

CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO ENDURECIDO UTILIZANDO SCÂNER DE MESA E MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

R. E. WILSON (1), J. R. PESSOA (1), J. T. DE ASSIS (1), D. S. DOMINGUEZ (2), L. A. DIAS (2), M. R. SANTANA (2).

(1) Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ-IPRJ), (2) Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

Instituto do Noroeste Fluminense de Educação Superior da Universidade Federal Fluminense

Avenida João Jasbick, s/nº - Bairro: Aeroporto - Santo Antônio de Pádua, RJ - CEP: 28470 00, jrenatopessoa@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho propõe o uso de processamento digital de imagens para analisar amostras de concreto endurecido obtidas por meio de escâner de mesa e por microtomografia. Serão utilizadas técnicas para obtenção de dados numéricos sobre a distribuição e geometria dos agregados e poros do concreto, bem como sua posição relativa. Espera-se que os dados obtidos possam produzir informações sobre a evolução de patologias do concreto como a RAA, e o processo de gelo/degelo.

Palavra-Chave: Concreto, Processamento de Imagem, Escâner, Microtomografia Computadorizada.

INTRODUÇÃO

O concreto é um material compósito composto por uma matriz cerâmica (cimento) e uma fase dispersa também cerâmica (agregados miúdos e graúdos). Pode conter também adições e aditivos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas CALLISTER (2008).

O concreto de cimento portland, provém da mistura do agregado miúdo, geralmente areia lavada, do agregado graúdo, geralmente a brita, do corpo sólido que liga as partes agregadas entre si, que é o cimento portland e água NEVILLE (2013).

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, não se decompõe mais.

Resulta de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento até a fusão incipiente de uma mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda cal se combine com os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial. Após a queima, é feita pequena adição de sulfato de cálcio, de modo que o teor de SO_3 não ultrapasse 3,0% a fim de regular o tempo de início das reações do aglomerante com a água PETRUCCI (1998).

Aproximadamente 3/4 do volume do concreto é ocupado por agregados. Eles não só limitam a resistência do concreto, como também suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto. Do ponto de vista econômico, é vantajoso produzir misturas com o maior teor de agregado e a menor quantidade de cimento possível. Esta relação tem que ser contrabalançada com as propriedades desejadas do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido NEVILLE (2013).

A classificação mais importante dos agregados é a classificação que divide os agregados segundo o seu tamanho, isso em virtude do comportamento bastante diferenciado de ambos os tipos quando aplicados nos concretos. Nessa classificação subdividimos os agregados em miúdos e graúdos PETRUCCI (1998).

O agregado miúdo, segundo a norma NBR7211 (2009) é definido como areia de origem natural ou agregado resultante de britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambos os materiais, no qual seus grãos passam pela peneira ABNT 0,0048m e ficam retidos na peneira ABNT 0,000075mm.

O agregado graúdo, segundo a norma NBR 7211 (2009) é definido como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou ainda a mistura de ambos, no

qual seus grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 0,152m e ficam retidos na peneira de 0,0048m.

A junção entre agregados miúdos e graúdos na composição do concreto tem a função de conseguir um bom empacotamento denso na massa final. As partículas finas de areia preenchem os espaços vazios entre as britas provocando o empacotamento denso como desejado. Todo o conjunto de agregados deve ser adicionado de modo que a quantidade de pasta (cimento com água) seja suficiente para cobri-lo por inteiro, caso contrário a ligação de cimentação não ocorrerá NEVILLE (2013).

A qualidade das estruturas produzidas com este material estará fortemente relacionada com os materiais utilizados na fabricação do concreto, suas propriedades, reações que podem ocorrer entre seus componentes bem como as condições às quais a estrutura será exposta. Dentre os diversos processos de deterioração do concreto temos: a corrosão das armaduras, a ação gelo degelo, o ataque por sulfatos e a reação álcali agregado (RAA).

Uma vez endurecido, dados sobre a disposição dos agregados e dos poros de ar são aspectos importantes tanto na resistência do material produzido, como no impacto dos efeitos nocivos das patologias do concreto, em especial a RAA (que ocorre na interface entre os agregados e a pasta) e a ação gelo degelo, influenciada pela disposição dos poros.

O objetivo deste trabalho é avaliar e comparar técnicas para caracterização do concreto endurecido por meio de processamento de imagens serão comparados métodos por tomografia computadorizada e por escâner comercial.

