

CLUSTER: ConstruTech & Indústria 4.0

CURSO: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da IMED

UMA BREVE REVISÃO SOBRE O USO DA TÉCNICA DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) ALIADA A ESPECTROSCOPIA DE RAIOS X (EDS) PARA O ESTUDO DE PATOLOGIA EM CONCRETOS

Rodrigo H. R. Q. Melo¹; Taís Comparsi²; Richard Thomas Lermen³; Francieli T. Bonsembiante⁴

1 Mestrando no programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Faculdade Meridional – IMED. rodrigoquevedo@gmail.com

2 Mestrando no programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Faculdade Meridional – IMED. taiscomparsi@hotmail.com

3 Professor em Engenharia Civil. Faculdade Meridional – IMED. richard.lermen@imed.edu.br

4 Orientador(a). PhD, Professora em Engenharia Civil. Faculdade Meridional – IMED. francieli.bonsembiante@imed.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é um dos mais importantes materiais estruturais usados na construção civil. Sendo que países em crescente desenvolvimento, assim como China, Índia e Brasil, se destacam como os maiores consumidores desse material. Por esse motivo buscam-se meios de avaliar e garantir a durabilidade das estruturas de concreto, que não se limitam apenas às questões de ordem técnica, mas também questões econômicas, ambientais e de segurança.

Melhorias constantes no processo construtivo buscam reduzir ao máximo as manifestações patológicas, porém visto a necessidade de desenvolvimento em pouco espaço de tempo, principalmente em países emergentes as conjunturas socioeconômicas fizeram com que as obras atingissem velocidades de execução cada vez maiores, acarretando controles pouco rigorosos dos materiais utilizados e dos serviços. Fatores que provocam a queda gradativa da qualidade nas construções (THOMAZ, 1989; DO CARMO, 2003)

A ciência da patologia das construções pode ser entendida como o ramo da engenharia que estuda os sintomas, causas e origens dos vícios construtivos que



ocorrem na construção de edificações (DO CARMO, 2003). Estes conhecimentos desenvolvem-se basicamente a partir do conhecimento teórico e prático do profissional. A divulgação de métodos empregados no tratamento e coleta de dados, que buscam compreender as origens das manifestações patológicas, possibilita que sejam realizadas pesquisas e desenvolvidas novas tecnologias (HELENE, 2003; ZUCHETTI, 2015).

Durante a fase de execução de uma estrutura é possível realizar ensaios no concreto tanto no estado fresco quanto endurecido, porém para a avaliação de uma estrutura já pronta, busca-se a utilização de ensaios não destrutivos para auxiliar o profissional no diagnóstico das manifestações patológicas apresentadas pela construção, causando o mínimo dano à estrutura existente. Diagnosticar as causas de um dano em uma construção é uma atividade bastante complexa, e demanda a realização de estudos e ensaios específicos. Em alguns casos, o diagnóstico correto só poderá ser elaborado a partir de minuciosos ensaios de laboratório, revisão de projetos e mesmo instrumentação e acompanhamento da obra (MAZER, 2012).

Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), aliados a espectroscopia de raio X (EDS) apresentam-se como fundamentais para análise de possíveis patologias encontradas em estruturas de concreto, possibilitando estudo aprofundado da microestrutura do material. Neste contexto, este trabalho busca realizar uma breve revisão sobre o uso dessas técnicas no estudo de patologias de concreto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura é utilizada para o estudo de estruturas superficiais de amostras com as mais variadas dimensões, produzindo imagens de alta resolução e alta ampliação de detalhes, sem a perda da nitidez. É uma técnica utilizada para avaliar a morfologia dos materiais, sendo amplamente utilizada em estudos da microestrutura de materiais empregados na engenharia civil, tais como concretos e argamassas, assim como suas patologias. Um microscópio eletrônico de varredura (MEV) utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional.

Os aparelhos modernos permitem aumentos de 300.000 vezes ou mais, para a maior parte de materiais sólidos, conservando a profundidade de campo compatível com a observação de superfícies rugosas. O MEV é um aparelho que pode fornecer



rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. Outra característica importante do MEV é a possibilidade de obtenção de imagens com aparência tridimensional, resultado direto da grande profundidade de campo (DEDAVID, 2007)

A imagem obtida no MEV é gerada a partir da reflexão de parte do feixe de elétrons incidente sobre a superfície de uma amostra metalizada, sob condição de vácuo (REED, 1996 apud DAL MOLIN, 2007).

