

7

Modelagem tridimensional do processo de corte em rocha

Este capítulo descreve um modelo tridimensional do processo de corte em rocha e apresenta as análises dos resultados obtidos com a variação do refinamento da malha e dos parâmetros: profundidade de corte e pressão de confinamento.

7.1. Geometria do modelo

A geometria dos modelos tridimensionais do processo de corte é apresentada na Figura 7.1 e foram baseados nos modelos usados nos trabalhos de Cogollo (2011) e Fontoura *et al.* (2011).

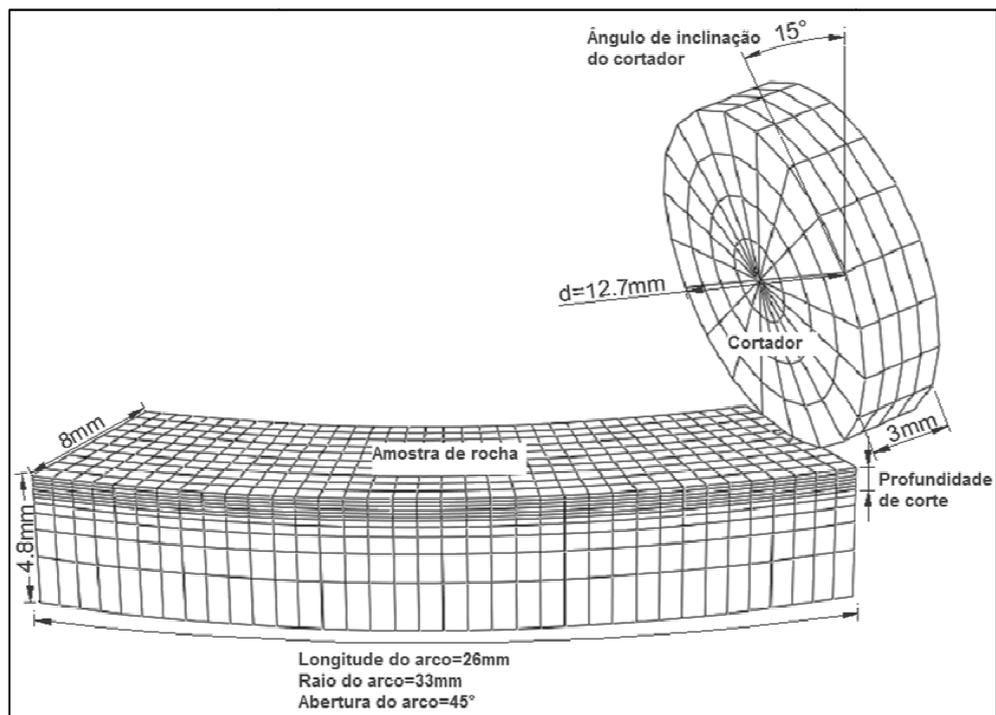


Figura 7.1 – Geometria dos modelos tridimensionais de corte.

7.2. Condições de contorno

As condições de contorno mecânicas são ilustradas na Figura 7.2. Nos modelos tridimensionais de corte, o cortador é mantido com posicionamento fixo, enquanto a amostra de rocha é deslocada em direção ao cortador com uma velocidade angular constante de 90rad/s.

Os nós da face de trás do cortador não apresentam deslocamento nas direções x , y e z . Nestes nós são colocados apoios para calcular as forças de corte na direção horizontal, através do somatório das reações de apoio.

Similarmente aos modelos bidimensionais, na superfície da amostra de rocha é aplicada uma pressão de confinamento, uniformemente distribuída, que representa a pressão exercida pelo fluido de perfuração no fundo do poço.