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram confeccionados 3 corpos de prova de 0,20 m de altura e 0,10 m de diâmetro de acordo com a NBR 5738 (1994) no Laboratório de Ensaios Físicos da UERJ - IPRJ, Nova Friburgo, utilizando um traço para o concreto com resistência esperada aos 28 dias de 20 MPa. A Tab.1 mostra o traço utilizado para 1m³ de concreto.

A cura úmida dos corpos de prova foi realizada em tanque de água segundo a norma ABNT NBR 9479 (2006), iniciada imediatamente após a desforma dos mesmos.

Após 28 dias os corpos de prova foram fatiados com cortes a cada 5 cm obtendo-se ,assim, 4 fatias por corpo de prova.

Tabela 1 – Traço para 1 m³ de concreto com resistência aos 28 dias de 20 MPa.

| COMPONENTES | TRAÇO (1m ³) |
|--------------------|-----------------------------|
| Cimento CP II E 32 | 350 kg |
| Areia | 830 kg |
| Brita 0 | 100 kg |
| Brita 1 | 830 kg |
| Água | 223 L |

Cada fatia de um corpo de prova recebeu a identificação com a numeração crescente de 1 a 4, onde a fatia número 1 se refere a fatia superior e fatia número 4 se refere a fatia inferior.

Na Fig. 1, é possível observar os corpos de prova fatiados e identificados.



Figura 1 – Corpos de prova fatiados e devidamente identificados. Fonte: o Autor.

Metodologia Utilizada com Escâner de Mesa

A fenolftaleína é um indicador ácido, ou seja, possui hidrogênio ionizável em sua estrutura. Quando o meio está ácido (pH menor que 7), a molécula de indicador é “forçada” a manter seus hidrogênios devido ao efeito do íon comum, quando o meio está básico (pH maior que 7), os hidrogênios do indicador são fortemente atraídos pelo grupos de hidroxila para formarem água, e neste processo são liberados os ânions do indicador que irão colorir o meio MAIA(2007).

A fenolftaleína apresenta uma coloração rosa para o concreto em uma faixa de pH de 8,0 a 10 MAIA(2007).

Após o fatiamento dos corpos de prova, foi aplicada a solução de fenolftaleína, esta reage com maior intensidade com a pasta do concreto, fazendo com que a mesma apresente coloração mais avermelhada quando comparada aos agregados graúdos (brita) presentes na amostra.

Após a aplicação da solução de fenolftaleína e secagem completa dos corpos de prova, cerca de 20 minutos, foram obtidas imagens das superfícies internas do corpo de prova utilizando um escâner comercial de mesa HP DESKJET F4180 com resolução de 2400 dpi Fig. 3.

Ao final do procedimento, foram obtidas imagens com aproximadamente 9 cm² de área, em padrão RGB de 24bits Fig. 2.



Figura 2 – Imagem obtida com Escâner. Fonte: o Autor.

Originalmente desenvolvida por G. Matheron e J. Serra na “Ecole des Mines” para análise de dados geológicos e da estrutura de materiais, Morfologia Matemática se mostra uma ferramenta eficiente na segmentação de imagens binárias, no experimento realizado foi feita a aplicação da técnica semelhante a utilizada na detecção de quartzo (WILSON, 2005) para destacar os elementos de interesse em imagens de concreto.

Tal procedimento trata-se de uma remoção de ruído morfológico (abertura + fechamento binário, com elemento estruturante um disco de 4 pixels), em seguida foi feita a remoção dos agregados com menos de 3000 pixels de área, pois os mesmos representam agregados miúdos (areia).



Figura 3 – Imagem após Threshold e Imagem tratada por morfologia Matemática. Fonte: o Autor.

Com as mesmas amostras, foi utilizada uma técnica diferente para a detecção dos poros do concreto. Cada imagem era lida pelo programa que identificava as áreas de baixa frequência na mudança de tons de cinza deixando a área de baixa frequência com tons mais escuros próximos ao preto. Posteriormente era feita uma binarização com regulagem manual do “threshold” de binarização. Essa regulagem foi feita para cada imagem a fim de se buscar um resultado com menor erro. Após esse passo a imagem era filtrada pelo programa utilizando as operações morfológicas de dilatação e de erosão com elemento estruturante circular de raio igual a 8 pixels para a remoção de ruído.

Esse método de detecção de regiões de baixa frequência na mudança de tons de cinza foi aplicado, visto que foi observado que nas áreas porosas a imagem era desfocada (baixa frequência). Isso se deve ao fato da superfície do poro não entrar

em contato com o vidro do escâner, local onde o escâner obtém seu melhor foco para obtenção da imagem. Um método de localização de poros por detecção de regiões escuras não foi possível, pois em alguns pontos havia regiões escuras que poderiam ser interpretadas erradamente como poro, como por exemplo, na área da brita.