Durante a incidência do feixe primário, vários sinais são gerados e dentre eles os elétrons secundários (SE), elétrons retroespalhados (BSE) e Raios X, sendo que cada um pode ser coletado separadamente. Os detectores de elétrons secundários produzem uma imagem tridimensional, possibilitando a visualização da topografia e da textura do material. A imagem gerada pelos elétrons retroespalhados é representada na cor cinza, cujos tons claros correspondem a regiões constituídas por elementos químicos com número atômico médio maior, o que facilita a identificação das fases presentes (PADILHA; AMBROSIO FILHO 1986 apud HASPARYK, 2005).

Espectroscopia de raio X

A espectroscopia de raios X por dispersão em energia, ou simplesmente, espectroscopia de dispersão em energia (do inglês: *Energy Dispersion Spectroscopy*, ou EDS ou XEDS) é uma técnica de microanálise de raios-X qualitativa e quantitativa que pode fornecer informações sobre a composição química de uma amostra para os elementos com número atômico maior que 3 (DEDAVID, 2007).

Os ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) são comumente associados a um espectrômetro de raios X de energia dispersiva (EDS) ou de detecção do comprimento de onda, possibilitando realizar de forma rápida e eficaz a caracterização química das regiões observadas com grande precisão geométrica, sendo utilizados múltiplos aplicativos de software para aglutinar estas informações (IPN, 2019).

Os sistemas EDS permitem determinar a composição química de amostras com tamanhos muito reduzidos, possibilitando uma análise quase pontual. Desta forma, enquanto o MEV permite visualizar imagens, o EDS permite a imediata identificação da sua composição.

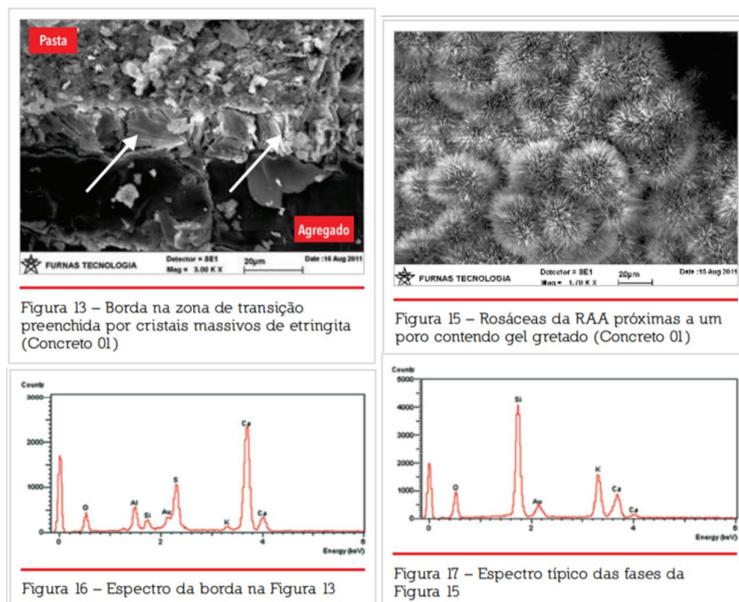
O espectrômetro de energia dispersiva de Raios X (EDS), acoplado ao MEV, possibilita a determinação qualitativa e semiquantitativa da composição química elementar de regiões com até 1 mm, a partir de Raios X característicos, sendo que o limite de detecção é da ordem de 1% (DAL MOLIN, 2007; MELO, 2010).



Aplicações em patologias das construções

Segundo o estudo realizado por Hasparyk e Kuperman (2019), com o objetivo de diagnosticar e investigar manifestações patológicas apresentadas em blocos de fundação, assim como suas possíveis causas, realizaram investigações em campo, a partir de inspeção visual criteriosa e um programa de estudos em laboratório foi estabelecido. Reconstituição de traço e análises de enxofre, análises petrográficas/mineralógicas dos agregados e análises petrográficas dos concretos com o auxílio de MEV e EDS para identificação das manifestações patológicas de reação álcali-agregado (RAA) e desenvolvimento da etringita tardia (DEF). Como apresentado na Figura 7, através da análise da espectroscopia, foi possível verificar a ocorrência de ataque combinado de RAA e DEF nas estruturas de fundação.

