1
Introdução

1.1
Definição do Problema

A engenharia de perfuração é uma das áreas na indústria que envolve o estudo da iteração entre a rocha e o cortador. Muitos estudos nesta área têm sido desenvolvidos durante boa parte do século XX com a finalidade de melhorar o entendimento do processo de perfuração para conseguir aumentar a taxa de perfuração usando brocas PDC. A estimativa da Energia Mecânica Especifica na perfuração tem sido um fato de muitas pesquisas e sua relação com algumas propriedades de resistência do material que é perfurado tem sido discutida ao longo dos últimos anos. A Energia Mecânica especifica é definida como a energia necessária para cortar uma unidade de volume de material. A indústria do petróleo tem aceito que o valor desta energia pode ser comparado com a resistência à compressão confinada (CCS) do material durante o processo de perfuração com altas pressões de confinamento, mas estudos recentes como o desenvolvido por Ledgerwood III *et al.* (2008) indicam o contrário. Estudos mais recentes mostram que a Energia Mecânica Especifica é função da pressão de confinamento excluindo a componente de pressão de poros devido à dilatância por cisalhamento. Alguns pesquisadores estudaram expressões para determinar a MSE baseados em valores de pressão confinante e da resistência à compressão simples (UCS) do material como foi o caso de Detournay *et al.* (2002) para corte em condições atmosféricas.

Um dos problemas gerados no processo de perfuração de um poço de petróleo consiste na diminuição da taxa de penetração (ROP) em função ao aumento da profundidade do poço, devido ao aumento da resistência do material quando é aplicada uma pressão confinante causada pela hidrostática do fluido de perfuração. Devido ao aumento na resistência do material, é necessária uma maior energia de corte para destruí-lo durante o processo de perfuração para evitar uma queda na taxa de perfuração.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912770/CA

Um cortador PDC consiste de uma camada diamantada fina e de um suporte de carbeto de tungstênio e cobalto. A camada diamantada é composta de cristais de diamante e cobalto, que é utilizado como ligante e catalisador no processo de sinterização por altas pressões e altas temperaturas. O compacto resultante tem a dureza e a resistência ao desgaste do diamante na face cortante, com a tenacidade do coberto de tungstênio-cobalto para melhorar o suporte da camada diamantada. Uma broca PDC consiste numa série de cortadores PDC alinhados em ordem sobre a superfície de um corpo de ferro fundido. Os círculos escuros são discos circulares de carboneto de tungstênio com um diamante sintético ligado em cima. Eles são montados lateralmente na face da broca para servir como elementos de corte. As brocas PDC apresentam jatos intercambiáveis através dos quais circula o fluido de perfuração. A maioria das brocas PDC apresentam entre três e oito jatos.

Neste trabalho será analisado o processo de corte de um único cortador PDC num plano bidimensional, sendo considerado este como um cortador perfeito, ou seja, sem incluir os efeitos do desgaste, os efeitos das forças laterais que são gerados pela rotação da broca e as perdas por atrito entre o cortador e o material. De fato mais especifico, será estudado o processo de corte em rocha simples numa direção sob pressão confinante.

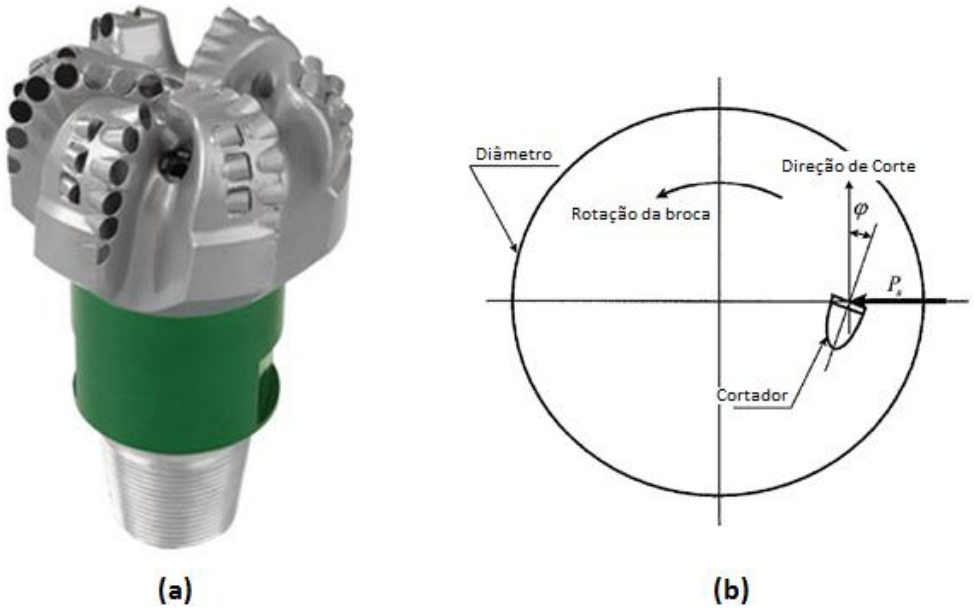

Figura 1.1: (a) Broca PDC e (b) esquema de um cortador simples para uma broca PDC. (Hareland *et al.,* 2007)

A motivação principal desta pesquisa é compreender de forma clara o processo de corte simples em rocha com diferentes valores de pressão confinante usando um método numérico com a finalidade de entender e analisar

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912770/CA

o comportamento ou tendência da energia mecânica especifica quando variam as condições de pressão, para conseguir melhorar a ROP num projeto de perfuração de um poço de petróleo.

