

4. Metodologia

Os modelos analíticos apresentados no item 2.3 do capítulo de revisão bibliográfica foram validados com resultados de ensaios de cortador único para diferentes materiais (arenito Vosges, calcário Cartago, entre outros). Agora se busca determinar qual destes modelos estima melhor as forças de corte em evaporitos comparando com as forças obtidas através dos ensaios realizados de cortador único.

Os modelos consideram os parâmetros de resistência mecânica do material e da geometria do cortador para a estimativa das forças de corte, e serão feitas algumas simplificações a fim de uniformizar a comparação entre eles.

Alguns parâmetros têm grande influência nos resultados dos modelos analíticos e sua determinação deve ser feita cuidadosamente a fim de obter estimativas de forças mais confiáveis. Estes parâmetros são generalizados para serem aplicados aos modelos analíticos utilizados e serão discutidos no item 4.2.

4.1. Modelos utilizados

A análise do modelo de Detournay e Defourny (1992) somente será considerada para cortadores afiados.

Cabe ressaltar que os autores também apresentam evidências de que a coesão da rocha obtida no processo de corte é diferente da obtida experimentalmente com outros métodos. Eles sugerem que a coesão pode ser tratada como uma coesão aparente que é menor do que a coesão deduzida dos ensaios triaxiais (Detournay e Atkinson, 1991). Mas, como na literatura não é expressa uma maneira de calcular esta coesão aparente, em nosso cálculo serão utilizadas as propriedades da rocha tal como foram calculadas no capítulo anterior.

A influência da poropressão não será considerada nesta análise, caracterizando um processo de corte em condições não drenadas.

Para a aplicação do modelo de Gerbaud et al. (2006), as forças no chanfro e na parte posterior do cortador não serão consideradas, somente serão calculadas as forças na face do cortador.

O parâmetro λ , utilizado no modelo de Gerbaud et al. (2006) que foi apresentado na seção 2.3.2, deve ser estudado cuidadosamente em função da sua influência nas estimativas de força. O cálculo deste parâmetro λ é função da superfície horizontal de contato do material esmagado à frente do cortador. Existe uma grande incerteza quanto ao valor dessa superfície de contato já que o volume de material acumulado pode variar ao longo do ensaio e pode variar dependendo do confinamento utilizado. Portanto, para a determinação das estimativas de força para a halita, decidiu-se considerar a superfície de contato horizontal do material esmagado, como uma projeção horizontal da face do cortador. Assim o cálculo do parâmetro λ é feito como se expressa na equação 4.1. Esta é uma ideia da influência deste parâmetro no cálculo das forças de corte. Onde θ é o ângulo de ataque do cortador.

$$\lambda = \frac{\text{sen}\theta}{\tan\theta} \quad (4.1)$$

O modelo de Jianyong (2012) foi desenvolvido para a obtenção das propriedades de resistência da rocha a partir da medição das forças no ensaio do cortador único, porém, nas análises deste trabalho busca-se o processo inverso. Segundo o nosso objetivo, conhecendo as propriedades do material, procura-se obter a estimativa das forças de corte.

Na formulação do modelo o parâmetro R representa a energia superficial necessária para criar uma nova banda cisalhante. A resistência à criação de novas bandas cisalhantes será relacionada com a resistência à compressão simples para o caso de condição atmosférica. (Rafatian et al., 2009).

Para as condições de pressão confinante, serão adotadas as observações feitas por Pessier e Fear (1992). Os autores realizaram ensaios de corte em rocha sob pressões hidrostáticas e sugeriram a utilização da energia específica mínima como sendo equivalente à resistência à compressão confinada (CCS). A hipótese aplicada neste trabalho considera que a equivalência da CCS se dá com a energia superficial para a formação de novas bandas de cisalhamento.

O modelo de Jianyong (2012) não apresenta uma formulação clara no cálculo da componente da força vertical, e é por isso que suas estimativas não

serão consideradas neste caso. É importante lembrar que, como a componente da força horizontal é a mais significativa no processo de corte, é ela que será considerada para tais estimativas.