Figura 7: Apresentação de MEV e EDS dos concretos estudados



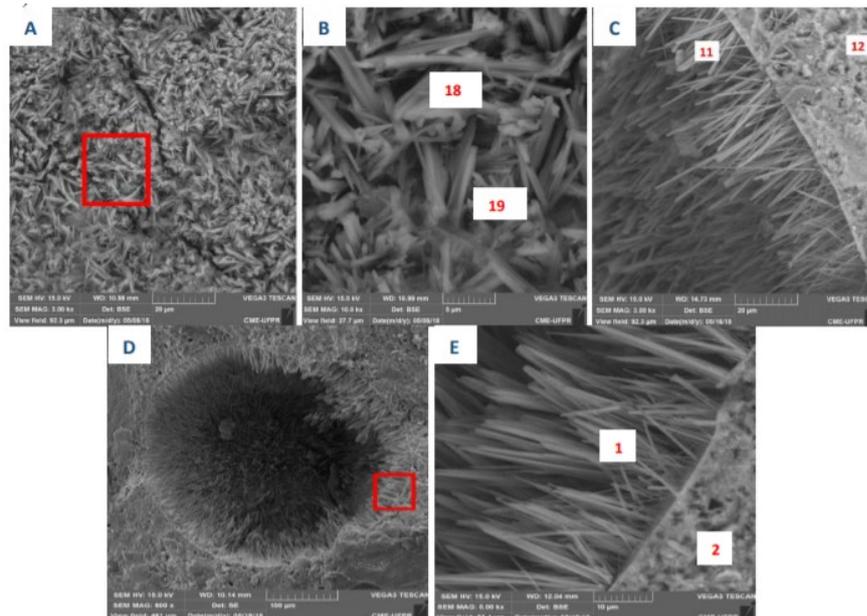
Fonte: HASPARYK, 2019

Canelle et al. (2018) realizaram uma pesquisa que teve o objetivo de evidenciar manifestações patológicas na superfície de concreto das lajes de reatores UASB de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), no bairro de Santa Quitéria em Curitiba. O método de verificação empregado foi a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) pela técnica denominada EDS (Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X). Foi extraído um testemunho da laje do reator 2, o qual foi cortado em 8 camadas de aproximadamente 1,5 cm. Posteriormente, cada camada foi fragmentada em pedaços e imersos em álcool etílico por 24 horas. Após esse período, as amostras foram colocadas em estufa a 40°C por 24 horas, após esse processo, as amostras foram



armazenadas em um dessecador contendo sílica gel até a realização do ensaio. Os resultados obtidos permitiram concluir que as amostras ensaiadas apresentaram alto grau de composição da etringita aparentemente inertes em todas as camadas avaliadas, o que causa expansão do concreto e conseqüente surgimento de manifestações patológicas.

Figura 7: MEV da fatia 1 (A e B), fatia 4 (C), fatia 8 (D e E).

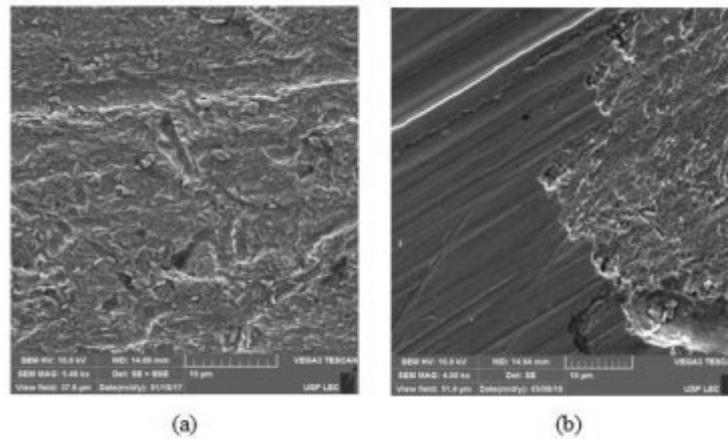


Fonte: Canelle et al (2018).

Felix *et al.* (2018) estudaram o uso de inibidores de corrosão de origem vegetal, visto que a corrosão é um processo natural e espontâneo em que o metal reage com o meio corrosivo, provocando alterações no material, podendo afetar diretamente seu desempenho mecânico e capacidade de deformação. A partir da análise de microscopia eletrônica de varredura (Figura 8) os autores confirmaram a adsorção do inibidor sobre o metal impedindo o processo de corrosão, justificando o comportamento da casca da amêndoa do cacau como inibidor de corrosão natural nos resultados gravimétricos e eletroquímicos.