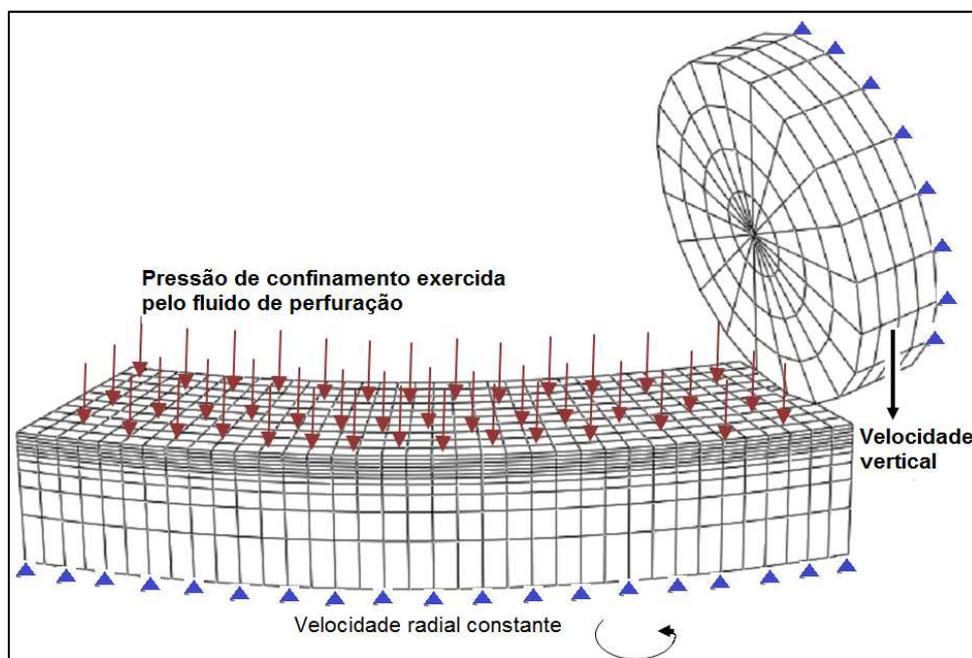


Figura 7.2 – Condições de contorno dos modelos tridimensionais de corte.

7.3. Definição dos materiais.

Os materiais usados nas simulações dos modelos tridimensionais foram os mesmos aplicados nas simulações bidimensionais, cujas propriedades são definidas no Quadro 6.1 e Quadro 6.2. e na Tabela 5.1.

7.4. Malha

Para conseguir modelar a geometria de um cortador tipo PDC, a malha foi composta por elementos prismáticos triangulares de seis nós com integração reduzida (C3D6) e elementos hexaédricos de oito nós (C3D8). A amostra de rocha foi modelada unicamente com elementos hexaédricos (C3D8) (Figura 7.3).

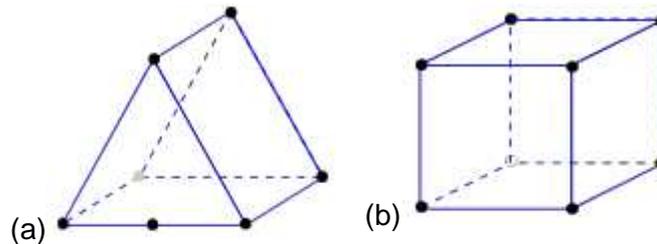


Figura 7.3 – Elementos finitos utilizados nos modelos tridimensionais: (a) prismático triangular C3D6; (b) hexaédrico C3D8.

7.5. Resultados e Análises

7.5.1. Análise da influência da variação da profundidade de corte

Para a análise da influência da variação da profundidade de corte nos modelos tridimensionais foram usados modelos com profundidade de corte constante. A velocidade angular com que gira a amostra é mantida constante com um valor de 90rad/s, enquanto que a velocidade vertical e horizontal do cortador é nula, isto é, o cortador se mantém em uma posição fixa.

A morfologia do material cortado para diferentes profundidade de corte pode ser apreciada na Figura 7.4, Figura 6.10 e Figura 7.6. Da mesma maneira que foi observado nos modelos bidimensionais, nos modelos tridimensionais também se mostra que quantidade de rocha cortada e acumulada na frente do cortador é maior quando a profundidade de corte é aumentada.

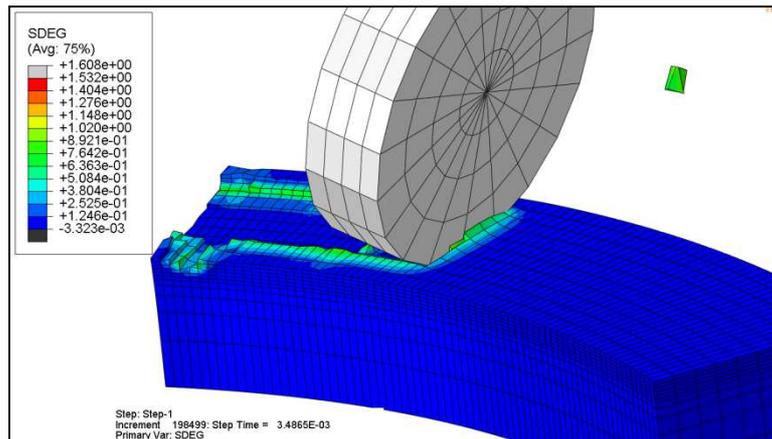


Figura 7.4 – Modelo de corte 3D com profundidade de corte 0.53mm e sem pressão de confinamento.

