



# ANÁLISES ESTRUTURAIS VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS COM O USO DO PROGRAMA PFC2D

Lucas Siscate Bohrer  
Orientador: Alexandre Rodrigues Pacheco



## Introdução

A modelagem de problemas de engenharia é comumente baseada no Método dos Elementos Finitos (FEM). No entanto, este método se torna de difícil implementação quando o material analisado apresenta descontinuidades físicas, tais como no caso de fraturas ou movimentação de partículas (materiais granulares). Neste âmbito, uma abordagem alternativa foi proposta por Cundall and Strack (1979), o Método dos Elementos Discretos (DEM), que trata o meio como um conjunto de partículas descontínuas que obedecem à Segunda Lei de Newton e que interagem entre si através de leis constitutivas. Neste trabalho, apresenta-se um estudo sobre a modelagem e a análise computacional de estruturas com o uso do software comercial baseado no DEM, o PFC2D. Como o método é baseado em interações partícula-partícula, as respostas macroscópicas do modelo são definidas em função de parâmetros microscópicos do material.

## Objetivos

- Desenvolvimento de um algoritmo capaz de reproduzir e de apresentar ao usuário informações e gráficos pertinentes ao estudo;
- Ajuste de parâmetros microscópicos diretamente no PFC2D, a fim de que, sob determinadas condições de carregamento e de fronteira, os resultados obtidos pudessem ser comparados com dados experimentais disponíveis na literatura;
- Avaliar a qualidade e apontar dificuldades encontradas na modelagem realizada.

## Metodologia

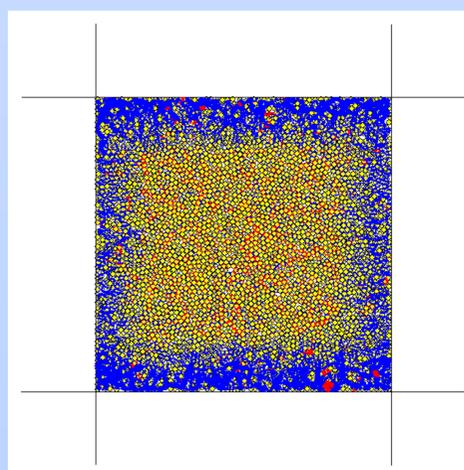
Como o PFC2D trabalha com parâmetros a nível de partícula, deseja-se reproduzir características experimentais de um material em que propriedades microscópicas são desconhecidas, devendo-se calibrar o modelo através de “modelagem inversa”. Desta forma, deve-se criar um algoritmo que reproduza fielmente os ensaios experimentais e que monitore as respostas macroscópicas do modelo. Ou seja, através de algumas iterações, deve-se variar os parâmetros até que o comportamento macroscópico do modelo combine com o laboratorial. Estes valores podem, então, ser utilizados em uma larga escala de simulações futuras no PFC2D que contenham o mesmo material. Assim, modelou-se ensaios biaxiais em placas de concreto cujas curvas de ruptura eram sabidas, o que permite, portanto, correlacionar os parâmetros de modelo com as propriedades mecânicas do concreto considerado.

## Resultados

Para resolver o problema específico da placa de concreto citada acima, foi desenvolvido um algoritmo com etapas como geração de partículas, de plotagens da amostra (Figura 1) e de curvas características (Gráfico 1); definição de condições de fronteira, de parâmetros e de um mecanismo de controle servo que mantém a tensão de confinamento constante; obtenção de informações como módulo de elasticidade, tensão de ruptura e coeficiente de Poisson. Na Tabela 1, pode-se verificar um exemplo de processo de iteração do módulo de elasticidade da amostra onde percebe-se a convergência dos valores da média em relação ao valor esperado.

## Conclusões

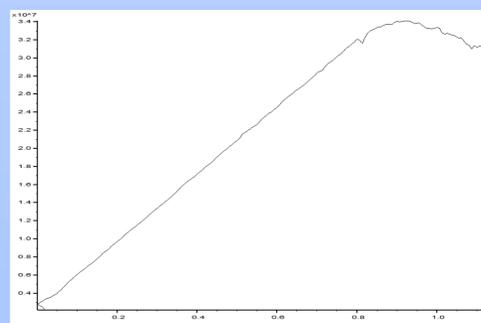
- Para materiais como o concreto que possui característica de cimentação entre partículas, o processo de calibração torna-se dificultado devido ao aumento significativo do número de parâmetros desconhecidos;
- Para que não haja grande variabilidade dentre os valores obtidos por amostra, deve-se utilizar uma alta relação comprimento da amostra/raio médio das partículas, o que resulta em maiores tempos de processamento;
- Dificuldade de escolha do modelo de contato (linear, Hertz-Mindlin, viscoelástico, Burger, etc.) a ser utilizado, o que pode ocasionar em problemas de convergência;
- Os valores iniciais dos parâmetros devem estar relativamente próximos aos reais para que se possam extrair valores convenientes das curvas.



**Figura 1** – Placa de concreto no início do processo de compressão biaxial. As cores azul e vermelho, representam ligações paralelas de compressão e de tração, respectivamente.

**Tabela 1** – Processo de iteração de um ensaio uniaxial em que nota-se a convergência dos valores da média ao valor esperado de módulo de elasticidade longitudinal.

Amostra	E (GPa) - iterações			
1	29,46	24,04	26,46	28,31
2	25,38	23,48	26,53	28,15
3	27,04	22,85	26,30	26,35
4	27,46	21,78	22,24	25,95
5	25,30	21,88	24,87	24,03
<b>Média</b>	<b>26,93</b>	<b>22,81</b>	<b>25,28</b>	<b>26,56</b>
<b>Esperado</b>	<b>26,58</b>			



**Gráfico 1** – Curva de tensão/deformação de um ensaio de compressão biaxial gerada pelo programa.