

Modelos Matemáticos em Geologia Estrutural

Anderson Moraes

Em última análise, a quantificação na solução de problemas da mecânica dos meios contínuos em Geologia Estrutural e Geotectônica visa resolver as equações diferenciais relativas às formulações constitutivas e de equilíbrio. Considerando-se o real estágio do conhecimento fenomenológico dos processos tectônicos, pode-se dizer que ele se insira na máxima “quantificar em geologia é qualificar com números”. Em linhas gerais, deve-se ressaltar que a modelagem matemática em Geologia Estrutural e Geotectônica auxilia a interpretação tectônica, em especial no que concerne à avaliação da consistência do modelo a adotar e ao proporcionar uma análise de sensibilidade e possibilística conjunta dos campos físicos atuantes e das propriedades das rochas. Uma inspeção da literatura mostra claramente que a utilização da modelagem matemática em Geologia Estrutural e Geotectônica está progressivamente cada vez mais se estabelecendo não tão somente como uma área acessória à interpretação geológica mas até mesmo como tópico fundamental em alguns casos, principalmente em função da dificuldade de acesso aos fenômenos envoltos e da restrição temporal intrínseca para a condução de experimentos.

Os modelos de cunho matemático em Geologia Estrutural e Geotectônica, além das dificuldades intrínsecas aos problemas de análise matemática tradicionais em quaisquer áreas, encerram em adição dificuldades relativas às escalas física e temporal dos problemas geológicos. Como colocado anteriormente, os métodos matemáticos para a solução dos problemas podem ser genericamente divididos nos métodos analíticos e nos métodos numéricos. Em termos metodológicos, de forma geral, são buscadas soluções por modelos determinístico-matemáticos, com soluções analíticas e/ou numéricas, com argumentação empírica e base experimental associadas.

Evidentemente, os métodos matemáticos analíticos em função de apresentarem uma solução direta das equações diferenciais acerca de determinado fenômeno encerram soluções exatas. Todavia, é claro, sua utilização é na maioria dos casos restrita a premissas, dimensões e geometrias menos complexas. Por sua vez, os métodos matemáticos numéricos, embora apenas aproximem a solução exata em razão de necessitarem de uma discretização do meio considerado, se dequam de maneira exemplar a proposições e geometrias mais complexas, podendo ser estendidos facilmente em qualquer

dimensão espacial e no tempo. Sintetizando, pode-se dizer que os modelos matemáticos por métodos analíticos explicitam soluções exatas e os modelos matemáticos por métodos numéricos encerram soluções aproximadas, conquanto estas geralmente encerrem erros desprezíveis e, assim, plenamente toleráveis.

Adicionalmente, um ponto fundamental na utilização de métodos matemáticos, principalmente nos métodos numéricos, é que a resolução de sistemas de equações diferenciais necessita que sejam introduzidas condições de contorno, isto é, valores previamente prescritos ou conhecidos para algumas variáveis ou suas derivadas relacionadas ao comportamento físico do meio a ser modelado. De fato, as equações diferenciais exibem soluções múltiplas e, assim, é mister serem prescritos valores para algumas grandezas físicas envolvidas na modelagem do meio para que se tenha uma solução única para o problema. Mais ainda, no caso de modelos numéricos, especialmente quando o sistema de equações diferenciais é resolvido por métodos diretos, a inserção de determinadas condições de contorno é condição necessária para que o problema seja resolvido matematicamente. Rigorosamente, utiliza-se a expressão condições iniciais e não a expressão condições de contorno para problemas transientes, isto é, que encerram evolução no tempo. A imposição das condições de contorno é fator crítico em qualquer análise matemática. Especialmente no caso de estudos em Geologia Estrutural e Geotectônica, no sentido que os sistemas relativos aos ambientes geológicos são naturalmente complexos e carregam incertezas mesmo na sua própria concepção. Frequentemente tem-se somente uma ideia geral das condições de contorno a serem impostas aos modelos. Os resultados quando da utilização de quaisquer métodos numéricos em Geologia Estrutural e Geotectônica podem ser extremamente dependentes das condições de contorno utilizadas. Por exemplo, fatores como a prescrição de cargas ou de deslocamentos em determinadas bordas e a restrição do movimento em determinadas porções dos blocos modelados impactam diretamente os resultados obtidos. Todavia, muitas vezes análises com condições de contorno pouco abrangentes podem encerrar algo ilustrativo ainda que tão somente do ponto de vista qualitativo. Nesse sentido, com pertinácia, é imperativo gerar e analisar diversos modelos com condições de contorno aceitáveis e avaliar e comparar os resultados obtidos.