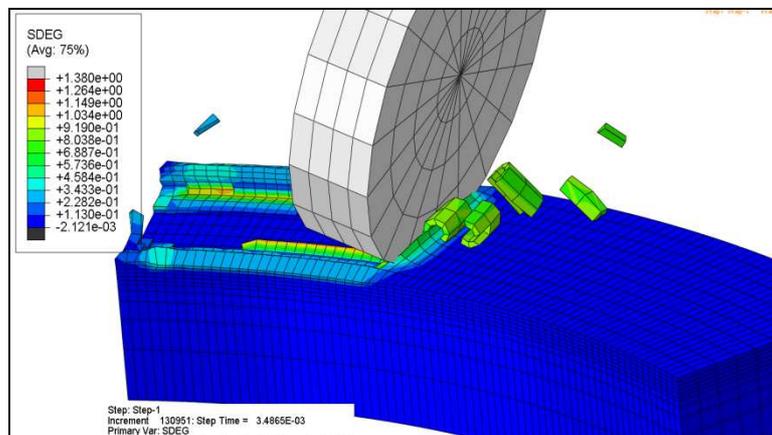


Figura 7.5 – Modelo de corte 3D com profundidade de corte 0.67mm e sem pressão de confinamento.

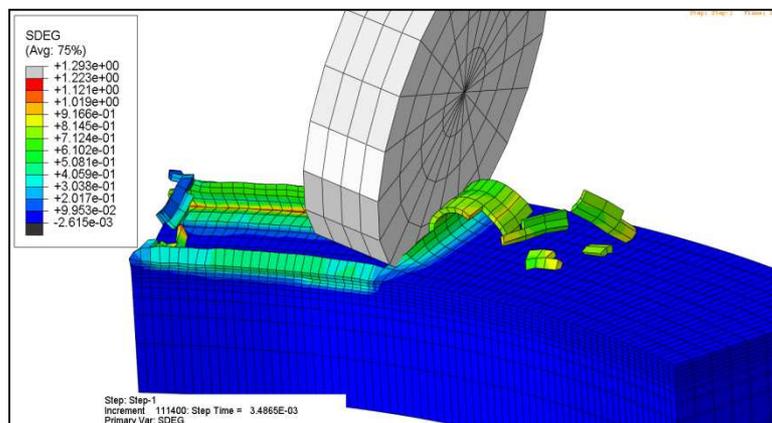


Figura 7.6 – Modelo de corte 3D com profundidade de corte 0.80mm e sem pressão de confinamento.

Os históricos da força de corte para profundidades de corte de 0.53mm, 0.67mm e 0.80mm são apresentados na Figura 7.7, Figura 7.8 e Figura 7.9, respectivamente. Tanto nestes históricos de força de corte como na Figura 7.10, observa-se que o aumento da profundidade de corte produz o incremento da força de corte e do trabalho mecânico acumulado pelo fato de que em uma maior profundidade é cortada e arrastada uma maior quantidade de rocha.

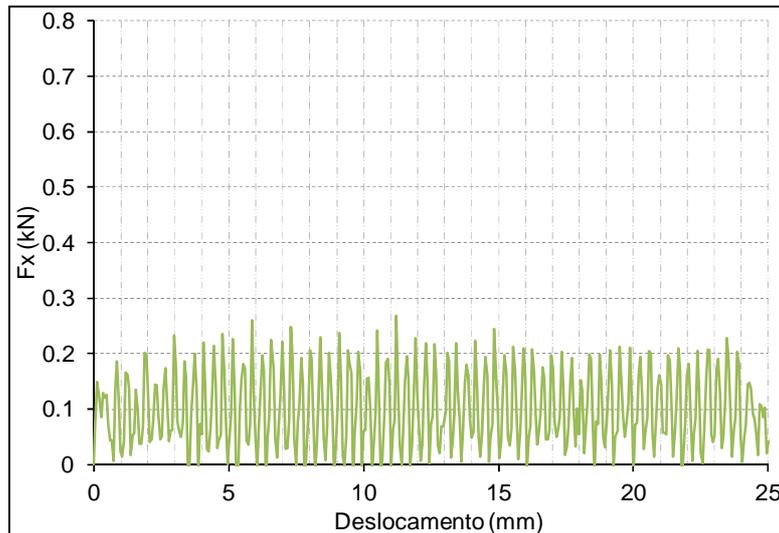


Figura 7.7 – Histórico de forças de corte para uma profundidade de 0.53mm. Modelo 3D sem pressão de confinamento.

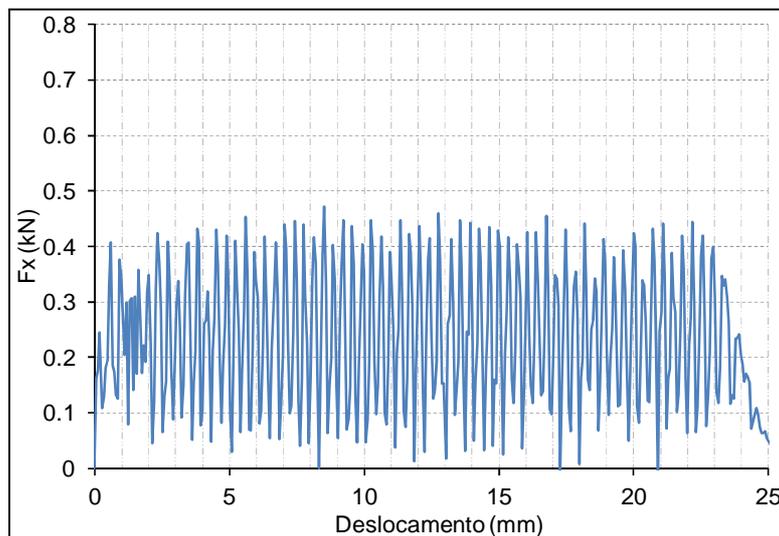


Figura 7.8 – Histórico de forças de corte para uma profundidade de 0.67mm. Modelo 3D sem pressão de confinamento.

