



## **ESTRATÉGIAS COMPUTACIONAIS PARA INTRODUÇÃO DE HETEROGENEIDADE MATERIAL EM MODELOS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

### **Computational strategies for introduction of material heterogeneity in Finite Element Method models.**

Marcella Passos Andrade (1); Humberto Alves da Silveira Monteiro (2); Roque Luiz da Silva Pitangueira (3).

(1) Engenheira Civil, Universidade Federal de Minas Gerais , Belo Horizonte – MG, Brasil(P).

(2) Engenheiro Civil, Universidade Federal de Minas Gerais , Belo Horizonte – MG, Brasil.

(3) Dr. Prof., Universidade Federal de Minas Gerais , Belo Horizonte – MG, Brasil.

Email para Correspondência: marcellapa@ufmg.br; (P) Apresentador

**Resumo:** Em uma escala suficientemente pequena todos os materiais são heterogêneos e essa não homogeneidade do meio pode ser interpretada como causa de complexos comportamentos mecânicos de uma vasta gama de materiais de engenharia, fenômenos estes que podem variar de uma simples indução de concentração de tensões à acentuação da danificação do meio. No caso de materiais frágeis e parcialmente frágeis, por exemplo, é diretamente responsável pela resposta não linear obtida. Já em meios lineares (ou elastoplásticos) pode distorcer totalmente a distribuição dos campos internos do domínio, induzindo regiões com maior concentração de deformações. Dessa forma, justifica-se um estudo focado na capacidade de introdução dessa característica material na análise numérica, quer seja no desenvolvimento de estratégias computacionais apropriadas para tal, quer seja na avaliação aprofundada dos métodos numéricos utilizados. A introdução da heterogeneidade em um modelo simples do Método dos Elementos Finitos (MEF) pode ser explícita, com modelagem da morfologia da mesoescala interna do material, valendo-se de algoritmos específicos de distribuição de partículas, ou implícita, com a atribuição aleatória das propriedades materiais ao longo de todo o domínio. Esse artigo tem como objetivo discutir a influência da heterogeneidade material em análises via Método dos Elementos Finitos, nas quais as abordagens anteriormente referidas para incorporação da não homogeneidade do meio são integradas aos experimentos numéricos através de distintas estratégias computacionais. Exemplos bidimensionais em estado plano são apresentados. Destaque é dado a diferentes tratamentos para as malhas, registrando-se uma discussão sobre o desempenho de cada um deles. O trabalho foi desenvolvido no sistema INSANE (INteractive Structural Analysis Environment), um software livre desenvolvido na Universidade Federal de Minas Gerais.

**Palavras-chaves:** *Método dos Elementos Finitos; Heterogeneidade; Simulação Computacional.*



**Abstract:** On a sufficiently small scale any material is heterogeneous and this medium non homogeneity may be understood as the cause of complex mechanical behavior of a large range of materials used in engineering, phenomena that may vary from simple stress concentration induction to an increase of medium damage. In case of brittle materials, for example, this is the straightforward reason of the non linear response obtained. For linear medium (or elastoplastic) this characteristic may distort the distribution of internal field domain entirely, inducing areas with higher strain localization. In this manner, is justified a study focused on the capacity of introducing this material characteristic in a numerical analyze, by developing computational strategies appropriately, or by a deep evaluation of computational numerical methods utilized. The introduction of heterogeneity in a simple Finite Element Method (FEM) model may be explicit, by modeling the material mesoscale internal morphology, utilizing specific particle distribution algorithms, or implicit, with the random assignment of materials properties over the domain. This article aims to discuss the influence of materials heterogeneity in FEM analysis, in which the approaches mentioned before for the medium heterogeneity incorporation are integrated to the numerical experiments by different computational strategies. Bi dimensional examples in plane stress state are presented. It is highlighted the different mesh treatment, and is discussed their individual performance. This work has been carried out within the INSANE system (INteractive Structural Analysis Environment), a free software developed at the Federal University of Minas Gerais-Brazil.

**Keywords:** *Finite Element Method; Heterogeneity; Computacional Simulation.*



## 1. INTRODUÇÃO

A heterogeneidade em materiais parcialmente frágeis é apontada como uma das causas do seu complexo comportamento, altamente não linear, e também como a responsável por fenômenos como a localização de deformações e o efeito de tamanho, dentre outros. A heterogeneidade proporciona o efeito benéfico da propagação lenta de fissuras estáveis, anterior à instabilidade repentina provocada por uma fissura localizada (Pitangueira, 1998). Para descrever tal efeito, é imperativo que modelos numérico-computacionais incorporem uma descrição aproximada da morfologia desses materiais, normalmente caracterizada por grãos embebidos em uma matriz, buscando, assim, capturar o comportamento derivado das interações entre as fases desta mistura em alguma escala de observação.

