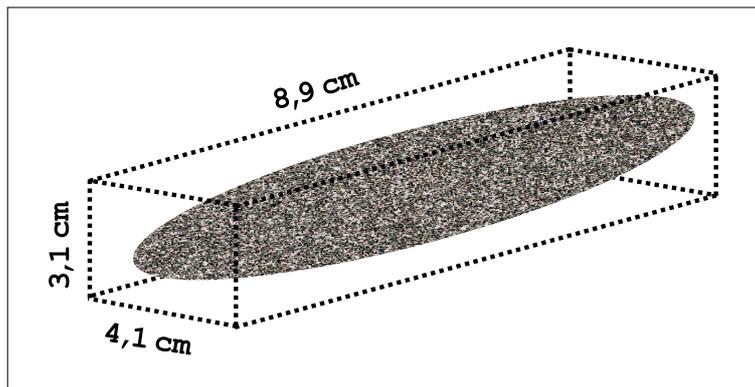


Cálculo da Deformação Finita em Seixos

Anderson Moraes

As premissas básicas para se trabalhar a deformação finita em seixos referem-se à forma e à orientação originais do indeformado, ao nível de compactação alcançado anteriormente no ambiente sedimentar original, às orientações espaciais em relação ao transporte tectônico e à deformação volumétrica envolvida. Postula-se alegoricamente aqui que o seixo apresentado na figura abaixo é representativo do quadro impresso ao metaconglomerado como um todo. É claro que para se chegar a tal quadro deve ser feita uma análise exaustiva de medições em campo relativos a uma quantidade considerável de seixos (veja Ramsay (1967) e Ramsay e Huber (1983) para detalhes).



Ainda, postula-se que o seixo tem a forma aproximada de uma elipsoide e que, quando indeformado, tinha uma forma esférica. Veja que *a priori* é impossível dissociar as deformações devido à compactação sedimentar anterior e devido à tectônica. Adicionalmente, pode-se preconizar no mínimo duas situações: a deformação se deu em estado plano de deformação, de forma que um dos semi-eixos s_i do seixo deformado representaria o raio do seixo indeformado r , ou a deformação não se deu em estado plano de deformação. Na primeira situação é mais adequado se postular que o raio do seixo quando indeformado seria por vez um dos dois semi-eixos menores do seixo deformado. Sendo $s_1 = \left(\frac{8,9}{2}\right) = 4,45$ cm, $s_2 = \left(\frac{4,1}{2}\right) = 2,05$ cm e $s_3 = \left(\frac{3,1}{2}\right) = 1,55$ cm, com $r = s_2 = 2,05$ cm e da definição de deformação longitudinal:

$$e = \frac{l-L}{L}$$

onde L e l são respectivamente os comprimentos inicial e final de uma linha material qualquer, tem-se:

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{s_1-r}{r} = \frac{4,45-2,05}{2,05} = 1,1707 \\ e_2 &= \frac{s_2-r}{r} = \frac{2,05-2,05}{2,05} = 0 \\ e_3 &= \frac{s_3-r}{r} = \frac{1,55-2,05}{2,05} = -0,2439 \end{aligned}$$

Por sua vez, para $r = s_3 = 1,55$ cm vem que:

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{s_1-r}{r} = \frac{4,45-1,55}{1,55} = 1,8710 \\ e_2 &= \frac{s_2-r}{r} = \frac{2,05-1,55}{1,55} = 0,3226 \\ e_3 &= \frac{s_3-r}{r} = \frac{1,55-1,55}{1,55} = 0 \end{aligned}$$

Note que, em acordo com a definição de deformação volumétrica:

$$\Delta = (1 + e_1)(1 + e_2)(1 + e_3) - 1$$

em ambos os casos tem-se deformação volumétrica positiva. Sem posicionar o seixo com relação à direção de transporte tectônico, forçosamente tem-se a segunda situação acima descrita. Com o objetivo de se calcular o raio do seixo indeformado, assume-se que a deformação foi isocórica. Dessa forma, sendo V_{esfe} o volume de uma esfera e V_{elip} o volume de um elipsoide, o raio do seixo quando indeformado é dado por:

$$V_{esfe} = V_{elip} \Rightarrow \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi s_1 s_2 s_3}{3} \Rightarrow r^3 = 4,45 \cdot 2,05 \cdot 1,55 \Rightarrow r = 2,4181 \text{ cm}$$

