

Backstripping

Anderson Moraes

O *backstripping* é a técnica que possibilita a determinação da subsidência tectônica envolta na origem e no desenvolvimento de uma bacia sedimentar caso esta contivesse somente água. A subsidência total em uma bacia sedimentar é consequência não somente da subsidência tectônica mas também dos carregamentos devido à sedimentação e à coluna de água. Assim, o termo *backstripping* (retrodesnudação) se justifica pois se busca remover essas cargas em relação ao embasamento da bacia sedimentar de forma a recuperar estritamente a subsidência tectônica. Em outras palavras, a técnica do *backstripping* reconstrói a história de subsidência do embasamento de uma bacia sedimentar. Note que a descompactação das camadas sedimentares possibilita encontrar a taxa de acumulação de sedimentos ao longo do tempo, todavia tal taxa não é a taxa de subsidência tectônica. A subsidência tectônica w_{tec} compõe-se da subsidência mecânica w_m , por exemplo devido a falhas ou à carga flexural produzida por orogênese, e da consequente subsidência relativa à mudança de estrutura térmica em escala litosférica. Esta última compõe-se, a depender do regime tectônico, de um soerguimento/subsidência *sensu strictu* termal inicial w_{ti} , relacionado à mudança de estrutura térmica quando da implantação do descarregamento/carregamento mecânico, e de uma subsidência *sensu strictu*/soerguimento termal ao longo do tempo w_{tt} , esta relativa ao caminho para a retomada da estrutura térmica anterior à tectônica. Dessa forma, escreve-se:

$$w_{tec} = w_m + w_{ti} + w_{tt} \quad (1)$$

O *backstripping* recupera a subsidência tectônica tendo a profundidade do topo do embasamento da bacia sedimentar como referência natural, permitindo a comparação de poços e de seções stratigráficas de uma bacia sedimentar em termos de subsidência tectônica. Nesse sentido, para se recuperar a subsidência tectônica deve-se corrigir a profundidade do embasamento no tempo t em relação a sua profundidade atual (i) para a carga devido à espessura da camada sedimentar descompactada $s^*(t)$, (ii) para a carga devido à variação do nível do mar $\Delta_{nm}(t)$ e (iii) para a paleopropriedade da coluna de água $w_a(t)$. O *backstripping* pode ser aplicado ao registro geológico através dos enfoques de compensação isostática local e de compensação isostática flexural, a depender principalmente do comprimento de onda das cargas analisadas e do nível de rigidez da litosfera. O *backstripping*

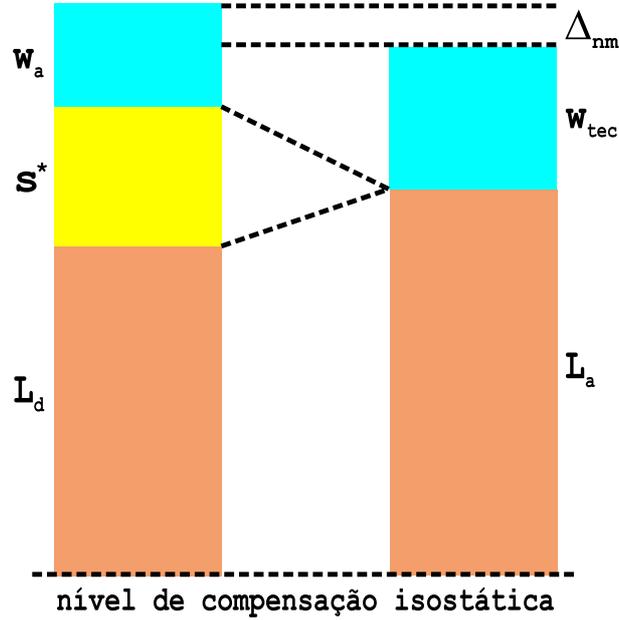


Figura 1: Colunas de rocha com carregamento sedimentar e com aplicação do *backstripping*.

valendo-se da compensação isostática local, ou simplesmente *backstripping*, é plenamente justificável ao se trabalhar com bacias sedimentares mais avançadas ou quando se analisa as porções mais próximas ao depocentro das bacias sedimentares. A Figura 1 ilustra o contexto para as colunas de rocha com o carregamento sedimentar relativo a toda a bacia sedimentar e após a aplicação do *backstripping* em relação a um *datum*, o nível do mar atual. Considerando uma compensação isostática local por Airy com nível de compensação na astenosfera e que a densidade do manto é imposta para toda a litosfera, pode-se escrever:

$$\rho_a g w_a + \bar{\rho}_{cs} g s^* + \rho_m g L_d = \rho_a g w_{tec} + \rho_m g L_a \quad (2)$$

onde L_d e L_a são as espessuras da litosfera depois e antes da sedimentação, respectivamente. As espessuras das colunas de rochas relacionam-se por:

$$w_a - \Delta_{nm} + s^* + L_d = w_{tec} + L_a \quad (3)$$

Das expressões 2 e 3, chega-se à equação da subsidência tectônica pelo *backstripping*:

$$w_{tec} = \left(\frac{\rho_m - \bar{\rho}_{cs}}{\rho_m - \rho_a} \right) s^* - \left(\frac{\rho_m}{\rho_m - \rho_a} \right) \Delta_{nm} + w_a \quad (4)$$