O concreto é o material parcialmente frágil mais utilizado na engenharia. Neste caso, tem-se enfatizado seu estudo na micro e mesoescalas, uma vez que essas fornecem informações importantes sobre as propriedades materiais dos agregados e da matriz cimentícia, mas usualmente compreende-se que o comportamento mecânico de estruturas de concreto é governado principalmente pela análise na macro e mesoescala (Asai; Terada; Ikeda, 2001). Na mesoescala, o concreto pode ser considerado um material trifásico, composto por agregado, matriz cimentícia e zona de transição. Tais fases diferenciam-se em termos de propriedades materiais e comportamento mecânico. Em termos de propriedades materiais, os agregados são estruturas rochosas com grande resistência, enquanto a zona de transição, posicionada na interface entre a matriz cimentícia e o agregado, é a região menos resistente. Em termos de comportamento mecânico, observa-se que os agregados rochosos são frágeis, enquanto a zona de transição tem comportamento mais dúctil.

A distribuição das diferentes fases pode ser representada segundo as abordagens probabilística ou discreta, conhecidas também como indireta e direta. A introdução da não homogeneidade no meio material de maneira direta descreve geometricamente a localização das diferentes fases do meio no domínio. A partir de um método de distribuição de partículas, por exemplo, que pode ser obtido experimental ou teoricamente, faz-se o posicionamento dos agregados no domínio do problema. Posteriormente, realiza-se o mapeamento de elementos finitos, relacionando-os à localização dos grãos para assim definir o material de cada um dos elementos da malha. A forma indireta introduz a heterogeneidade na análise, via método dos elementos finitos, preservando as características de simplicidade do método (Pitangueira, 1998). Considera-se o material inicialmente heterogêneo, sendo formado por uma mistura dos diversos constituintes. Conhecida a proporção das fases que formam a mistura, distribui-se aleatoriamente as diferentes características constitutivas pelo domínio analisado. Essa abordagem utiliza, apenas, a proporcionalidade entre as fases e a relação entre o volume representativo da heterogeneidade e o volume do domínio em análise.



O objetivo desse trabalho é discutir a influência da heterogeneidade material em análises numéricas utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF). Esse objetivo insere-se em um amplo projeto de pesquisa que visa modelar numericamente materiais parcialmente frágeis através de estratégia multiescala. Tal projeto integra-se ao INSANE (INteractive Structural ANalysis Environment), software que foi utilizado para os exemplos numéricos apresentados nesse artigo.

O artigo organiza-se em cinco sessões. Esta introdução é seguida pela descrição das duas abordagens utilizadas para introdução da heterogeneidade, bem como os recursos numéricos e computacionais adotados; posteriormente apresenta-se um exemplo numérico seguido de discussão dos resultados; e, finalizando, algumas conclusões são opontadas.

## 2. ABORDAGENS PARA INTRODUÇÃO DA HETEROGENEIDADE

O estudo da heterogeneidade em meios parcialmente frágeis já foi discutido por diversos autores. Os trabalhos de Burt e Dougill (1977), Bazant e Tabbara (1990), Bazant et al. (1990), Schlangen (1993), por exemplo, descrevem a heterogeneidade por meio de uma rede de elementos finitos, gerada com base na distribuição dos grãos e na descrição morfológica dos mesmos. Nesse artigo, essa abordagem é denominada direta, uma vez que se baseia na localização e caracterização geométrica das fases para atribuição de propriedades mecânicas.

Na abordagem indireta, usada por Pitangueira (1998), Rossi e Richer (1987), Grassl e Bazant (2009), dentre outros, a atribuição das características mecânicas do material no volume estrutural é feita de forma aleatória, usando uma distribuição de probabilidade que se baseia na proporcionalidade entre as fases. Além disso, essa alternativa permite, como feito por Pitangueira (1998), associar o volume estrutural com um volume representativo da mistura heterogênea que caracteriza a escala de observação.

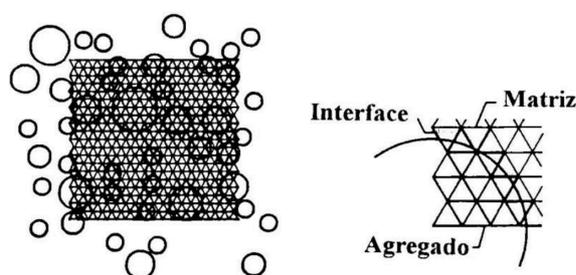
### 2.1. Abordagem Direta

Ao considerar a localização e descrição geométrica dos grãos da mistura, faz-se uma introdução explícita da heterogeneidade, na qual não se considera apenas a proporção entre as fases e a probabilidade de ocorrência de cada uma, mas também uma distribuição espacial das mesmas.