Na Figura 4 pode-se observar uma seqüência de imagens geradas pelo filtro de freqüência.

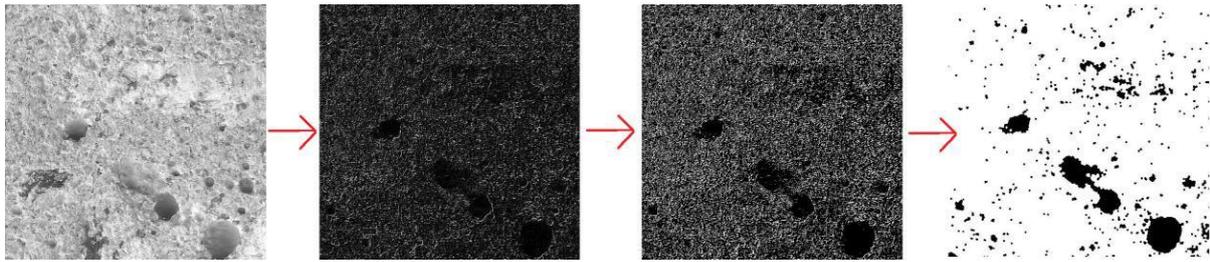


Figura 4 – Imagem após detecção de áreas de baixa freqüência pelo filtro Sobel.

Por fim, foi aplicado o mesmo processo de remoção de ruído do experimento anterior.

Metodologia Utilizada com Escâner de Microtomografia

Foram utilizados como amostras corpo-de-prova cilíndrico medindo 0,025mm de diâmetro por 0,050mm de altura. Fig. 5. Estes foram produzidos seguindo os mesmos parâmetros utilizados para os corpos de prova do experimento anterior. Contudo possuem tamanho reduzido por limitação do Tomógrafo utilizado.



Figura 5 – Corpos de prova utilizados para Microtomografia. Fonte: o Autor.

As imagens foram estão obtidas com o tomógrafo utilizado foi o SkyScan, modelo 1172, Fig. 6. Trata-se de um aparelho compacto de microtomografia de alta resolução ($14,97 \mu\text{m}$) que opera com tubo de raios X em intervalo de tensão de 20 a 100kV e com potência até 10 W.

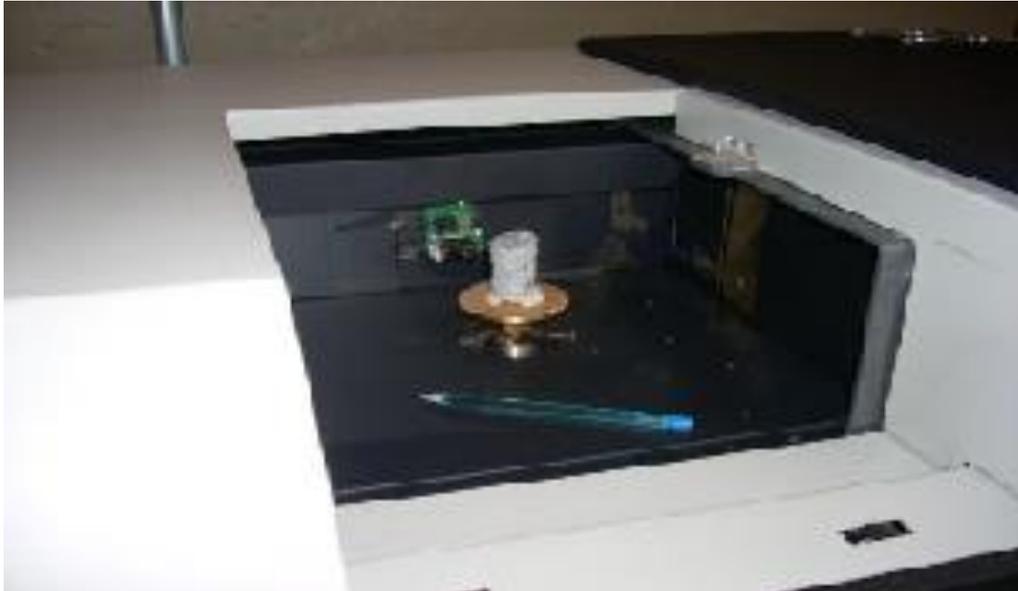


Figura 6 – SkyScan, modelo 1172 com o corpo de prova. Fonte: o Autor.

