, Leonardo Lúcio de Araújo; TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez. **Concreto Estrutural com adição de fibras vegetais**. Belo Horizonte: Construindo, 2014
- <sup>4</sup> DU PLESSIS, Anton; BOSHOFF, William P. **A review of X-ray computed tomography of concrete and asphalt construction materials**. Stellenbosch: Construction And Building Materials, 2019.
- <sup>5</sup> DE ALBUQUERQUE, Márcio Portes; DE ALBUQUERQUE, Marcelo Portes. **Processamento de imagens: métodos e análises**. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas MCT, 2000.
- <sup>6</sup> JAIN, Anil K. **Data clustering: 50 years beyond k-means**. Pattern recognition letters, 2010.
- <sup>7</sup> XU, Xiangyang; XU, Shengzhou; JIN, Lianghai; SONG, Enmin. **Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications**. Pattern Recognition Letters, 2011.
- <sup>8</sup> MENDONÇA, Rodrigo Silva. **Caraterização de argamassas leves usando processamento tridimensional de imagens e processamento paralelo**. Ilhéus: Dissertação de Mestrado PPGMC/UESC, 2016.
- <sup>9</sup> CAMPOS, Joao Vitor; LAVAGNINI, Isabela Reis; FERREIRA, Julieta Adriana; MONTRAZI, Elton Tadeu; BONAGAMBA, Tito José; PALLONE Elíria M. J. Agnolon. **Comparative analysis between different porosimetric tests on macroporous alumina**. Rio de Janeiro: Materia, 2017.