Um código usando elementos discretos em PFC2D desenvolvido pela Itasca (1999) foi usado no fato desta investigação.

O método dos elementos discretos (DEM) é uma técnica numérica que modela um sólido como uma coleção de partículas em forma de discos ou esferas. As partículas podem se deslocar independente uma da outra e interatuam por meio de seus contatos. Ao contrário dos métodos numéricos tradicionais baseados na teoria do meio contínuo, os quais são limitados a lidar com dois modos de falha no mesmo tempo, o método dos elementos discretos tem sido uma vantagem para modelar o dano e a fratura frágil simultaneamente, o que acontece como uma consequência genérica da separação das partículas.

Nas ultimas décadas, os elementos discretos tem sido aplicados em muitas disciplinas da geotecnia para modelar avalanchas, processos geológicos, problemas de corte em dinâmica molecular, etc.

O DEM específica propriedades das partículas e dos contatos na micro-escala usando parâmetros como a rigidez nos contatos, a resistência dos contatos, o coeficiente de atrito das partículas, etc. No entanto, na macro-escala, o material é descrito através de constantes elásticas, resistência, etc. Embora, não exista uma completa teoria para predizer as propriedades na macro-escala desde a micro-escala, é *estabelecida uma relação entre* as propriedades micro- e macro como pré-requisito em qualquer aplicação do DEM na engenharia.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912770/CA

1.2 Objetivo do trabalho

O objetivo do presente trabalho é modelar o processo de corte em rocha com ou sem pressão confinante usando o método dos elementos discretos e analisando o comportamento da energia mecânica específica quando variam alguns parâmetros geométricos no problema de corte.

De modo a atingir este objetivo, a pressente dissertação considera as seguintes etapas de trabalho:

- Criar um arranjo adequado de partículas com o PFC2D usando as propriedades elásticas e de resistência, previamente conhecidas da

rocha real, para obter um modelo o mais próximo ao mármore de Cartago que é a rocha selecionada para este trabalho.

- Simular ensaios numéricos à compressão simples usando PFC2D ajustando os micro-parâmetros que serão usados na calibração da rocha, comparando os resultados obtidos na escala macro com os valores reais das propriedades elásticas e de resistência do mármore de Cartago real.
- Gerar um ambiente de corte especificando as condições geométricas e de contorno para cada caso que será estudado.
- Realizar a simulação de corte em rocha com ou sem pressão confinante usando uma velocidade de corte constante para uma profundidade de corte fixa durante a execução do ensaio.
- Obter curvas Força vs Deslocamento do cortador para diferentes valores de pressão confinante.
- Calcular a energia mecânica especifica necessária para cortar a rocha sobre diferentes valores de pressão confinante através da estimativa do Trabalho Mecânico Acumulado e das formulações propostas por Detournay *et al.* (2002).
- Fazer um estudo paramétrico da energia mecânica especifica variando o ângulo de ataque ou a profundidade de corte, nos casos de corte sobre pressão atmosférica e confinante respectivamente.
- Comparar os resultados numéricos obtidos de Energia Mecânica Especifica para o mármore de Cartago usando o PFC2D com os resultados experimentais obtidos por Rafatian *et al.* (2009) e os resultados numéricos obtidos por Kaitkay *et al.* (2003).
- Comparar os valores obtidos de Energia Mecânica Especifica no corte em rocha com os valores de CCS do mármore de Cartago para diferentes condições de pressão confinante.
- Obter e comparar a UCS do mármore de Cartago, com o valor da Energia Mecânica Especifica obtida na simulação do corte em rocha sob pressão atmosférica e com o valor da Energia Mecânica Especifica calculada através da regressão linear obtida na curva Energia Mecânica Especifica vs pressão confinante.
- Verificar que é possível modelar e obter bons resultados do ensaio de corte em rocha usando o método dos elementos discretos (PFC2D).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912770/CA

1.3
Escopo do trabalho

A dissertação é dividida em seis capítulos apresentando uma breve introdução, uma revisão bibliográfica, a teoria do método dos elementos discretos, a obtenção de parâmetros numéricos usando simulações de ensaios biaxiais, a simulação do corte em rocha usando PFC2D, conclusões e sugestões e finalmente as referências bibliográficas.

O capítulo 2 contém uma revisão bibliográfica dos artigos ou trabalhos publicados por outros autores, nos quais foi baseada esta dissertação.

No capítulo 3 deste trabalho é resumida a teoria fundamental do método dos elementos discretos enfocada na formulação fundamental das leis de força – deslocamento e de movimento, além disso será analisado o modelo de contato entre partículas.

No capítulo 4 apresenta-se uma discussão da modelagem de ensaios à compressão baseado na preparação da amostra e a metodologia seguida para efetuar o cálculo das propriedades elásticas e de resistência para obter os micro – parâmetros para simular o mármore de Cartago tendo em conta o efeito do carregamento quase-estático e da discretização.

No capitulo 5 é desenvolvida a metodologia para criar o ambiente de corte em rocha, definindo a geometria, propriedades do material e aplicando as condições de contorno que neste caso são função da pressão de confinamento. Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações para diferentes valores de pressão confinante e algumas comparações feitas com resultados de outros autores.

Finalmente no capítulo 6 apresentam-se as conclusões deste trabalho e algumas sugestões feitas para trabalhos futuros. No final são listadas as referências bibliográficas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912770/CA