Considerando que os modelos analíticos de Coudyzer e Richard (2005) e Melo (2014) tem nas suas formulações o efeito do ângulo de inclinação lateral, será feita a comparação das suas estimativas com os resultados experimentais. (Primeiro avaliar se as estimativas das forças com o ângulo lateral de zero são aceitáveis com os resultados experimentais, e logo variar o ângulo e estudar seu comportamento).

4.2. Área de corte

No processo de corte em rocha, as forças que atuam sobre o cortador dependem da área transversal do corte (A_t) e da profundidade do corte. A determinação da área transversal de corte no cálculo das forças é muito importante, sendo ela proporcional ao valor da força de corte.

Na avaliação deste projeto trabalha-se com um cortador PDC circular, tanto para o modelo analítico, como no ensaio do cortador único. No cálculo da área de corte da face do cortador em contato com a rocha, considera-se a área de um segmento circular dada por:

$$A_c = \left(R^2 / 2 \right) (\alpha - \text{sen}(\alpha)) \quad (4.2)$$

$$\alpha = 2 \text{ACOS} \left(1 - (d/R * \cos\theta) \right) \quad (4.3)$$

Onde A_c é a área de corte do cortador em contato com a rocha, R é o raio do cortador, α é o ângulo que indica o incremento da largura e profundidade de corte em contato com a rocha, d é a profundidade de corte e θ é o ângulo de ataque.

Na primeira revolução (deslocamento angular de 0.44 m/s numa frequência de leitura de 512 Hz) do ensaio, a área de corte pode ser diretamente calculada como mostra a Figura 4.1.

Na primeira revolução, $A_c = A_c$, e nas seguintes revoluções, a área em contato com a formação no processo de corte deve subtrair a área imediatamente anterior que já foi cortada, conforme Figura 4.2. (Rade e Westergren, 2004).

$$A_c = A_n - A_{n-1} \quad (4.4)$$

As áreas de corte calculadas para cada revolução são projetadas para cumprir a condição de área transversal de corte, que é o contato entre a rocha e o material num plano vertical. Esta projeção é função da orientação do cortador (ângulo de ataque e ângulo de inclinação lateral).

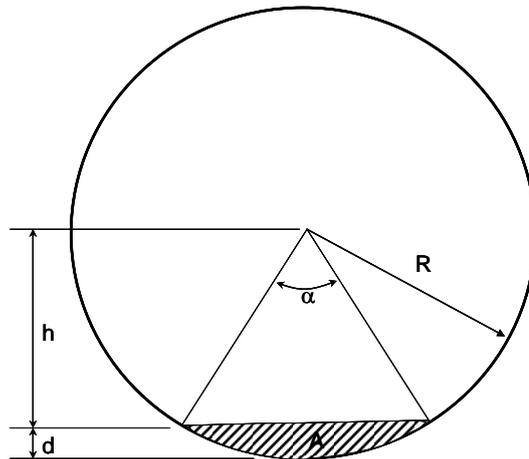


Figura 4.1-Cálculo da área na primeira revolução no processo de corte (Modificado de Rade e Westergren, 2004)

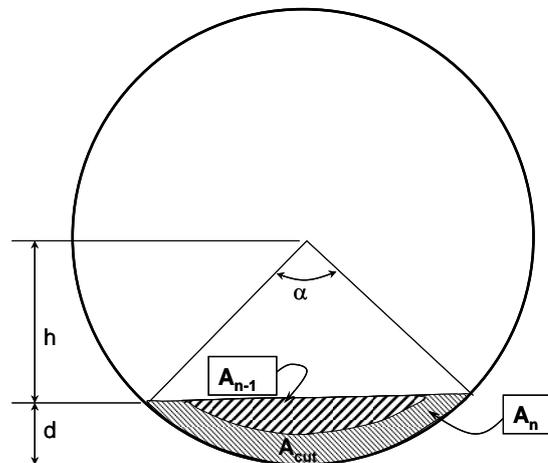


Figura 4.2- Cálculo da área nas revoluções posteriores à primeira no processo de corte (Modificado de Rade e Westergren, 2004)

4.3.