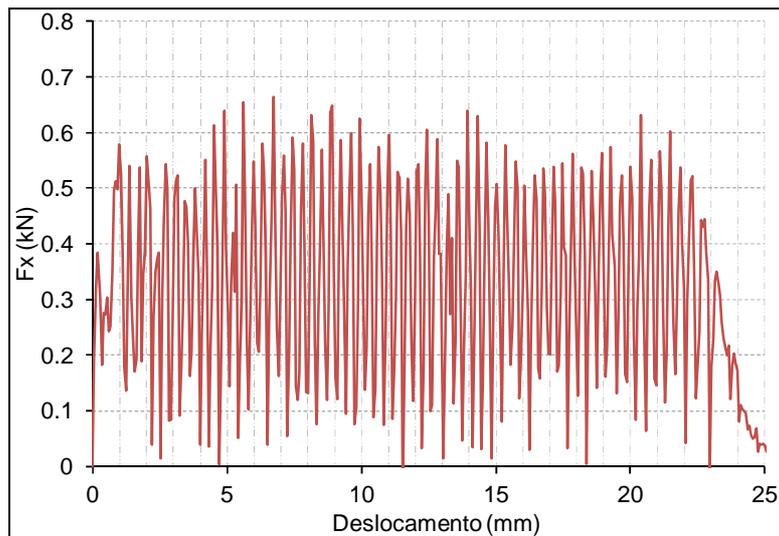


Figura 7.9 – Histórico de forças de corte para uma profundidade de 0.80mm. Modelo 3D sem pressão de confinamento.

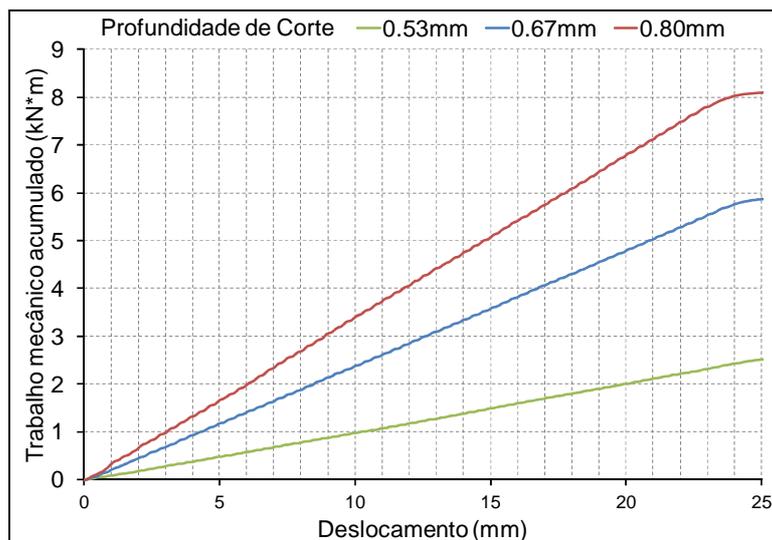


Figura 7.10 – Trabalho mecânico acumulado para diferentes profundidades de corte. Modelos 3D sem pressão de confinamento.

O volume de rocha cortado em cada simulação foi calculado multiplicando a longitude da amostra pela área transversal de corte. Para calcular a área transversal de corte foi usado o diagrama da Figura 7.11. O cálculo dos volumes de corte para cada profundidade estão resumidos na Tabela 7.1.

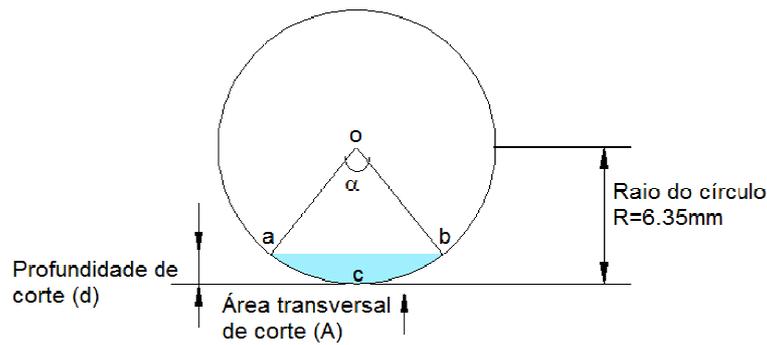


Figura 7.11 – Área transversal de corte para os modelos 3D.