Então, pode-se calcular:

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{s_1-r}{r} = \frac{4,45-2,4181}{2,4181} = 0,8403 \\ e_2 &= \frac{s_2-r}{r} = \frac{2,05-2,4181}{2,4181} = -0,1522 \\ e_3 &= \frac{s_3-r}{r} = \frac{1,55-2,4181}{2,4181} = -0,3590 \end{aligned}$$

Algumas conclusões importantes afloram naturalmente e devem ser levadas em conta mesmo quando se trabalha com uma quantidade adequada de dados. De fato, comparando-se os resultados fica evidente que as premissas adotadas afetam em muito as magnitudes, as implicações e a própria relevância acerca das deformações finitas obtidas.

Como “retirar” a fábrica sedimentar anterior à deformação? Paterson e Yu (1994) sistematizam a fábrica sedimentar original para diversas rochas sedimentares e vulcanoclásticas, em especial arenitos, sugerindo médias para as deformações longitudinais relativas tão somente ao ambiente sedimentar, portanto antes da deformação tectônica. Considerando conglomerados, os

autores sugerem $e_1 = 0,15$, $e_2 = -0,02$ e $e_3 = -0,11$ para as médias das deformações longitudinais no ambiente sedimentar. Dessa forma, pode-se escrever o tensor gradiente de deformação para a fábrica sedimentar original F_{fso} na forma:

$$F_{fso} = \begin{pmatrix} 1 + e_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + e_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 + e_3 \end{pmatrix} \Rightarrow F_{fso} = \begin{pmatrix} 1 + 0,15 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - 0,02 & 0 \\ 0 & 0 & 1 - 0,11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,15 & 0 & 0 \\ 0 & 0,98 & 0 \\ 0 & 0 & 0,89 \end{pmatrix}$$

Pode-se descrever a deformação finita por sucessivas multiplicações dos tensores gradiente de deformação que descrevem determinada deformação isoladamente na forma:

$$F^f = F_n^i \dots F_2^i F_1^i$$

onde F^f é o tensor gradiente de deformação final, resultante da concatenação de n estados de deformação dados através de cada k tensor gradiente de deformação incremental F_k^i . Evidentemente, como a multiplicação de matrizes não é comutativa, a ordem da multiplicação de cada incremento é fundamental. Assim, o tensor gradiente de deformação para a fábrica atual F_{fa} e o tensor gradiente de deformação devido à tectônica F_{tec} seriam relacionados por $F_{fa} = F_{tec} F_{fso}$, o que, considerando-se o caso com deformação volumétrica nula, implica em:

$$F_{tec} = F_{fa} F_{fso}^{-1} \Rightarrow F_{tec} = \begin{pmatrix} 1 + 0,8403 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - 0,1522 & 0 \\ 0 & 0 & 1 - 0,3590 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{1,15} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{0,98} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{0,89} \end{pmatrix} \Rightarrow F_{tec} = \begin{pmatrix} 1,6003 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8651 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7202 \end{pmatrix}$$

Dessa forma, as deformações longitudinais para o seixo deformado devido somente à tectônica ficam:

$$\begin{aligned} e_1 &= F_{tec11} - 1 = 1,6003 - 1 = 0,6003 \\ e_2 &= F_{tec22} - 1 = 0,8651 - 1 = -0,1349 \\ e_3 &= F_{tec33} - 1 = 0,7202 - 1 = -0,2798 \end{aligned}$$

Como salientado em Paterson e Yu (1994), a maior incerteza nesse tipo de análise se refere ao desconhecimento da orientação da fábrica sedimentar original em relação ao carregamento tectônico. Todavia, como as razões entre os semi-eixos do elipsoide de deformações finitas $X:Y:Z$ relativas tão somente ao ambiente sedimentar são relativamente pequenas, isto é, 1, 15:0, 98:0, 89, o tratamento proposto captura razoavelmente as deformações relacionadas somente ao quadro tectônico.

Referências

- Paterson, S.R. e Yu, H. 1994. Primary fabric ellipsoids in sandstones: implications for depositional processes and strain analysis. *J. Struc. Geol.*, 16:505-517.
- Ramsay, J.G. 1967. *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill, New York.
- Ramsay, J.G. e Huber, M.I. 1983. *The techniques of modern structural geology*. Volume 1: strain analysis. Academic Press, London.