Figura 8: Microscopia eletrônica de varredura (a) seminibidor (b) com inibidor

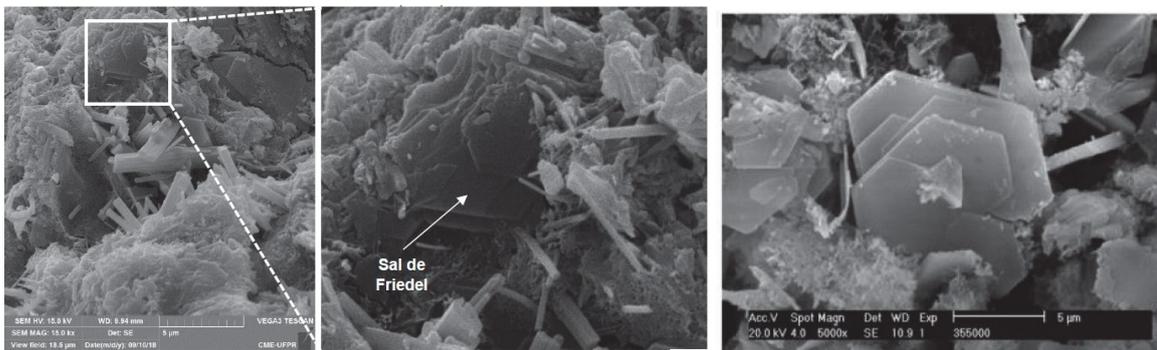




Fonte: Felix *et al.* (2018)

Pinto (2019) estudou concretos carbonatados, fazendo uso de MEV e EDS para confirmar e compreender o comportamento dos corpos de prova afetados por esta patologia. Observando na Figura 9 estruturas com morfologia de lamelas sobrepostas e aproximadamente hexagonais, semelhantes à morfologia apresentada por cristais de Friedel.

Figura 9: Formação de sal de Friedel



Fonte: Pinto (2019)

4 CONSIDERAÇÕES

As técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a espectroscopia de raio X (EDS) revelaram ser fundamentais para as análises de patologias, pois possibilitam a identificação dos compostos químicos gerados e outros minerais presentes, contribuindo deste modo para a obtenção de importantes parâmetros que permitem a correta interpretação de manifestações patológicas apresentadas em elementos de concreto.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAL MOLIN, Denise C. C. Adições minerais para concreto estrutural. In: ISAIA, Geraldo C. (editor). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005, v. 1, p.345-379.
- DO CARMO, Paulo Obregon. Patologia das construções. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.
- FELIX, J. O.; CAPELOSSI, V. R.; AQUINO, I. P. (2018) Casca da amêndoa do cacau como inibidor natural de corrosão. VIII Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI. São Bernardo do Campo.
- HASPARYK, N. P. Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. 2005. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- Hasparyk, N. P., Kuperman, S. C. (2019). “Deterioração do concreto por reações expansivas” in: XXXII - Seminário Nacional de Grandes Barragens – SNGB. - Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. Salvador (Brazil).
- HELENE, Paulo R. Do Lago. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. São Paulo, Red Rehabilitar, 2003.
- KUDLANVEC L. V., et al. Identificação de formação de etringita em concreto através de microscopia eletrônica de varredura: Estudo de caso em reator UASB. Maceió, Alagoas. 2018.
- MELO, S. K.; HASPARYK, N. P.; CARASEK, H.; SILVA, H. H. A. B.; MARTINS, C. Influência do calor de hidratação na formação da etringita tardia (DEF) em concreto de cimento Portland pozolânico. 53º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis. IBRACON, 20
- PADILHA, AMBRÓSIO FILHO, F. Técnicas de análise microestrutural. São Paulo, Hemus, 1986.
- Pinto, S. R. (2019). Durabilidade de compósitos com cimento supersulfatado e de cimentos portland: ataque por sulfatos, carbonatação e penetração de cloretos.
- REED, S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. Cambridge Academic Press, 1996. 201 p.
- THOMAZ, Ercio. Trincas em edifício: Causas, prevenção e recuperação. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1989.

