

# DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE DETERIORAÇÃO DE CONCRETOS EXPOSTOS A ALTAS TEMPERATURAS, UTILIZANDO TOMOGRAFIA ULTRASSÔNICA

**Palavras-Chave:** Incêndio, ultrassom, tomografia ultrassônica, ensaios não destrutivos

**Autores(as):**

**Lara Cotrim Belchior, FECFAU - UNICAMP**

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira, FT/FECFAU - UNICAMP**

**Profa. Dra. Cinthya Bertoldo, FEAGRI, UNICAMP**

**Wesley, FECFAU, UNICAMP**

**Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Jr., FECFAU - UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

Estruturas de concreto armado são amplamente utilizadas no mundo inteiro, sendo o principal método construtivo no Brasil (BASTOS, 2006). Devido à baixa condutividade térmica do concreto, o aço fica protegido em situações de incêndio, porém, isso depende de vários fatores como a taxa de aquecimento, temperatura máxima e tempo de exposição, além do processo de resfriamento (DAUNGWILAILUK, 2017). Com isso, há uma dificuldade de se obter parâmetros que representem fielmente o que ocorre durante uma situação de incêndio.

Para sanar tal problema, há algumas opções de ensaios não destrutivos, por exemplo, o ultrassom, que permite obter alterações e não homogeneidades no interior do concreto. Adicionalmente, esta técnica de ensaio não destrutivo pode ser aplicada como tomografia ultrassônica, considerando o método de transmissão do pulso ultrassônico (DAUNGWILAILUK, 2017). Com isso, é possível gerar imagens representativas da região degradada do elemento de concreto armado, com auxílio de software específico.

Com isso, este trabalho tem como objetivo principal determinar uma metodologia para a obtenção da profundidade da degradação de prismas de concreto expostos a altas temperaturas, utilizando a tomografia ultrassônica.

## METODOLOGIA:

Neste estudo foram utilizados quatro prismas de alta resistência de 15cm x 15cm x 35cm, com traço 1:1,5:1,5:0,35, sendo dois deles utilizando o basalto como agregado, e os outros dois com granito como agregado. Além disso, foram moldados corpos de prova para cada tipo de agregado, para determinar a resistência à compressão, conforme NBR 5738 (ABNT, 2016).

O ultrassom foi conduzido com o equipamento USLab (Agricéf, Brasil), utilizando transdutores exponenciais e frequência de 45kHz. As medições foram realizadas pelo método direto conforme NBR 8802 (ABNT, 2019). Nas faces transversais e perpendiculares a queima optou-se por fazer medições mais próximas, a fim de ter uma melhor leitura da área afetada (Figura 1), sendo assim, utilizamos uma malha de 2,5cm x 2,5cm, ou seja, pontos espaçados 2,5cm horizontalmente e verticalmente, e na face de queima foi utilizado uma malha de 5cm x 5cm (Figura 2).

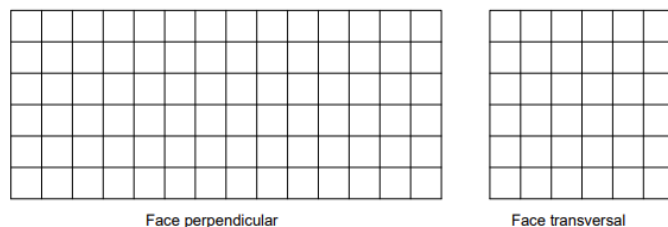


Figura 1- Malhas da face perpendicular e transversal.

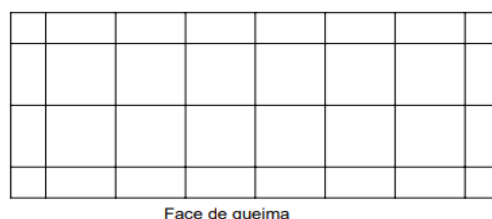


Figura 2- Malha da face de queima.

Esses ensaios foram realizados antes e após o aquecimento, a fim de determinar a diferença que o dano da queima causa na velocidade do pulso. Também foram geradas imagens através da tomografia ultrassônica com esses dados, podendo comparar as imagens de antes e depois da exposição.

No processo da queima foi utilizado o forno Mufla 1300°C com 60L de capacidade. Para controle das temperaturas internas e externas foram instalados termopares do tipo K, que foram posicionados a 50mm, e a 75mm da face exposta ao calor. Para a fixação dos termopares foi utilizada uma nata de cimento CP V, com relação água-cimento de 0,6.

Uma estrutura metálica foi necessária para apoiar o prisma na porta do forno e o isolamento foi feito com lã de vidro, para que o calor não escapasse. Também foi posicionado um termopar no interior do forno para garantir que o aquecimento seguisse a curva de temperatura ISO 834. Segundo a literatura, após atingir uma temperatura de 300°C o concreto perde consideravelmente sua resistência, e devem ser substituídos por uma nova camada (TASK GROUP, 2008), por isso esse foi o ponto de parada adotado para o termopar em análise. Após atingir esse ponto, iniciou-se o resfriamento dos prismas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A etapa experimental desse estudo incluiu a moldagem de 2 prismas de concreto de alta resistência, para cada tipo de agregado graúdo Basalto (CAR-B) e granito (CAR-G), totalizando 4 prismas. A resistência à compressão e módulo de elasticidade médios, além da densidade aparente dos concretos estão apresentados na tabela 1.