Tabela 7.1 – Áreas transversais e volumes totais de cortes para diferentes profundidades.

Profundidade (m)	Setor circular $oacb = \pi r^2 * \frac{\alpha}{360}$		Triângulo $oab = \frac{bh}{2}$			Área transversal de corte (m ²)	Volume total de corte (m ³)
	α	Área (m ²)	b (m)	h (m)	Área (m ²)		
5.3×10^{-4}	46°	1.62×10^{-5}	5.00×10^{-3}	5.82×10^{-3}	1.46×10^{-5}	1.64×10^{-6}	4.25×10^{-8}
6.7×10^{-4}	52°	1.83×10^{-5}	5.59×10^{-3}	5.69×10^{-3}	1.59×10^{-5}	2.42×10^{-6}	6.30×10^{-8}
8.0×10^{-4}	58°	2.04×10^{-5}	6.17×10^{-3}	5.55×10^{-3}	1.71×10^{-5}	3.20×10^{-6}	8.55×10^{-8}

A Figura 7.12 ilustra o volume de corte acumulado para as três profundidades analisadas. Com os dados desta figura e os dados de trabalho acumulado da Figura 7.10 é calculada a energia específica ao longo do deslocamento do cortador cuja representação é mostrada na Figura 7.13. Nota-se que a energia específica apresenta um comportamento diferente ao observado nos modelos bidimensionais, devido a maior energia específica ser registrada na maior profundidade de corte.

Deve-se ressaltar aqui que nos modelos tridimensionais foram usadas profundidades de corte maiores que nos modelos bidimensionais. Por conseguinte, pode-se dizer que para profundidades maiores que 0.53mm, a energia específica deixa de diminuir com a profundidade, e este valor pode ser tomado como um limite da máxima profundidade eficiente para realizar o corte no tipo de rocha modelado.

Observa-se também que a uma profundidade de 0.53mm foi atingido um valor de energia específica média de 60 MPa igual ao valor da resistência à compressão uniaxial da rocha modelada (Figura 7.13). Essa mesma aproximação com a resistência à compressão uniaxial foi obtida nos modelos bidimensionais para uma profundidade de corte de 0.55mm.

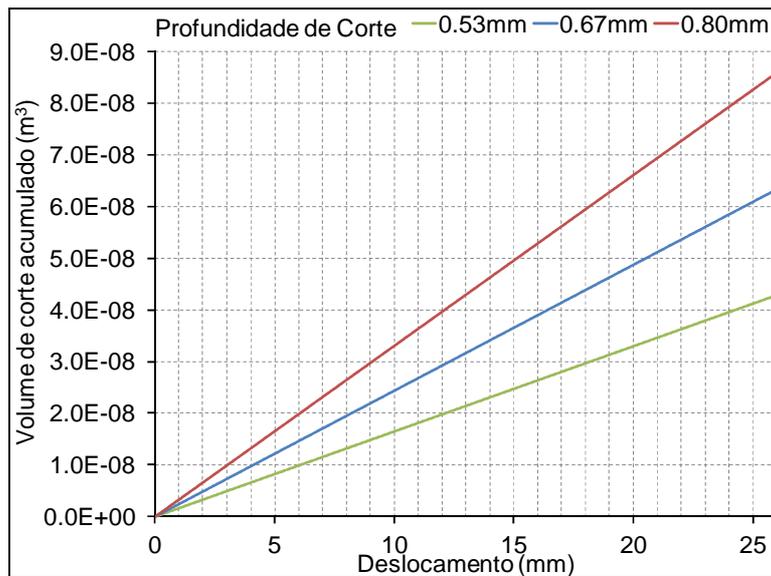


Figura 7.12 – Volume de corte acumulado para diferentes profundidades. Modelo 3D sem pressão de confinamento.

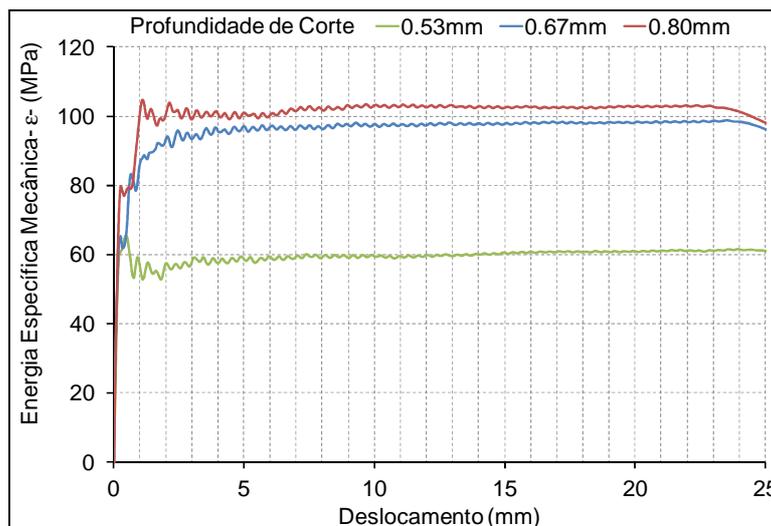


Figura 7.13 - Energia específica mecânica para diferentes profundidade de corte. Modelo 3D sem pressão de confinamento.

