

## **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA FIBRA METÁLICA INCORPORADA NO CONCRETO NO ENSAIO DE VELOCIDADE DO PULSO ULTRASSÔNICO POR MEIO DE SIMULAÇÕES NUMÉRICAS**

**Autora: Cláudia Aline de Souza Martins**

**Orientador: Vladimir Guilherme Haach**

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

e-mail: claudiaaline16@usp.br

### **Objetivos**

O presente trabalho busca avaliar numericamente a influência da adição de fibras metálicas no ensaio de velocidade do pulso ultrassônico em concretos reforçados com fibra. Para tal, estabelece-se os seguintes objetivos específicos: Desenvolver um algoritmo 3D que simula a distribuição aleatória de fibras em um meio contínuo, calcula o tempo em trajetória e atualiza a trajetória de medição do software TUSom. A partir da implementação do software em três dimensões busca-se investigar qual a influência da fibra nos ensaios de pulso ultrassônico e a viabilidade de modelar em 3D ou 2D.

### **Métodos e Procedimentos**

Visando alcançar os objetivos apresentados o projeto se estruturou em duas grandes áreas: implementar o software TUSom 3D e realizar as simulações numéricas.

Para o desenvolvimento do código foram realizadas as seguintes etapas: implementar a distribuição aleatória de fibras em um meio contínuo; Definir pontos e linhas de medição referentes ao posicionamento dos transdutores; Desenvolver o código que calcula o tempo de propagação da onda com base na trajetória de medição e nas velocidades nodais do contínuo, por meio da interpolação polinomial da variação de velocidade (grandeza adotada como o

inverso da velocidade); Implementar a função de atualização de trajetórias com base no perfil de velocidades para o sistema tridimensional, para isso foi encontrado o percurso mais veloz através do algoritmo de DIJKSTRA utilizando analogia com grafos de peso positivo.

Uma vez que o software estava apto a realizar simulações, três modelos foram estudados, como mostrado na figura 1, todos buscando avaliar o mesmo cubo de lado de 15cm. O modelo apresentado mais à direita na figura 01 representa apenas a fatia central do modelo completo do cubo (simulação realizada com apenas um terço da geometria e das fibras).

Para cada caso foram simuladas 5 distribuições aleatórias de fibras. A quantidade de fibra empregada em cada análise está apresentada na tabela 01. Em todos os cenários foram consideradas fibras de 3 cm com velocidade de 5900 m/s e concreto como meio homogêneo com velocidade de 4500 m/s.

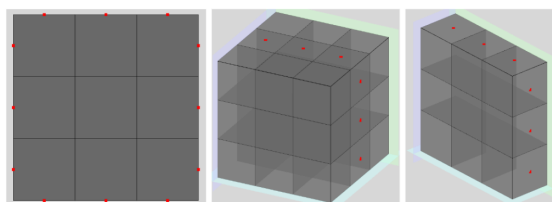


Figura 1: Modelos simulados no TUSom 2D e 3D

### **Resultados**

Para os três modelos apresentados em *Métodos e Procedimentos* foi simulada a

velocidade de propagação da onda no corpo de prova de concreto sem fibras e em todos os casos foi obtida a velocidade de 4500,0 m/s. As velocidades médias de cada simulação considerando as fibras estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Velocidade da onda nos três modelos

Modelo	Nº fibras	V [m/s]	$\sigma$ [m/s]
3D A - completo	150	4520,1	11,2
3D B - fatia	50	4524,5	10,0
	200	4576,8	5,0
2D	50	4702,3	21,0
	10	4535,5	5,7

As velocidades obtidas para o modelo 3D A e para o 3D B estão coerentes, o que demonstra que para determinada direção de medida existe uma vizinhança limitada em que a fibra causa impacto na velocidade do pulso. Na figura 2 é apresentada uma vista superior de um exemplo representativo do desvio da trajetória fora do plano na simulação do modelo 3D A.

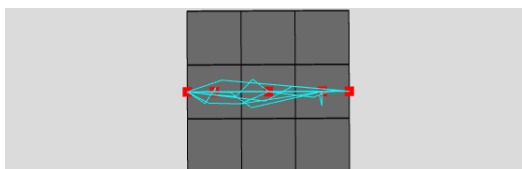


Figura 2: Top view of updated trajectory in full 3D model

Já ao comparar os resultados da simulação 2D e 3D nota-se que a velocidade é maior no 2D tendo em vista que todas as fibras inseridas são achatadas ao plano. Uma alternativa seria ajustar o número de fibras, por exemplo considerando a quantidade de fibras em 1 cm, como no caso da simulação com 10 fibras. Contudo, nesse cenário as fibras ainda estariam sendo orientadas no plano da seção, o que não ocorre no modelo real.

Ainda, comparando as simulações realizadas com quantidades de fibra distintas no mesmo modelo, como no caso do modelo 3D B e 2D observa-se que com o aumento do número de fibras a velocidade também cresce, contudo o

aumento foi significativamente mais expressivo no ambiente 2D

## Conclusões

O trabalho mostrou que a presença de fibras de aço altera a velocidade do pulso ultrassônico no corpo de prova. Ainda, as simulações em 3D são mais adequadas para representar numericamente as condições reais. Contudo o tempo de processamento é significativo, por exemplo, para o modelo com 150 fibras a simulação levou 40 min ao passo que para a simulação em 2D foram gastos 2 min. Uma alternativa viável é reduzir o modelo, como no caso da simulação 3D B, cujo tempo de processamento foi de 20 min.

## Agradecimentos

Agradeço aos meus pais por serem exemplos tão belos de dedicação, aos meus irmãos por me ajudarem a manter o equilíbrio, ao meu orientador por levar o lema “estou de portas abertas para ajudar” ao pé da letra e por sua imensa fé, ao CNPq viabilizar essa pesquisa.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, NBR. 8802; Concreto Endurecido—Determinação da Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica. Rio de Janeiro, Brasil, 2019.
- CAMPO RAMÍREZ, Fernando. Detecção de danos em estruturas de concreto por meio de tomografia ultrassônica. 2015. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- FRANÇA, Luis Henrique Pereira. Caracterização e modelagem numérica do comportamento não linear do concreto de ultra-alto desempenho reforçado com fibras metálicas. 2021.
- SOUZA, José Renan Neves. Estudo numérico da heterogeneidade do concreto por meio da variação da velocidade do pulso ultrassônico. 2023. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.