	D (Kg/m <sup>3</sup> )	Rc (MPa)	E (GPa)
CAR-B	2408 +- 9	70,6 +- 5	21,4 +-0,6
CAR-G	2332 +- 6	62,3 +- 5	20,7+-0,3

Tabela 1 – Valores de média e desvio padrão da densidade aparente, resistência à compressão axial e módulo de elasticidade

Os ensaios de ultrassom foram realizados antes e após a exposição dos prismas a altas temperaturas. Em seguida foram realizados os ensaios de ultrassom, seguindo as malhas previamente estabelecidas. Durante os ensaios, foram feitas três medições em cada ponto, adotando-se a média dos valores da VPU.

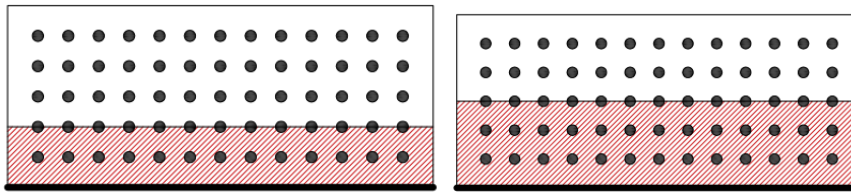
Nas medições antes da exposição a alta temperatura, considerou-se a hipótese que o concreto está homogêneo, esperando-se que os valores da VPU sejam similares em toda malha de medição adotada, conforme descrito na tabela 2.

Prisma	VPU (m/s)		
	Face exposta a alta temperatura (malha de 5 cm)	Face Perpendicular à exposição a alta temperatura (malha de 2,5cm)	Face Transversal à exposição a alta temperatura (malha de 2,5cm)
CAR – B1	4863 +- 225	5280 +- 225	4439+-140
CAR – B2	6017 +- 286	6944+-763	5001 +- 234
CAR – G1	8072 +- 390	7145 +- 792	5047 +- 195
CAR – G2	7252 +- 560	7853 +- 556	5053 +- 167

Tabela 2 – Valores de média e desvio padrão da velocidade de pulso ultrassônico (VPU) em m/s.

Nas medições da face perpendicular a de queima, nos corpos de prova CAR – B2 e CAR – G1, pode-se observar que o desvio padrão foi superior aos demais. Isto se deu ao fato de que, nesses prismas, a hipótese inicial não é corroborada, encontrando vazios de concretagem. Esse fator deve ser considerado na hora de analisar as imagens de tomografia ultrassônica, uma vez que a literatura comprova a eficiência da TU identificar tais anomalias (MOURA, 2021). Além disso, verifica-se que os prismas do concreto CAR-G apresentaram valores de VPU superiores aos do CAR-B. Isso confirma relatos de autores sobre a influência do agregado graúdo na VPU.

No pós queima os pontos de medição situados na área afetada pela queima (Figura 3), apresentam variação na VPU em relação ao pré queima.



*Figura 3 – Pontos de medição feita no pós queima, para cada posição de termopar. Área em vermelho sofreu danos da alta temperatura. Face de queima representada em negrito.*

Analisando os resultados, a fim de avaliar a qualidade da metodologia adotada, observa-se que ao escolher o método de medição direta, conseguimos leituras em todo o corpo de prova, facilitando para gerar as imagens pela TU. Além disso, os posicionamentos dos termopares em 5cm e 7,5cm, nos proporcionou uma distância da face de queima suficiente para termos um número bom de medições, 2 e 3 linhas, respectivamente, que nos permite gerar uma imagem mais clara.

## **CONCLUSÕES:**

Portanto, com base nos objetivos estabelecidos, pode-se concluir que o presente trabalho analisou a camada deteriorada do concreto, após exposto a altas temperaturas, através da medição da velocidade do pulso ultrassônico (VPU), e a partir dele gerou imagens, com a tomografia ultrassônica, a fim de apresentar visualmente os danos causados e a variação que estes geram na VPU, validando a metodologia para a perícia em casos de incêndio.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. Rio de Janeiro, 2016
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do concreto armado. Bauru: Unesp, 2006.
- DAUNGWILAILUK, T.; CAO, T. N.; PANSUK, W.; PHEINSUSOM, P. Evaluating Damaged Concrete
- MOURA, Marinara Andrade do Nascimento. Identificação de vazios de concretagem em imagens digitais geradas por tomografia ultrassônica . 2021. 1 recurso online ( 115 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1640678>. Acesso em: 6 ago. 2024.
- TASK GROUP 4.3. Fire Design of Concrete Structures – Structural Behavior and Assessment. FIB Bulletin, 2008