7.5.2. Análise da variação da pressão confinante

A morfologia do material cortado para diferentes pressões de confinamento e mantendo a profundidade constante (0.80mm) é mostrada na Figura 7.14, Figura 7.15 e na Figura 7.16. Observa-se que para uma maior pressão de confinamento (10 MPa), o cortador apresenta maior dificuldade para remover o material que no modelo sem pressão confinante (0 MPa), onde os elementos

ainda permanecem na frente do cortador depois de serem cortados. Da Figura 7.17 até a Figura 7.20 é mais fácil observar o incremento da força usada pelo cortador para remover o material quando maiores pressões de confinamento são aplicadas na rocha.

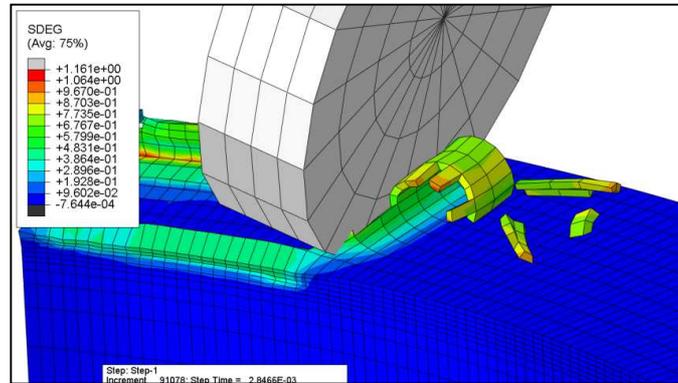


Figura 7.14 – Modelo 3D sem pressão de confinamento (0 MPa) e com profundidade de corte 0.80mm.

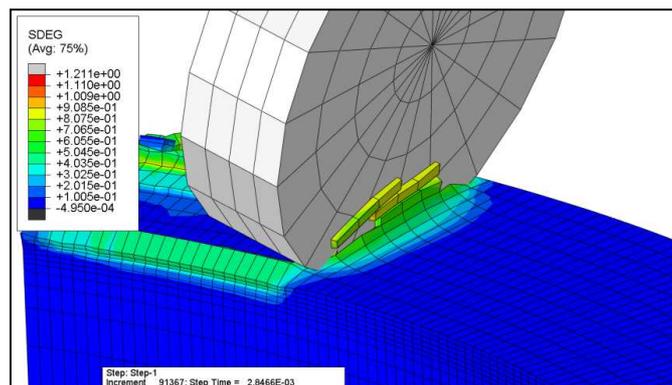


Figura 7.15 – Modelo 3D com pressão de confinamento (5 MPa) e com profundidade de corte 0.80mm.

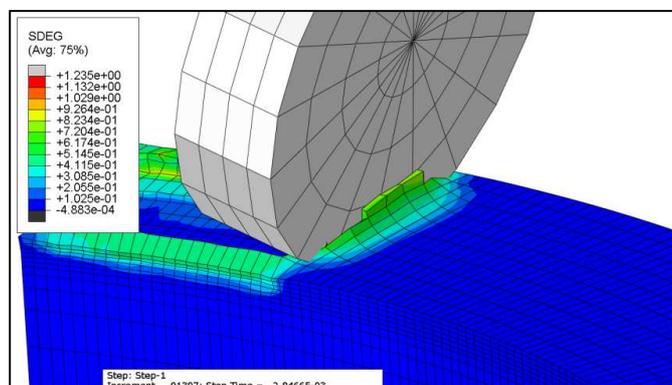


Figura 7.16 – Modelo 3D com pressão de confinamento (10 MPa) e com profundidade de corte 0.80mm.

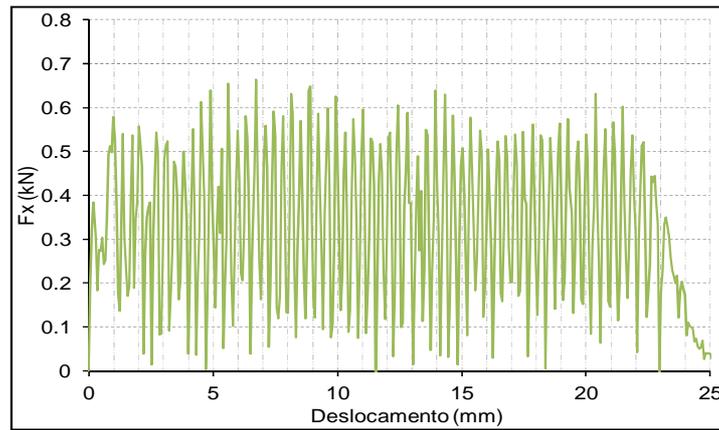


Figura 7.17 – Histórico de forças de corte para modelo 3D sem pressão de confinamento e profundidade de corte 0.80mm.