Tabela 2 – Configurações do Microtomógrafo.

Potência :100 kV, 100 mA.

Tamanho do Pixel = $14,97 \mu\text{m}$.

DSO= $181,987 \text{ mm}$, DSD= $281,728 \text{ mm}$.

Filtro = Al + Cu.

Ângulo de Rotação = $0,40^\circ$.

Tempo de exposição = 885 ms.

Feixe Cônico - Ângulo Horizontal = $9,41^\circ$.

Feixe Cônico - Ângulo Vertical= $4,94^\circ$.

Espessura da fatia = $14,97 \mu\text{m}$.

Para cada amostra foram obtidas 1200 imagens de cortes do concreto como o apresentado Fig. 7

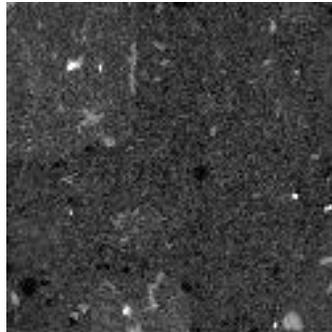


Figura 7 – Corte obtido por microtomografia. Fonte: o Autor.

Como o índice de atenuação do ar é muito diferente do dos componentes do concreto, é muito simples fazer a detecção de porosidade por microtomografia, na Fig 8 mostramos uma construção tridimensional com todos os poros encontrados na amostra.

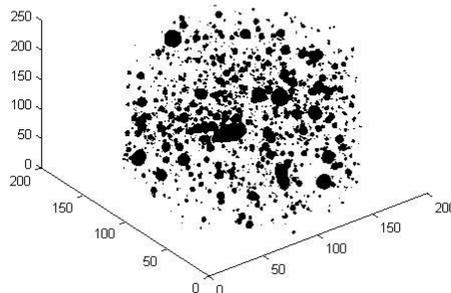


Figura 8 – Poros identificados por microtomografia. Fonte: o Autor.

No caso de detecção de agregados por microtomografia, a proximidade dos coeficientes de atenuação tornou muito difícil a implementação de um sistema de visão computacional que fizesse a segmentação dos agregados.

A rocha que compõe os agregados não é uniforme e possui variações do coeficiente de atenuação que se confunde com a pasta. Fig 9.

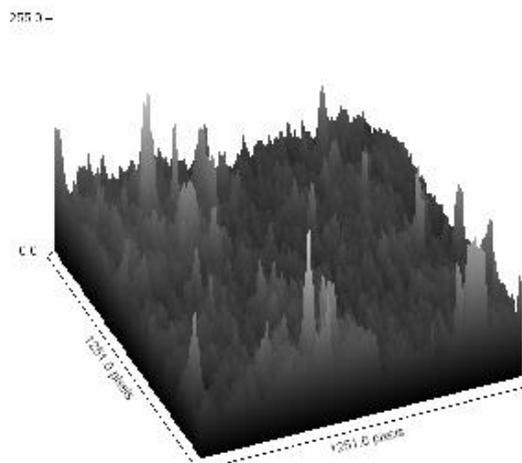


Figura 9 – Corte da Fig.7 exibido como superfície. Fonte: o Autor.

Dentre os testes realizados, não foi identificado nenhum método que produzisse resultados satisfatórios,

Resultados

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos para a quantidade média de agregado graúdo por corpo de prova após a análise das 90 imagens, utilizando-se do método de escaneamento de amostra tratada com fenolftaleína.

Tabela 3 – Quantidade média de agregado graúdo por Corpo de Prova.

| Corpo de Prova | Quantidade Média de Agregado Graúdo por CP (%) | Quantidade Total Média de Agregado Graúdo no Concreto (%) |
|----------------|--|---|
| 1 | 38,8 | |
| 2 | 38,5 | 37,87 |
| 3 | 36,3 | |

Para efeito de comparação, se fez necessário obter o percentual de agregado graúdo real presente nas amostras de concreto de acordo ao traço mostrado na Tab.1.

Obtivemos valor real de 32,67 % de agregado graúdo presente no traço do concreto.

Na Tabela 4, temos os resultados obtidos para a porosidade por corpo de prova após a análise das 90 imagens, utilizando-se do método de filtragem no domínio da frequência, o filtro escolhido foi o Sobel.

