

## 6. Conclusões e trabalhos futuros

### 6.1. Conclusões

Os modelos analíticos para estimar as forças de corte geradas no processo de raspagem da rocha podem ser uma alternativa para diminuir os altos custos de investimento e de tempo que são gastos na execução de ensaios experimentais e modelos numéricos. São muitos fatores que influenciam o processo de corte, e apesar de mais simplificados, cada vez mais os modelos analíticos buscam considerar estes efeitos.

O evaporito composto pelo mineral halita é uma rocha conhecida por resultar em problemas de perfuração que podem ocasionar fechamento do poço e perturbações nas rochas adjacentes. Isto porque o sal apresenta comportamento dúctil e elevadas deformações plásticas quando está depositado a grandes profundidades. Estes problemas de perfuração motivaram os estudos de corte a fim de aumentar a taxa de penetração durante a passagem da broca por estas zonas problemáticas. A validação da modelagem analítica do processo mecânico de corte em halita é uma etapa importante deste tipo de estudo. Este recurso, apesar de mais simplificado, quando bem validado, torna-se uma ferramenta que pode ser usada na etapa de planejamento da perfuração.

Este trabalho visa aplicar os modelos analíticos que relacionam as propriedades mecânicas intrínsecas da rocha com a geometria do cortador para a rocha do tipo evaporito (halita). Os modelos analíticos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa foram: Detournay e Defourny (1992), Gerbaud (2006), Jianyong (2012) e Rahmani et al. (2012) e Melo (2014).

Alguns parâmetros foram generalizados para a validação dos modelos analíticos. O ângulo de atrito interfacial entre a rocha e a face do cortador foi calculado conforme equação apresentada por Coudyzer e Richard (2005). O ângulo de falha da rocha também foi generalizado pelo princípio da energia mínima.

Durante a análise das forças de corte calculadas pelo modelo analítico apresentado por Detournay e Defourny (1992), observou-se que as forças foram superestimadas nas condições de pressão atmosférica e de confinamento. Uma tentativa de melhorar a estimativa de forças para este modelo seria considerar um coeficiente de redução da coesão associada com a deformação cisalhante na formação das bandas de cisalhamento, princípio apresentado por Merchant (1945).

Os modelos apresentados por Jianyong (2012) e Rahmani et al. (2012) levam em conta o efeito da deformação do material cortado na face do cortador durante a formação de novas bandas cisalhantes. As estimativas das forças através destes modelos foram concordantes com o experimento de referência para condições de altas pressões confinantes. No entanto o modelo de Rahmani et al. (2012) não conseguiu estimar adequadamente as forças nas condições de baixas pressões (2.1 MPa) e de pressão atmosférica.

Os modelos de Jianyong (2012) e Gerbaud (2006) apresentam estimativas de forças muito semelhantes entre si. Nas condições de pressão atmosférica e altas pressões elas concordam muito bem com os resultados experimentais do ensaio do cortador único. No entanto, nas estimativas de forças sob a condição de baixas pressões confinantes, os dois modelos subestimam as forças. Esta diferença entre a curva modelada e a experimental para condições de baixa pressão poderia ser explicada através de uma observação feita por Rafatian et al., 2009, que descreve um aumento significativo na energia e as forças de corte experimental, para baixas pressões de confinamento. Este incremento seria responsável pela obtenção de forças acima do esperado nos ensaios experimentais.

Os modelos de Coudyzer e Richard (2005) e de Rajabov (2012) não foram considerados na análise já que ambos utilizam resultados experimentais como dado de entrada para a estimativa das forças. Coudyzer e Richard (2005) estimam a energia específica em cada série de ensaios como sendo equivalente à inclinação da regressão linear da curva área de corte versus força de corte, enquanto que Rajabov (2012) apresenta uma relação para a obtenção de uma componente da força de corte a partir de outra componente já conhecida. Estes dois modelos não se ajustam ao objetivo desta pesquisa, que é a estimativa das forças de corte em função dos parâmetros de resistência da rocha. No entanto, a fim de possibilitar a aplicação do modelo de Coudyzer e Richard (2005) neste trabalho, foi utilizada outra metodologia para o cálculo da energia específica. Este parâmetro foi

calculado conforme o sugerido por Detournay (1991). A estimativa das forças de corte utilizando o modelo modificado de Coudyzer e Richard (2005) foi comparada com o modelo de Melo (2014), pois ambos consideram o ângulo de inclinação lateral como um parâmetro de entrada dos cálculos. As curvas obtidas por estes dois modelos aproximam-se entre si, mas superestimam as forças de corte do experimento de referência.

O modelo de Melo (2014) poderia ser mais bem ajustado ao resultado experimental se a coesão fosse tratada como uma coesão aparente. Essa coesão aparente foi sugerida por Detournay e Atkinson, 1991 e se justificaria porque o problema de corte envolve grandes deformações cisalhantes, modificando a estrutura mecânica da rocha. Neste processo pode haver perdas na coesão antes da completa remoção de um fragmento. Assim, a coesão poderia ser considerada menor que a coesão deduzida da resistência de pico num ensaio triaxial. Como o modelo de Melo (2014) foi desenvolvido tendo como base o modelo de Detournay e Atkinson (1991), seria interessante considerar esta hipótese de cálculo.

Através da análise paramétrica que objetiva entender como o confinamento influencia as forças de corte, observou-se que para maiores confinamentos, o trabalho requerido para cortar a rocha é maior, incrementando as forças devido ao ganho de resistência que é produzido nas rochas quando estas são submetidas a maiores níveis de carregamento.

A influência da profundidade de corte na geração das forças também foi avaliada e observou-se que, conforme este parâmetro aumenta, as forças de corte incrementam linearmente. Resultado semelhante foi observado experimentalmente por Richard et al. (2012).

Os modelos de Gerbaud (2006), Jianyong (2012) poderiam ser sugeridos para a estimativa das forças de corte nos evaporitos (halita) sob condições de pressão atmosférica e altas pressões de confinamento.

## **6.2. Trabalhos futuros**

O trabalho estimou as forças de corte geradas por um cortador unitário no processo de raspagem da rocha por meio de modelos analíticos. No entanto, não foi possível considerar todos os efeitos que influenciam no processo de corte,

como foi mencionado nas conclusões. Com base nisso algumas sugestões para trabalhos futuros poderão ser feitas.

- Comparar as estimativas das forças de corte dos modelos analíticos com resultados experimentais, considerando efeito de desgaste e efeito do chanfro no cortador.
- Comparar a força gerada por uma broca em tamanho real com as estimativas de forças de cada cortador sob as possíveis orientações. Neste caso, a cada revolução da broca, a penetração do cortador dependerá do número de lâminas e do número de cortadores em cada lâmina.
- Realizar observações com mais estudos experimentais na halita considerando variação do ângulo de inclinação lateral e condições com baixas pressões confinantes.
- Estudar o parâmetro  $k$  de Gerbaud (2006) com maior rigor a fim de incluir nesta correlação o efeito do confinamento e do ângulo de ataque. Isto levaria a uma estimativa mais precisa da quantidade de material que se acumula na face do cortador.
- Realizar análise estatística de sensibilidade paramétrica. Monte Carlo por exemplo, a fim de identificar os parâmetros relevantes de cada modelo.