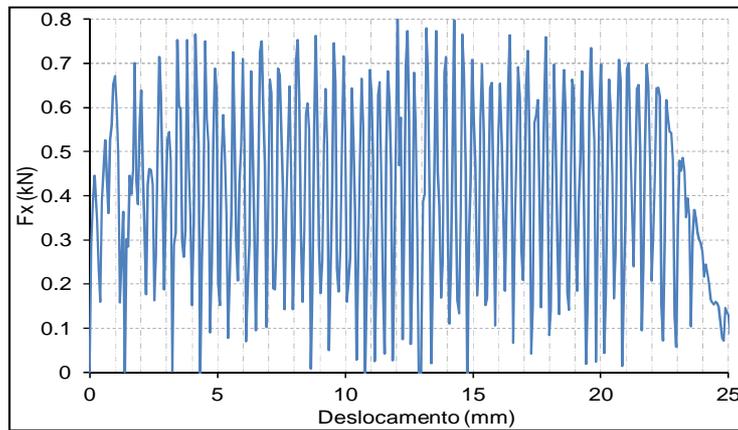


Figura 7.18 – Histórico de forças de corte para modelo 3D com pressão de confinamento 5 MPa e profundidade de corte 0.80mm.

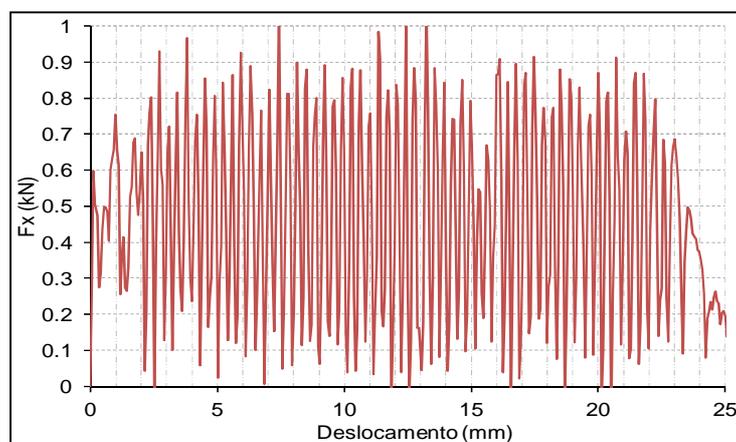


Figura 7.19 – Histórico de forças de corte para modelo 3D com pressão de confinamento 10 MPa e profundidade de corte 0.80mm.

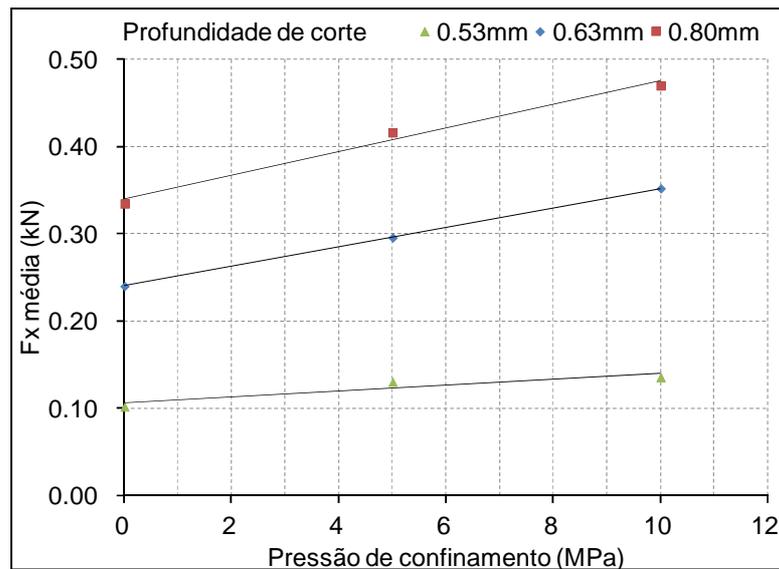


Figura 7.20 – Variação da força média de corte com a pressão de confinamento para diferentes profundidades de corte. Modelos 3D.

O trabalho mecânico requerido pelo cortador foi calculado para as três pressões de confinamento e as três profundidades de corte estudadas de forma similar como foi feito nos modelos bidimensionais. Os resultados são apresentados na Figura 7.21. Observa-se mais uma vez que a pressão de confinamento faz com que seja preciso aumentar o trabalho requerido para o corte da rocha em qualquer das profundidades de corte analisadas, devido ao ganho de resistência que se produz nas rochas submetidas a pressões de confinamento.