Para gerar o posicionamento dos grãos, neste trabalho, fez-se uso de um algoritmo de distribuição aleatória de partículas, conhecido como *take-and-place* conforme descrito em Monteiro (2017). A partir de uma curva granulométrica ou de uma faixa de dimensão de partículas, o algoritmo sorteia as coordenadas dos centroídes das partículas, a começar pelas de maior tamanho, e posiciona-as dentro do domínio estudado. Realiza-se, então, uma verificação quanto à sobreposição entre partículas e também entre os limites do domínio. Utiliza-se um parâmetro de majoração do tamanho da partícula denominado fator de distribuição, ou *distribution factor (DF)*, evitando assim qualquer posicionamento indevido.

Esse processo é repetido sucessivamente, posicionando partículas de dimensões decrescentes, até que todas as partículas tenham sido distribuídas e que o índice de proporção em relação à mistura tenha sido atingido. Essa metodologia é utilizada nos trabalhos Bazant et al. (1990) e Schlangen (1993). Vale ressaltar que, nesse tipo de algoritmo, a ordem de complexidade aumenta rapidamente, uma vez que o aumento no número de partículas implica no aumento do número de testes e, conseqüentemente, da demanda computacional.

Após a geração e distribuição das partículas pelo domínio, faz-se a sobreposição da malha de elementos finitos a esse *grid* de partículas gerado, obtendo-se assim o mapeamento para a atribuição das propriedades constitutivas dos elementos inseridos no interior de cada partícula, conforme demonstrado na Figura 1.



**Figura 1. Associação das fases do material aos elementos finitos sobrepostos à morfologia dos grãos**

Fonte: Adaptado de Schlangen (1993)

Nessa etapa, os elementos que compõem a malha têm suas propriedades constitutivas definidas conforme seu posicionamento. Àqueles elementos posicionados no interior das partículas, são atribuídas as propriedades constitutivas de agregado, enquanto que àqueles que estão fora, são atribuídas as propriedades da matriz cimentícia.

As malhas utilizadas nesse trabalho não apresentam conformidade com a distribuição geométrica dos grãos. Logo, o termo *Non Conform Mesh (NCM)* é utilizado para denotar que a malha foi elaborada e posteriormente sobreposta ao *grid* de partículas.

Ao atribuir as propriedades mecânicas, a abordagem direta não conforme pode ser dividida em duas categorias: *Non Conform Mesh Multi Phase Model (NCMMP)* e *Non Conform Mesh Single Phase Model (NCMSP)*. A primeira possibilita que o elemento finito situado entre as duas fases da mistura represente ambas. Enquanto, na segunda categoria o elemento finito pode ser descrito como monofásico, sendo inteiramente composto por um único material, ainda que esse localize-se numa região de transição.

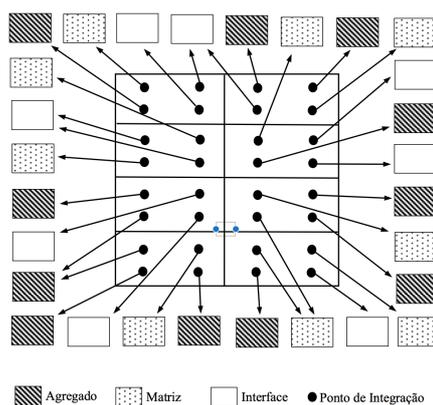
## 2.2. Abordagem Indireta

Com um enfoque probabilístico, essa abordagem distribui pelo domínio já discretizado, ou seja, pelos elementos finitos, as propriedades constitutivas das fases que compõem o material. Essa distribuição é aleatória e considera apenas a proporção de cada fase constituinte da mistura e a probabilidade de ocorrência de cada um dos materiais. Sendo assim, não há nenhuma referência ao posicionamento da heterogeneidade, conforme proposto no trabalho de Pitangueira (1998).

Numa discretização da estrutura em elementos finitos, toda informação relacionada com o comportamento do material que a compõe, está associada aos pontos de integração do problema (Pitangueira, 1998), portanto, são nesses pontos que realiza-se a atribuição das propriedades constitutivas.

Conhecidas as proporções em volume com que cada constituinte participa da mistura, estabelecem-se as probabilidades de ocorrência dos constituintes que serão associados a cada ponto de integração. Para cada ponto de Gauss, no domínio do problema, associa-se uma das fases do concreto sólido de forma aleatória.

Após esse sorteio faz-se a checagem da proporção da fase sorteada em relação a sua proporção na mistura e também em relação ao que já foi distribuído. Esse algoritmo repete-se até que todos os constituintes tenham sido totalmente utilizados e que o domínio represente a proporção material arbitrada inicialmente. Destaca-se ainda que em um mesmo elemento os diferentes pontos de integração no seu interior podem estar associados a propriedades constitutivas de diferentes fases, como pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2. Fases do concreto sólido associadas aos pontos de integração**

**Fonte: (Pitangueira, 1998)**



### 2.3. Aspectos Computacionais

Com As simulações numéricas apresentadas neste trabalho foram realizadas com o IN-SANE, um software de elementos finitos cujo código fonte está disponível em <http://www.in-sane.dees.ufmg.br>. O software possui três grandes módulos: pré-processador, processador e pós-processador. A introdução da heterogeneidade na modelagem é feita na etapa de pré-processamento, ainda que seja necessário a utilização de todos os módulos do software, seja na etapa de solução do modelo, seja na etapa de visualização dos resultados obtidos.