Ângulo de atrito interfacial

Os ângulos de atrito interfacial entre a face do cortador e a rocha podem ser relacionados com os ângulos da orientação do cortador (ângulo de ataque e ângulo de inclinação lateral). A partir dos experimentos realizados por Coudyzer e Richard (2005), foram feitas regressões lineares com os dados apresentados nas

Figuras 4.3 e 4.4. As relações obtidas entre os ângulos de atrito e os ângulos de orientação do cortador são expressas nas Equações 4.4 e 4.5.

$$\psi_n \cong 37,5^\circ - 0,85\theta \quad (4.5)$$

$$\psi_s \cong 1,25\beta - 0,3 \quad (4.6)$$

O cálculo destes parâmetros foi aplicado utilizando as equações acima para todos os modelos analíticos avaliados. As equações são validadas em um intervalo do ângulo de ataque de cortador (θ) entre 15° e 60° e no ângulo de inclinação lateral (β) entre 0° a 40° . Por exemplo, inserindo um ângulo de ataque de 20° na Equação 4.5, resulta em um valor de ângulo de atrito interfacial normal aproximadamente de $\psi_n = 19^\circ$, equivalente ao encontrado por Adachi et al. (1996) em suas observações. Nos experimentos realizados por estes autores em amostras de arenito Berea, é deduzido o $\psi_n = 19^\circ$ para condições atmosféricas (similar ao obtido pela Equação 4.5).

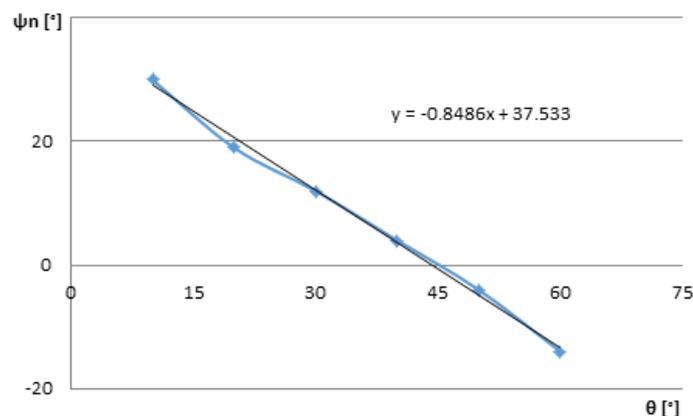


Figura 4.3-Linha de tendência para obtenção do ângulo de atrito normal em função do ângulo de ataque

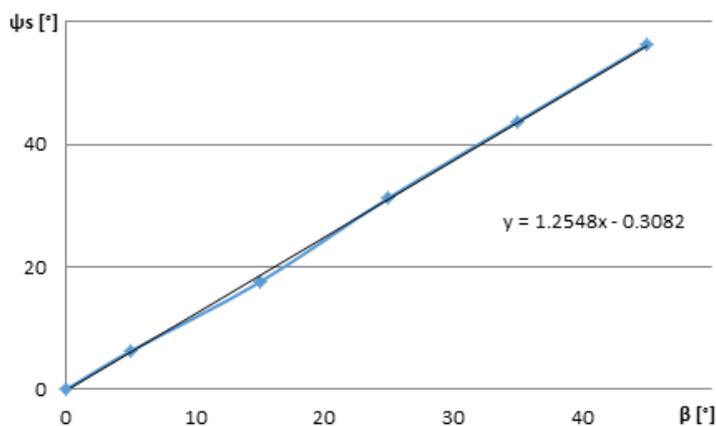


Figura 4.4- Linha de tendência para obtenção do ângulo de atrito lateral em função do ângulo de inclinação lateral

4.4. Ângulo de falha da rocha

A inclinação do plano de falha em relação à direção do cortador corresponde à solução do princípio de energia mínima.

Como foi apresentada por Merchant (1945) para a análise do corte em metais, a expressão para o ângulo de falha, (α), têm que ser tal que o trabalho total no corte seja minimizado. O princípio de mínima energia para o corte em rocha foi adotado por Detournay e Atkinson, (1991). Neste caso, a força horizontal de corte deve ser minimizada com relação aos ângulos de falha da rocha.

$$\frac{\partial F_c}{\partial \alpha} = 0 \quad (4.7)$$

Resolvendo a equação para a expressão da força de corte dada no modelo analítico de Detournay e Defourny (1992), (Equação 2.15) o ângulo de falha pode ser expresso como:

$$\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\theta + \psi + \varphi}{2} \quad (4.8)$$