Na sequência, os termos no segundo membro da equação da subsidência tectônica pelo *backstripping* representam a subsidência relativa ao carregamento devido aos sedimentos, a subsidência relativa à variação do nível do mar e a paleoprofundidade da coluna de água. Deve-se reforçar que se assume a subsidência tectônica do embasamento da bacia sedimentar relativa à bacia sedimentar preenchida por água. Assim, a variação do nível do mar encerra um valor positivo ou um valor negativo para níveis do mar, na ordem, mais alto ou mais baixo em relação ao nível do mar atual (*datum*), e, dessa forma, a correção da subsidência tectônica para à variação do nível do mar é subtraída ou adicionada, na ordem, aos demais termos. Ainda, observa-se que a paleoprofundidade da coluna de água é incorporada à subsidência tectônica, pois como se supõe que a bacia sedimentar é preenchida por água, a paleoprofundidade da coluna de água em relação ao nível do mar atual denota objetivamente parte da subsidência tectônica. Note que não se trata de considerar a espessura da coluna de água, mas a paleoprofundidade em si. De fato, para um nível do mar mais alto no passado a coluna de água total é maior que a paleoprofundidade da coluna de água em relação ao nível do mar atual e para um nível do mar mais baixo no passado a coluna de água total é menor que a paleoprofundidade da coluna de água em relação ao nível do mar atual. Com o intuito de isolar a parcela para a correção da subsidência tectônica devido tão somente ao carregamento da coluna de água relacionada à variação do nível do mar, subtrai-se a variação do nível do mar da paleoprofundidade da coluna de água e soma-se a variação do nível do mar à subsidência relativa à variação do nível do mar na equação da subsidência tectônica pelo *backstripping*, expressão 4. Ou seja:

$$w_{tec} = \left(\frac{\rho_m - \bar{\rho}_{cs}}{\rho_m - \rho_a} \right) s^* - \left(\frac{\rho_m}{\rho_m - \rho_a} \right) \Delta_{nm} + \Delta_{nm} + w_a - \Delta_{nm} \quad (5)$$

o que leva a:

$$w_{tec} = \left(\frac{\rho_m - \bar{\rho}_{cs}}{\rho_m - \rho_a} \right) s^* - \left(\frac{\rho_a}{\rho_m - \rho_a} \right) \Delta_{nm} + (w_a - \Delta_{nm}) \quad (6)$$

Dessa forma, agora o segundo termo do segundo membro da equação da subsidência tectônica pelo *backstripping* escrita por 6 evidencia a correção da subsidência tectônica devido ao carregamento da coluna de água relativa à variação do nível do mar. Adicionalmente, o último termo do segundo membro se trata da paleoprofundidade da coluna de água corrigida para a variação do nível do mar, pois a paleoprofundidade deve ser medida em relação ao nível do mar hodierno. Claramente, de especial interesse é aplicar a equação

da subsidência tectônica pelo *backstripping* de forma sequencial para as diversas camadas que preenchem a bacia sedimentar, possibilitando traçar a subsidência tectônica ao longo do tempo. Evidentemente, para a aplicação da equação da subsidência tectônica pelo *backstripping* é necessário fazer a descompactação das camadas ao longo de todo o tempo para se determinar as espessuras e as densidades médias das camadas ao longo do tempo e ainda é necessário conhecer as variações do nível do mar e as paleopropundidades da coluna de água no tempo de deposição de cada camada. Com a bacia sedimentar composta de n camadas a densidade média da camada i descompactada no tempo é calculada por:

$$\bar{\rho}_{csi}(t) = (1 - \bar{\phi}_i(t))\rho_{si} + \bar{\phi}_i(t)\rho_a \quad (7)$$

onde $\bar{\phi}_i(t)$ é a porosidade média da camada i descompactada no tempo. Dessa forma, a densidade média da coluna sedimentar descompactada no tempo é computada através de:

$$\bar{\rho}_{cs}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\rho}_{csi}(t) s_i^*(t)}{\sum_{i=1}^n s_i^*(t)} \quad (8)$$

As variações do nível do mar podem ser incorporadas através da utilização de curvas de variação do nível do mar globais, embora não haja concordância em termos de magnitudes entre elas. Exemplos dessas curvas são a curva de Vail, construída através da análise da sequência estratigráfica em seções sísmicas de diversas bacias sedimentares no planeta, e a curva de Pittman, concebida pela análise da variação do volume de diversas cadeias meso-oceânicas no tempo geológico. Tomando-se valores factíveis para as densidades presentes no termo para a correção da subsidência tectônica relacionada à variação do nível do mar na equação da subsidência tectônica pelo *backstripping*, expressão 4, vê-se que tal correção vale aproximadamente:

$$1,45\Delta_{nm} \quad (9)$$

Por exemplo, desde o Cretáceo a variação do nível do mar máxima foi por volta de +280 m, de forma que se teria uma correção para a subsidência tectônica relacionada à carga devido à variação do nível do mar máxima por volta de -400 m. Mais ainda, considerando-se bacias sedimentares isoladas de oceanos, obviamente não há necessidade de se fazer a correção relacionada às variações do nível do mar. Por sua vez, a determinação das paleopropundidades da coluna de água não é tarefa simples. As paleopropundidades são estimadas, principalmente, por meio do registro fóssilífero, em especial o relativo a microfósseis bentônicos, e também através das fácies sedimentares e da assinatura geoquímica das rochas. As paleopropundidades da coluna de água

