

6 Conclusões e Sugestões

6.1. Conclusões

Este trabalho permitiu a modelagem e a avaliação do processo de corte em rocha bidimensional, através de um modelo numérico baseado no método dos elementos discretos. Usando uma metodologia iterativa, foram determinadas as micro propriedades necessárias para caracterizar o mármore de Cartago através da simulação de ensaios numéricos biaxiais. Um ambiente de corte foi construído para simular as condições de corte, com ou sem pressão confinante (condições atmosféricas). Resultados da força aplicada no cortador em função do deslocamento da ferramenta de corte foram obtidos. O trabalho mecânico acumulado foi calculado para diferentes valores de deslocamento, determinando a força média e a MSE consumida durante o processo de corte. Alguns dos resultados da força aplicada no cortador e MSE consumida no processo de corte, obtidos na simulação, foram comparados com os resultados fornecidos na literatura para o mármore de Cartago, neste caso, os resultados numéricos fornecidos por Kaitkay *et al.* (2003) e os em laboratório fornecidos por Rafatian *et al.* (2009).

Especificamente, pode-se concluir que:

- Foi possível simular o corte simples em rocha para o caso sem pressão confinante (pressão atmosférica) e com pressão confinante, criando uma metodologia de três fases: (1) gerando a geometria da rocha; (2) obtendo as micro – propriedades comparando os resultados macroscópicos com relação a rocha real e (3) criando um ambiente de corte usando PFC2d para o mármore de Cartago virtual.
- Foi gerado um ambiente de corte no qual foram aplicados os parâmetros geométricos da amostra de rocha e do cortador além das condições de contorno, para simular o ensaio de corte em rocha.

- O comportamento das duas componentes de força apresenta fortes oscilações para qualquer valor de deslocamento da ferramenta de corte, tanto para condições atmosféricas como para condições com pressão confinante, o que dificulta o cálculo exato do trabalho mecânico acumulado no processo de corte.
- Conseguiu-se observar que a componente da força aplicada no cortador, na direção do corte, é aproximadamente duas vezes a componente da força na direção perpendicular ao corte. Comprovando o que foi previamente dito por Kaitkay *et al.* (2003) para o corte usando uma amostra virtual de mármore de Cartago.
- O valor da energia mecânica específica, no caso de corte em condições atmosféricas para o mármore de Cartago, difere drasticamente do valor de resistência a compressão simples da rocha UCS, contradizendo o que foi previamente dito por Richard (1999) e Detournay (2002). Esta diferença, poderia ser, devido aos efeitos tridimensionais de atrito e desgaste, que não são tidos neste trabalho.
- Comparando os valores de MSE calculados para cada simulação, foi observado que existe uma diferença entre os valores de MSE, usando os dois métodos de cálculo, em alguns pontos, devido à oscilação das forças e as condições geométricas para cada modelo. Na análise dos resultados, neste trabalho foram utilizados os valores de energia calculados pelo conceito da integral da curva de força obtida em todas as simulações.
- Para o mármore de Cartago, o valor de UCS não é uma boa aproximação da energia mecânica específica obtida no processo de corte para condições atmosféricas. Uma correlação foi obtida, indicando que a MSE no processo de corte em condições atmosféricas, para o mármore de Cartago, é um 70,90% do valor da resistência à compressão simples UCS da rocha real.
- A MSE calculada nas simulações para pequenos valores de pressão confinante mostra um comportamento linear similar em relação aos

resultados apresentados por Rafatian (2009). No entanto, os valores de MSE obtidos das simulações numéricas efetuadas neste trabalho, são bem diferentes aos resultados de MSE fornecidos experimentalmente por Rafatian *et al.* (2009), isto pode ser devido a que no ensaio experimental são tidas em conta as forças laterais e/ou outros efeitos resultado da terceira dimensão, que não é o caso na simulação numérica realizada neste trabalho.