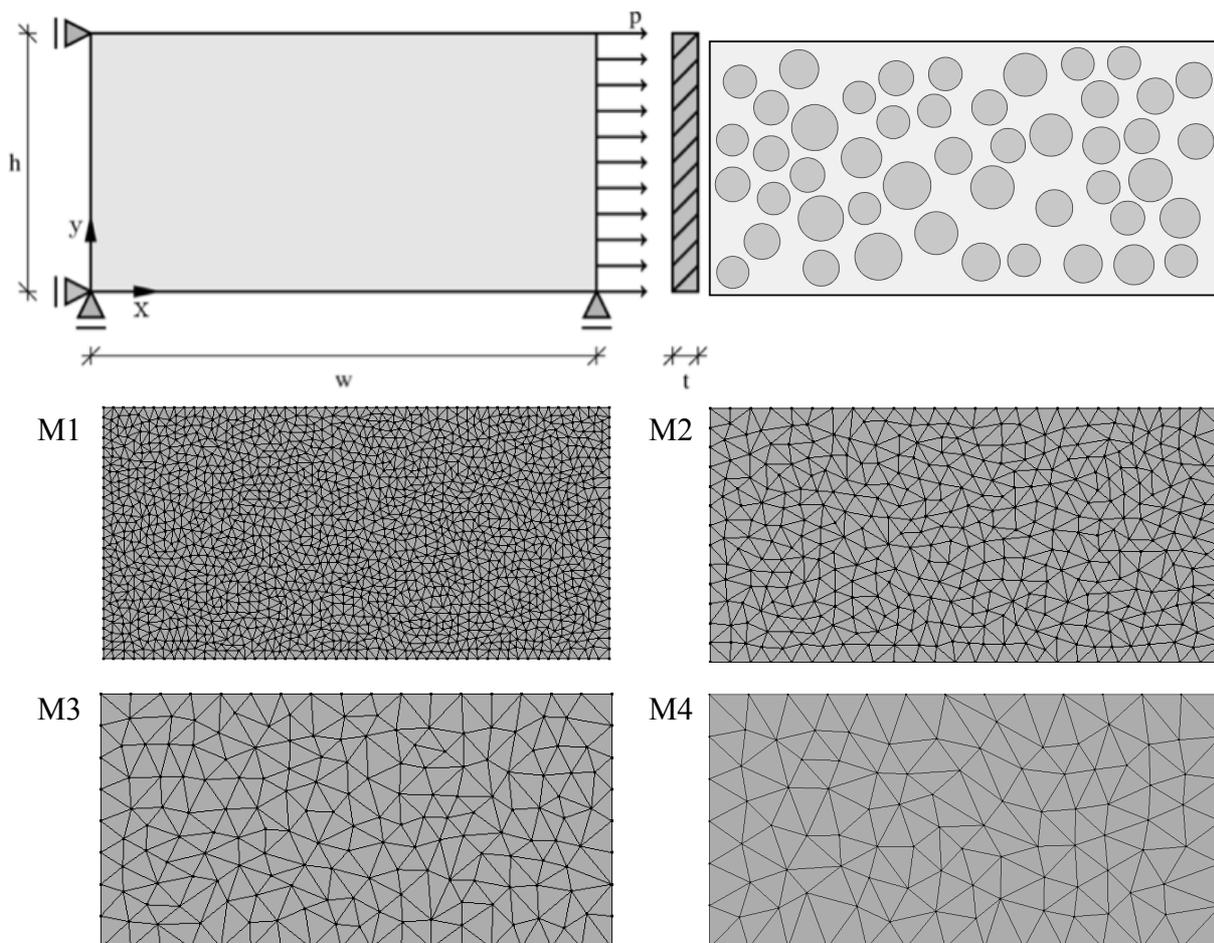
Dentre as diferentes formas de geração de malhas disponíveis no pré-processador, utilizou-se a denominada *Randon Mesh*, que constroi malhas de elementos finitos triangulares a partir de pontos posicionados aleatoriamente, obedecendo uma distância máxima entre eles (Ferreira, 2015). Este tipo de malha é particularmente adequado para a abordagem direta de introdução da heterogeneidade, pois permite associar as dimensões dos elementos finitos com as dimensões dos grãos, de modo que cada grão seja representado por pelo menos um elemento finito.

Após a criação da malha e definição das condições de contorno e carregamentos, o processo de atribuição de propriedades constitutivas aos pontos de integração dos elementos finitos, tanto para a abordagem indireta quanto para a direta, pode ser executado.