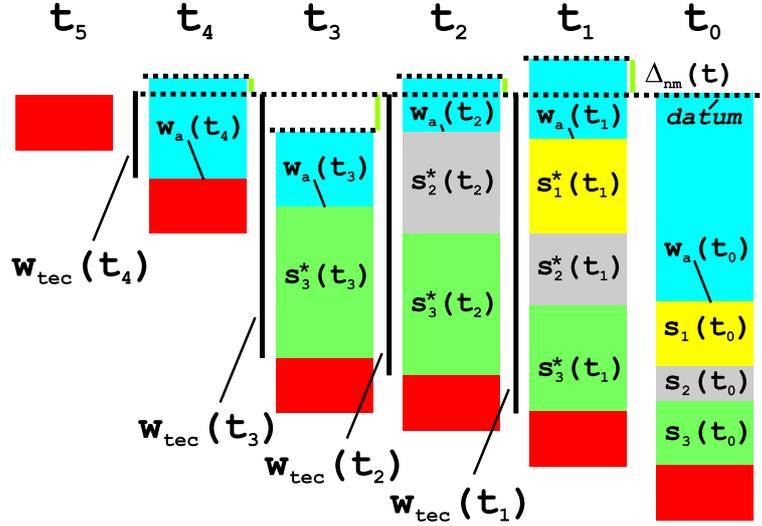


Figura 2: Ilustração da aplicação da equação da subsidência tectônica pelo *backstripping*.

podem encerrar valores significativos de até alguns mil metros. Em síntese, como sugere a Figura 2, a equação da subsidência tectônica pelo *backstripping* aplicada de forma sequencial em todas as camadas da bacia sedimentar fica:

$$w_{tec}(t) = \left(\frac{\rho_m - \bar{\rho}_{cs}(t)}{\rho_m - \rho_a} \right) s_i^*(t) - \left(\frac{\rho_m}{\rho_m - \rho_a} \right) \Delta_{nm}(t) + w_a(t) \quad (10)$$

Em acordo com a referida figura, no tempo t_5 ainda não ocorreu o evento tectônico, que se dá no tempo t_4 , onde se apresenta a subsidência tectônica já com a subsidência mecânica e o ajuste termal inicial. A camada 3 é depositada entre os tempos t_3 e t_2 e as demais camadas com a mesma estrutura indutiva, de forma que a camada 1 é depositada entre os tempos t_1 e t_0 , este último representando hoje em dia. Note as representações ao longo do tempo para as variações do nível do mar, para as paleopropfundidades da coluna de água e, claro, para a subsidência tectônica acumulada em relação ao *datum*, o nível do mar atual. Observe que as camadas no tempo t_0 , não descompactadas, representam a situação atual, isto é, o que se obteria através da perfuração de um poço, entidade fundamental para se aplicar a técnica do *backstripping*. Do ponto de vista prático, pode-se considerar deposição imediata, de forma que a subsidência tectônica para a camada i com idade t_i é apresentada no tempo t_{i-1} quando se gráfica a subsidência tectônica ao longo do tempo. A Figura 3 esquematiza o *backstripping* aplicado de forma sequencial para uma coluna sedimentar fatiada em seis camadas, sendo que

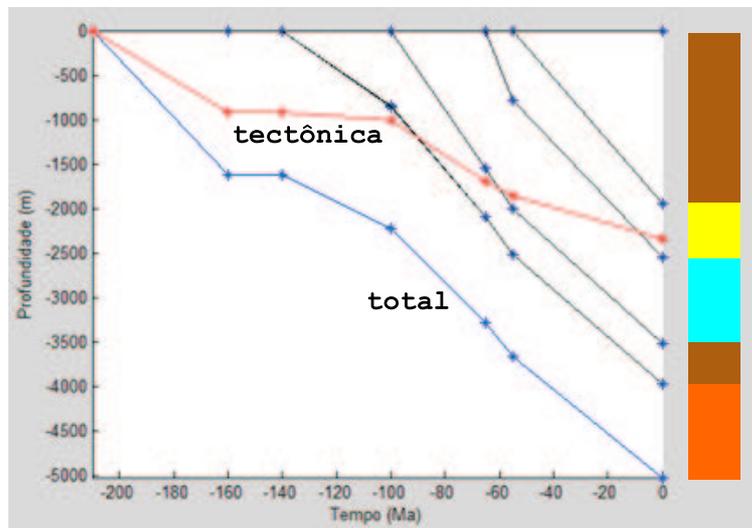


Figura 3: *Backstripping* aplicado de forma sequencial.

na verdade uma delas representa tão somente um hiato, um intervalo de não-deposição ou de erosão.