- O valor de energia mecânica específica tende a incrementar linearmente em função da pressão confinante variando entre 0 e 120 MPa. O incremento poderia estar relacionado a um valor chamado por Detournay *et al.* (2002) de “*m*” o qual representa neste caso um valor de 10.344 sendo função da geometria do ambiente de corte (ângulo de ataque), do ângulo de atrito na interfase rocha-cortador e das propriedades de resistência do mármore de Cartago. Pode-se observar que a MSE é bem maior do que a CCS da rocha o qual indica que este valor de resistência não pode ser considerado como a energia necessária para cortar um volume de rocha no processo de perfuração de poços de petróleo, como se acreditava anteriormente.
- Para baixos valores de pressão confinante, a MSE calculada pela integral, tem um comportamento bem similar ao da MSE calculada usando a expressão analítica de Detournay *et al.* (2002), indicando que esta expressão analítica pode ser usada para calcular a MSE da rocha quando é submetida a pressões baixas de confinamento, neste caso seria aproximadamente até 8.00 MPa.
- No estudo paramétrico variando o ângulo de ataque e a profundidade de corte para a simulação do processo de corte em rocha sem pressão confinante, foi encontrado que a melhor combinação de parâmetros para conseguir a menor MSE durante o processo, é usando um ângulo de ataque de 15° com uma profundidade de corte de 0,8 mm.
- Analisando as figuras 5.42 e 5.43 pode-se concluir que a melhor combinação de parâmetros geométricos destes resultados para obter a menor energia mecânica específica no corte em rocha sob pressão

confinante é usando um ângulo de ataque de 25° ou conseguir uma profundidade de corte de 1,20 mm aumentando o peso sobre a broca (WOB) mantendo o ângulo de ataque com 15° .

- Pode-se concluir que o aporte principal deste trabalho foi determinar e calcular a energia mecânica específica para processo de corte em rocha num carbonato bem comum na indústria do petróleo, neste caso, o mármore de Cartago. Esta investigação foi mais além que trabalhos anteriores, observando o comportamento da MSE quando varia a pressão confinante e fazendo um estudo paramétrico da geometria do ambiente de corte para estudar as tendências da MSE quando é feita esta variação e tentar determinar a melhor combinação destes parâmetros para encontrar a menor MSE que teria como resultado um aumento na taxa de perfuração ou ROP.
- Finalmente, o potencial do método dos elementos discretos para modelar o corte em rocha, depende da boa qualidade na calibração dos micro-parâmetros para caracterizar a rocha e do tamanho das partículas que permitam reproduzir a formação do chip, com um tempo computacional razoável.

6.2. Sugestões

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram observadas algumas limitações no método, por tanto é possível sugerir o seguinte:

Efetuar estudos que permitam a obtenção dos micro-parâmetros que caracterizam o material modelado, a partir de suas propriedades de resistência e de elasticidade usando o FISH como base para a escritura da programação. Isto poderia ser com um código onde o usuário ingresse os valores finais para os parâmetros de resistência e elasticidade e de forma iterativa consiga obter os micro-parâmetros que devem ser inseridos no PFC2D para criar o espécime numérico o mais próximo ao real.

Analisar a viabilidade de inserir uma função no PFC2D que permita avaliar o comportamento tensão-deformação variando a taxa de deformação quando

são simulados ensaios numéricos a compressão, isto para poder conseguir uma melhor comparação com os resultados obtidos no laboratório de ensaios reais a compressão.

A necessidade de analisar como incluir os efeitos laterais na simulação do corte em rocha para poder tentar obter resultados que sejam mais próximos aos resultados obtidos no Scratch Test de laboratório. Pelo contrario, efetuar a mesma análise deste trabalho usando o PFC3D, Itasca.

Programar nos resultados gráficos do PFC2D uma função que calcule a área embaixo das curvas, o que neste caso, tivesse facilitado o cálculo da Energia Mecânica Específica usando a curva força-deslocamento poupando o calculo usado através do Trabalho Mecânico Acumulado.