Ressalta-se que a criação do modelo também pode ser feita através de um arquivo texto escrito segundo o padrão XML. Esse arquivo é composto por todas as informações necessárias para criação de um modelo do MEF, tais como: método de solução, coordenadas e restrições nodais, tipo de análise, lista de materiais, incidência dos elementos e carregamentos. Para a modelagem via MEF considerando a heterogeneidade, cria-se uma lista dos materiais que constituem as fases e criam-se também os pontos de integração aos quais as fases serão associadas. Além dessas informações é necessário especificar o tipo de abordagem que será utilizada: direta ou indireta. No caso da abordagem direta, deve-se informar os parâmetros para a geração de partículas, como dimensão máxima e mínima dos agregados, proporção da fração de agregados, fator de distribuição, ou informar uma distribuição granulométrica (Monteiro, 2017). Já na abordagem indireta é necessário apenas a proporção entre as fases.

## 3. EXEMPLO

Para comparar a abordagem indireta ou probabilística de introdução da heterogeneidade com a abordagem direta, simula-se o problema de estado plano de tensões da Figura 3. As características geométricas do problema são  $w=200\text{mm}$ ,  $h=100\text{mm}$  e  $t=10\text{mm}$ . As condições de contorno são tais que impedem os deslocamentos verticais na borda inferior e os deslocamentos horizontais na borda esquerda. Uma carga uniformemente distribuída de  $p=0.01\text{kN/mm}$  atua na borda direita. A Figura 3 também mostra a distribuição de grãos adotada para a abordagem direta. Tal distribuição considera uma fração de partículas igual a 0,2 (PF=0,2), ou seja, 20% do volume domínio do problema é composto por partículas. Manteve-se o fator de distribuição de  $DF=0.3$  e diâmetros das partículas entre 12.5mm e 19mm. Fixou-se a distribuição de partículas para as diferentes malhas propostas, para obter assim uma comparação mais objetiva entre as diferentes discretizações e abordagens. Para a equivalência entre as abordagens, utilizou-se a mesma proporção de grãos (20%) na construção do modelo probabilístico da abordagem indireta. Ainda na Figura 3, mostram-se as malhas de elementos finitos adotadas. Tais malhas foram construídas considerando a maior dimensão dos elementos com



**Figura 3.** Problema modelado, distribuição de grãos e malhas de elementos finitos utilizadas.

Fonte: Elaborada pelos autores.



4mm (malha M1), 8mm (malha M2), 12mm (malha M3) e 16mm (malha M4). As malhas foram assim compostas de forma que, na malha mais refinada, os elementos tivessem tamanho máximo inferior ao menor diâmetro da partícula, e, na malha mais grosseria, os elementos tivessem tamanho máximo um pouco inferior ao diâmetro da maior partícula. O concreto foi considerado como uma composição bifásica de matriz e agregado com relação constitutiva linear, módulos de elasticidade  $E_m=30\text{GPa}$  (matriz) e  $E_a=300\text{MPa}$  (agregados), e coeficiente de Poisson  $\nu=0.2$ , para ambas as fases.

Para a abordagem direta, as simulações foram realizadas utilizando as estratégias NCMSP (*Non Conform Mesh Single Phase*) e NCMMP (*Non Conform Mesh Multi Phase*). Entretanto, para as malhas consideradas, os resultados das duas estratégias mostraram-se muito semelhantes. Assim, para sintetizar os resultados mais significativos apresentam-se somente aqueles obtidos com a estratégia NCMMP, além dos obtidos com a abordagem indireta. As variações dos deslocamentos horizontais e das deformações normais horizontais são mostradas nas Figuras 4 e 5, respectivamente. Nestas figuras, os resultados obtidos com a abordagem direta são mostrados na coluna à esquerda e aqueles obtidos com a abordagem indireta são mostrados na coluna à direita. Os resultados das diferentes malhas são apresentados do topo para a base da figura, partindo-se da malha mais refinada (malha M1), para a malha menos refinada (malha M4).

Pode-se observar que os campos de deslocamentos e de deformações, mostrados nas Figuras 4 e 5, não são uniformes como os que seriam obtidos em uma análise linear homogênea. Esse resultado é esperado, e comprova que a heterogeneidade foi introduzida independentemente da abordagem utilizada. Por outro lado, ao se comparar em cada uma das Figuras 4 e 5, as imagens obtidas com a abordagem direta com as obtidas com a abordagem indireta, nota-se que a abordagem direta, apesar de aparentar ser mais realista, induz concentrações de deformações, com variações bruscas no domínio do problema, que afastam a modelagem da representação adequada e desejável para um problema de meio contínuo. Para melhor ilustrar esse aspecto dos resultados, apresenta-se na Figura 6 a variação da deformação uniforme equivalente ( $\epsilon_{eq}$ ), definida como a razão entre o máximo deslocamento observado na face livre e a dimensão  $w$  da chapa tracionada, com a mudança da malha. O gráfico mostra que a deformação uniforme equivalente quase não variou com a mudança da malha, quando se usou a abordagem indireta, mas revelou variações significativas, quando se usou a abordagem direta. Acrescenta-se ainda que uma avaliação do módulo de elasticidade equivalente ( $E_{eq}$ ), obtido com a média das deformações homogêneas equivalentes da Figura 6 e a tensão aplicada na face livre, resulta em  $E_{eq}=6,6\text{ GPa}$ , para a abordagem direta, e  $E_{eq}=18,5\text{ GPa}$ , para a abordagem indireta, revelando que esse último valor é mais próximo do observado experimentalmente em uma mistura representativa do material concreto.