Tabela 4 – Porosidade média por Corpo de Prova.

| CORPO DE PROVA | IMAGENS | POROSIDADE (%) | DESVIO PADRÃO (%) |
|-----------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|
| CP1 | 30 | 2,65 | 1,37 |
| CP2 | 30 | 2,80 | 1,36 |
| CP3 | 30 | 3,91 | 1,18 |

Utilizando o micro tomógrafo foram feitas 1200 imagens em 7 corpos de prova extraídos da mesma amostra de concreto (Tabela 5), e o resultado foi comparado com o obtido pela NBR 9778/2005 na Tabela 6.

Tabela 5 – Porosidade por Corpo de Prova. Threshold=90%

| C.P. | Porosidade | Desvio Padrão |
|-------------|-------------------|----------------------|
| S30-4 | 1,04% | 0,522 |
| S30-5 | 1,60% | 0,431 |
| S30-6 | 3,13% | 1,436 |
| S30-7 | 1,48% | 0,577 |
| S30-8 | 2,55% | 0,666 |
| S30-9 | 1,43% | 0,412 |
| S30-10 | 3,05% | 0,744 |

Tabela 6 – Porosidade identificada comparada entre a microtomografia e NBR 9778:2005

| Porosidade Média | Porosidade NBR 9778/2005 |
|-------------------------|---------------------------------|
| 2,04% | 2,08% |

Conclusões

Com os resultados obtidos foi possível verificar que o método de processamento de imagens utilizado para determinar os percentuais de agregado graúdo por escâner retornou resultados com diferença para mais de aproximadamente 16%.

Os resultados obtidos quanto a porosidade também se mostraram dentro do esperado, e correspondem ao que é apresentado pela literatura.

A provável causa das diferenças encontradas é o “threshold” de corte da binarização, que pode estar lendo algum ruído como sendo agregado.

Conclui-se que o método utilizado chegou a um resultado satisfatório quando comparado com a quantidade de agregado graúdo efetivamente presente na mistura, e da porosidade, sendo necessários ajustes no programa desenvolvido.

A utilização do Escâner Comercial para se obter imagens do concreto se apresentou como um método aceitável por seus resultados e principalmente por seu baixo custo e facilidade de operação.

O uso de micro tomografia, por sua vez, é um método não destrutivo que demonstrou produzir excelentes resultados na detecção de poros, mas não se mostrou eficiente na detecção de agregados.

O grande problema encontrado na detecção de agregados por microtomografia é proximidade dos valores dos índices de atenuação dos componentes da rocha com o da pasta, que aliado a enormidade de rochas que podem ser utilizadas na produção do concreto, mostra-se ineficaz, excetuando-se casos específicos.

Referências

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**. 6ª ed. - Rio de Janeiro - LTC, 2008.

NEVILLE, A.M., BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2ª ed. - São Paulo – Bookman, 2013.

PETRUCCI, E. G. R.. **Concreto de Cimento Portland**. 13ª ed. Porto Alegre - Globo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 7211 Agregado para concreto. Rio de Janeiro, ABNT, 1983.

MAIA, D.J., BIANCHI, J.C.A. **Química Geral**. 1ªed. – São Paulo – Pearson, 2007.

PETERSON, K. Air Void Analysis of Hardened Concrete by Scanner. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Michigan Technological University, Michigan – USA, 2001

GONZALES, R.C.: WOODS, R.E. “**Processamento de Imagens Digitais**.”, Edgar Blucher. São Paulo – Brasil – 2000.

Pessoa, J.R.C. “**Microtomografia com raio-X e processamento de imagens na obtenção da porosidade do concreto**”, Tese de Doutorado, IPRJ/UERJ.

SILVA, A.O.: WILSON, R.E.: ASSIS, J.T., “**Uso do Processamento de Imagem para Caracterização e Classificação da Pedra Madeira**.” VI Encontro de Modelagem Computacional, IPRJ/UERJ.

WILSON, R. E. “**Sistema para Identificação de Fitas de Quartzo em Imagens de Pedra Madeira utilizando Morfologia Matemática**”, Dissertação de Mestrado, IPRJ/UERJ, Nova Friburgo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5738: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 9479 Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

TITLE

CONCRETE HARDENED CHARACTERIZATION USING TABLE SCANNER AND
MICROTOMOGRAPHY COMPUTED

ABSTRACT

This paper proposes the use of image processing technologies to analyze hardened concrete samples obtained from table scanner and micro tomography. Techniques will be used to obtain numerical data on the distribution and geometry of aggregates and pores of the concrete, as well as their relative position. It is expected that the data

obtained can produce information on the research of concrete pathologies such as AAR, and the freeze / thaw process.

Keywords: Concrete, Image Processing, Scanner, Computed Microtomography.