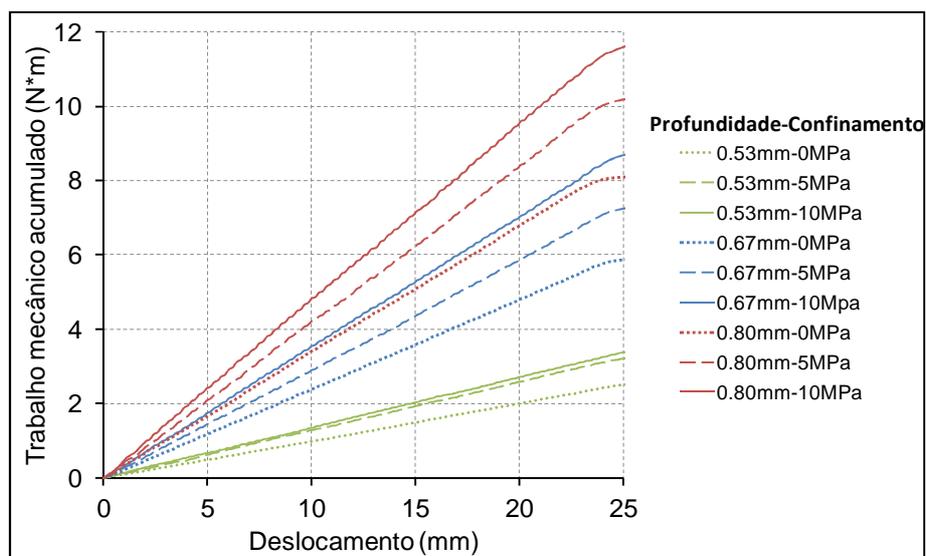


Figura 7.21 – Variação do trabalho mecânico com a pressão de confinamento para diferentes profundidades de corte. Modelos 3D.

Dividindo o trabalho mecânico acumulado pelo volume de corte acumulado mostrado na Figura 7.12, para cada pressão de confinamento em cada profundidade de corte, foram obtidos os valores de energia específica mecânica mostrados na Figura 7.22. Uma linha de tendência foi traçada para cada profundidade de corte permitindo observar a relação linear existente entre a pressão de confinamento e a energia específica gasta no processo de corte.

Observa-se que para a profundidade de 0.53mm foi obtido um valor de energia específica de 60 MPa em condições atmosféricas (0MPa), sendo que este valor é igual a resistência à compressão não confinada da rocha modelada, pelo qual, juntamente com os resultados do modelo bidimensional, pode-se dizer que aproximadamente nesta profundidade é possível obter o processo de corte mais eficiente.

Para profundidades maiores a 0.53mm, foram obtidos, em condições atmosféricas, valores de energia específica muito maiores do que a resistência à compressão não confinada da rocha, indicando uma eficiência menor do corte. Nos modelos bidimensionais foi observado que para profundidades menores que 0.55mm também precisava-se de uma energia mecânica maior que a resistência à compressão não confinada da rocha, indicando que profundidades menores que esse valor também não seriam eficientes para o corte.

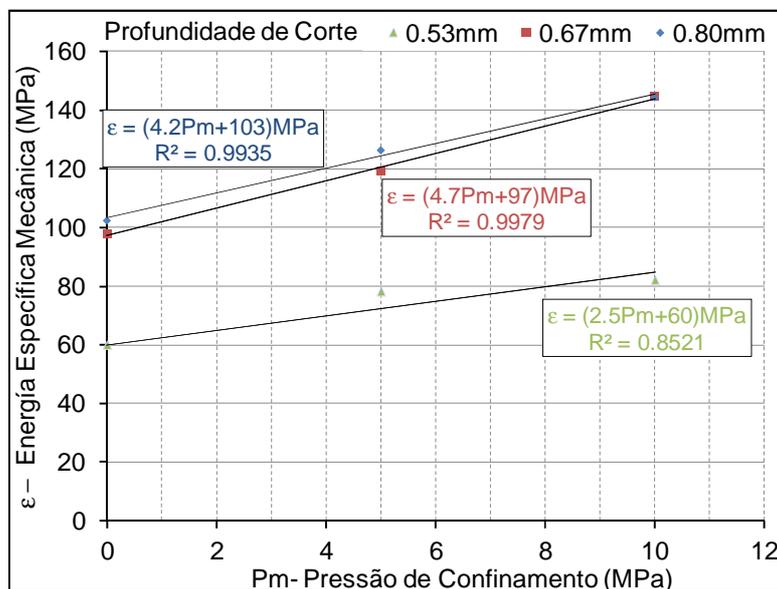


Figura 7.22 – Relação linear entre a energia específica (ϵ) e a pressão de confinamento (P_m) para diferentes profundidades de corte. Modelos 3D.