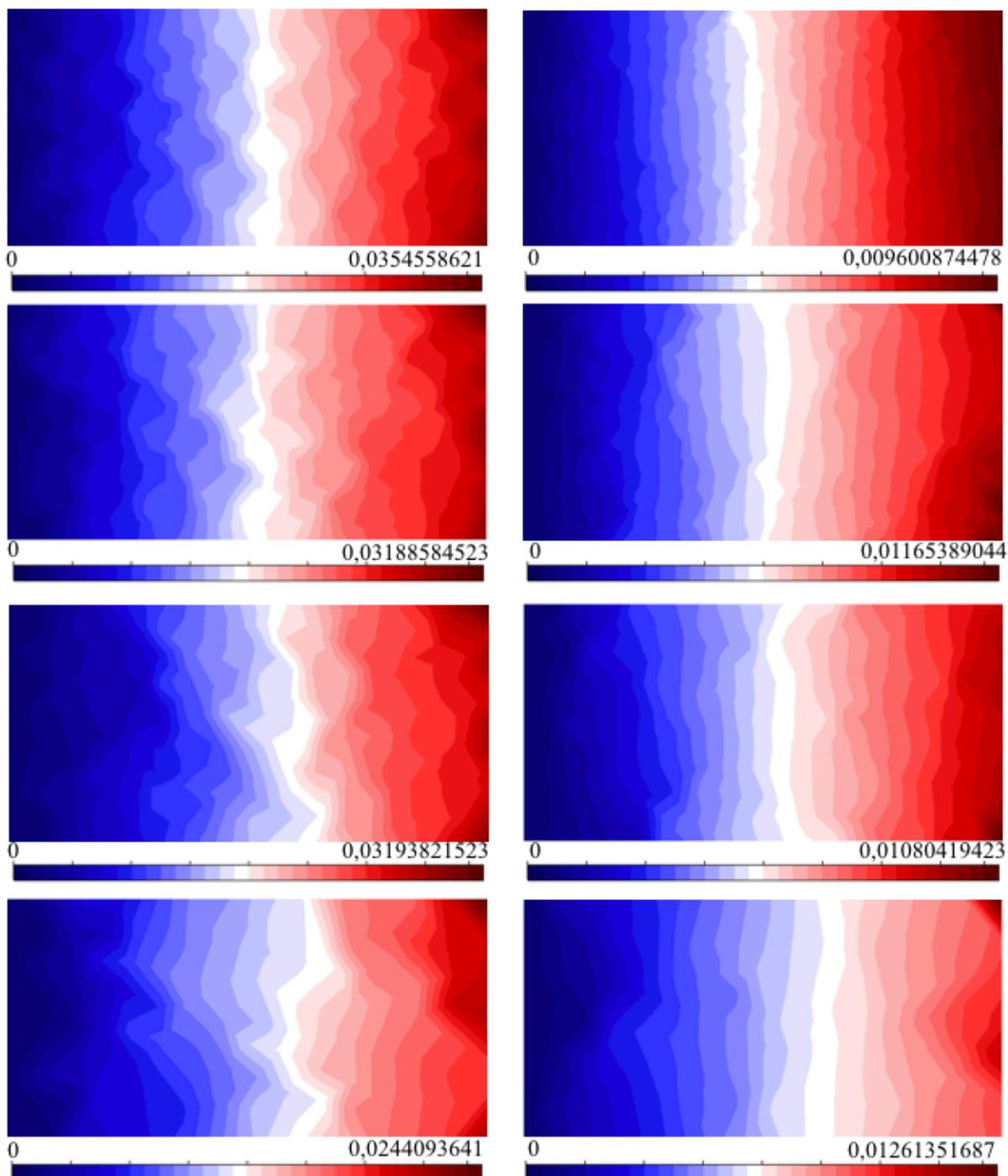


Figura 4. Variações dos deslocamentos horizontais obtidas com as duas abordagens e as quatro malhas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

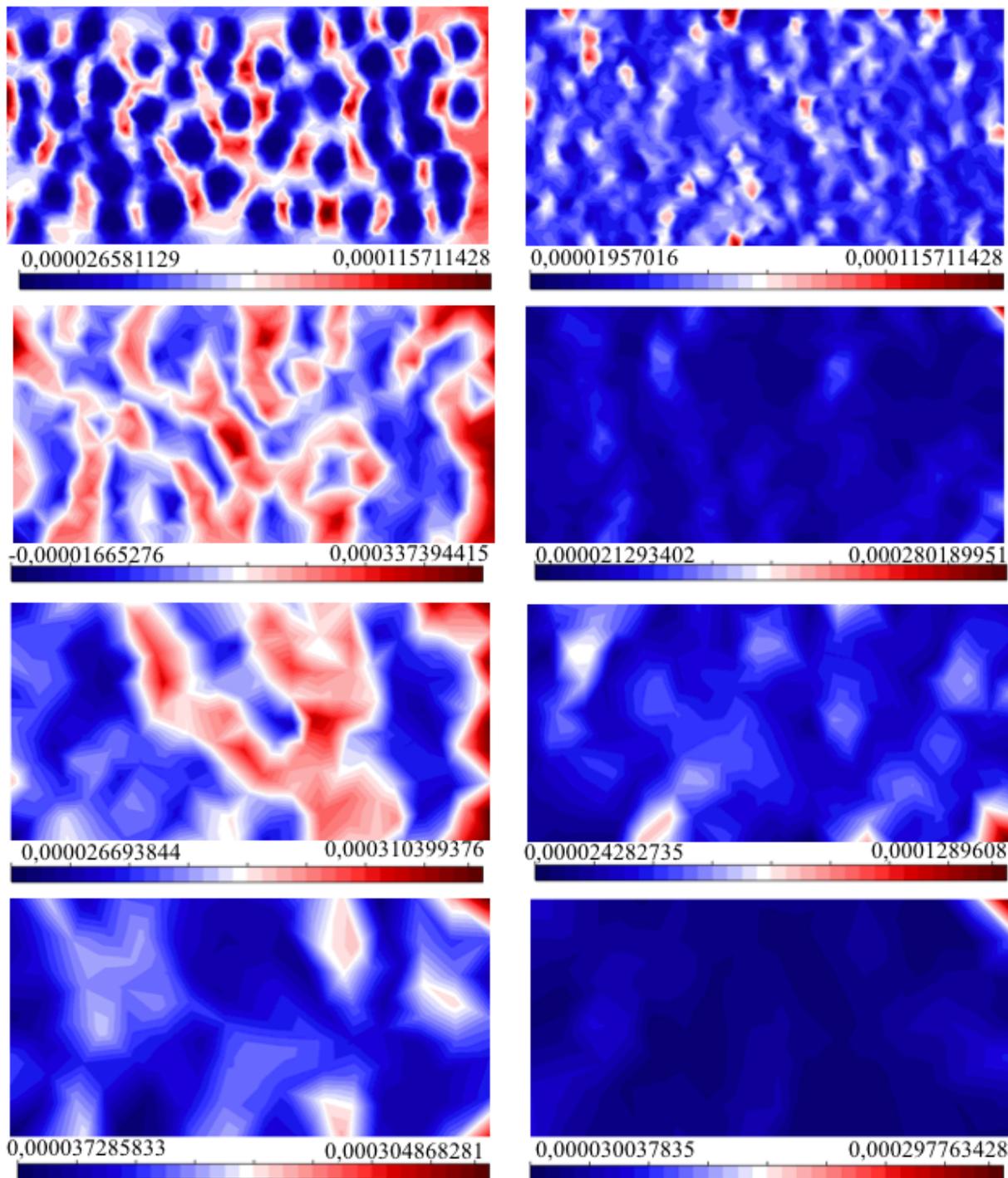


Figura 5. Variações das deformações horizontais obtidas com as duas abordagens e as quatro malhas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

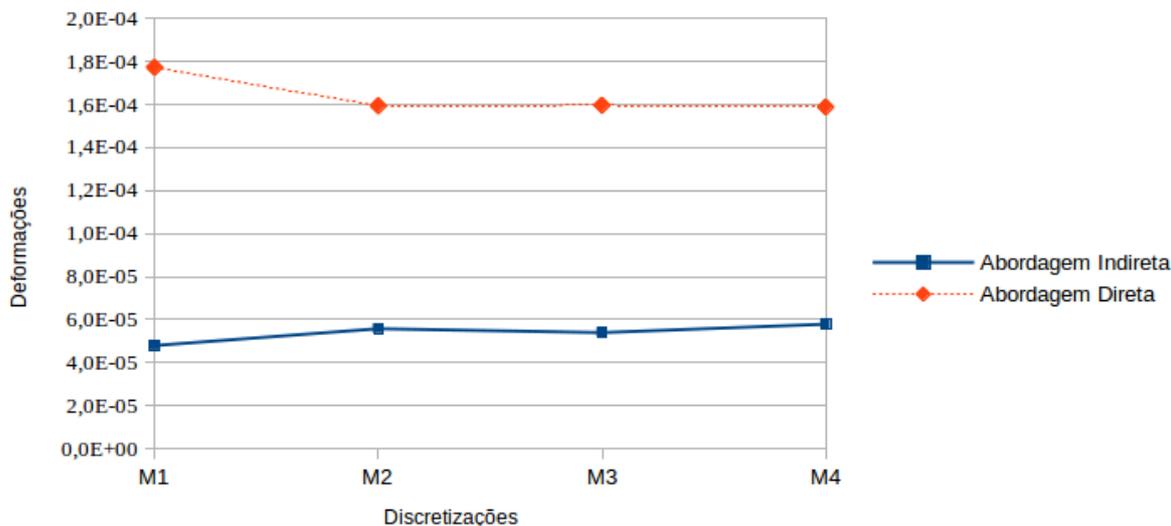


Figura 6. Variação da deformação uniforme equivalente com a malha

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo apresentou duas abordagens para introdução da heterogeneidade na análise via Método dos Elementos Finitos. A abordagem direta adota uma descrição detalhada da morfologia da mistura heterogênea enquanto a abordagem indireta a representa de forma probabilística. Essa diferença fundamental implica naturalmente em maior esforço computacional requerido para a abordagem direta, pois nesta a etapa de geração da distribuição dos grãos, inexistente na abordagem indireta, é imperativa.

Nota-se que na malha mais refinada os resultados apresentam campos de deslocamentos semelhantes, tanto na abordagem direta como na indireta, apesar dos valores não coincidirem. Em malhas mais grosseiras, tais campos não se assemelham. É importante observar que os campos de deslocamentos obtidos com uma malha grosseira e uma malha refinada utilizando a abordagem apresentam maior semelhança, em comparação com aqueles obtido pela abordagem direta.

Por meio das imagens dos campos de deformação, pode-se observar concentrações de deformações que evidenciam a boa representação da heterogeneidade. Evidentemente essa localização não coincide, ao compararmos as duas abordagens, nem mesmo em uma malha muito refinada, pois as formas de introdução da heterogeneidade são bastante diferentes.

Ao analisar a variação da assim denominada deformação uniforme equivalente com a mudança de malha, é possível notar que os resultados obtidos seguindo a abordagem indireta apresentam menor variação entre si quando comparados com aqueles obtidos com a abordagem direta, ressaltando assim a dependência desta abordagem em relação à discretização.



Concluindo, pode-se dizer que ambas as abordagens mostraram-se satisfatórias para representação qualitativa da heterogeneidade do meio, porém constatou-se que a abordagem direta necessita de uma malha mais refinada para bem representá-la. Também pode-se dizer que a abordagem indireta apresentou resultados mais convergentes e uma distribuição no campo das grandezas mais consistente ao analisar as diferentes discretizações.

Entretanto, tais conclusões podem ser precipitadas pois os resultados não revelaram proximidade quantitativa nos intervalos das grandezas estudadas (deslocamentos e deformações). Sendo assim, estudos adicionais são necessários de modo a estabelecer equivalência entre a distribuição das propriedades constitutivas obtida com a abordagem indireta, que varia a cada malha, com aquela obtida com a abordagem direta que, no estudo apresentado, foi mantida fixa. Pretende-se também, em futuros estudos, analisar o impacto da heterogeneidade na análise de problemas não lineares.

### ***AGRADECIMENTOS***

Os autores reconhecem e agradecem o suporte das agências de pesquisa brasileiras CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais).

### **REFERÊNCIAS**

- Asai, M.; Terada, K.; Ikeda, K. Meso-scopic concrete analysis with a lattice model. In: Cachan, France. Fracture mechanics of concrete and concrete structures, edited by René de Borst. Proceeding of the Fourth International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. [S.l.], 2001. v.764.
- Bazant, Z. P., Tabbara, M. R., Kazemi, M. T. e Cabot, G. P. (1990) - “Random Particle Model for Fracture of Aggregate or Fiber Composites”, Journal of Engineering Mechanics (ASCE), Vol. 116, No. 8, pp. 1186-1705.
- Ferreira, G. N.A. ; Pitangueira, R.L.S, Geradores de malha em uma aplicação gráfica interativa para modelos bidimensionais do método dos elementos finitos. 2015, CILAMCE.
- Monteiro, H.; Pitangueira, R.; Barros F. Multiscale strategy for analysis of softening media using the generalized finite element method. 2017, CILAMCE, v. 4, n. 3, p. 129–134.
- Pitangueira, R. L. S. Mecânica de Estruturas de Concreto com Inclusão de Efeitos de Tamanho e Heterogeneidade. Tese (Doutorado) — PUC - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Agosto 1998.
- Rossi, P.; Richer, S. Numerical modelling of concrete cracking based on a stochastic approach. Materials and Structures, Springer, v. 20, n. 5, p. 334–337, 1987.



Schlangen, E.; Mier, J. V. Simple lattice model for numerical simulation of fracture of concrete materials and structures. *Materials and Structures*, Springer, v. 25, n. 9, p. 534–542, 1992.

Schlangen, E. (1993) - “Experimental and Numerical Analysis of Fracture Processes in Concrete”, *Heron*, Vol. 38, No.2, pp. 1-117.