

## 9

# Considerações Finais

### 9.1. Conclusões

O modo de ruptura depende do tipo de material, do comprimento característico e do diâmetro do furo interno [24] e [30].

O fator de escala depende da relação OD:ID, como conhecido da geotecnia, para problemas de cavidade circular. Nos ensaios realizados de TWC no capítulo 7 observou-se que conforme a relação OD:ID aumenta, a resistência da rocha a ruptura diminui, conforme Figura 147.

Os resultados de resistência obtidos através dos ensaios de TWC para OD/ID igual a 3 se encontram na porção central entre a correlação de Tronvoll e Wilson, mais próximo um pouco da correlação de Wilson. Fato esperado já que a coletânea de ensaios de TWC tem relação de OD/ID igual a 3 [34].

Já para os ensaios de TWC com OD/ID 4 os resultados se encontram bem próximos da correlação de Tronvoll, fato que nos induz a crer que a correlação do mesmo super dimensiona os valores de resistência, ao menos para este material.

Já os resultados dos ensaios de TWC, cujo OD/ID é 2, apresentaram valores inferiores a correlação de Tronvoll fato que era de se esperar.

Foi constatado nos ensaios realizados de TWC, no capítulo 7, que a resistência da rocha é função da trajetória de tensões e da duração do ensaio, ou seja, do tempo. Já que os primeiros ensaios de TWC possuíram maiores incrementos de carregamento e por isto menor tempo de ensaio. Já os últimos ensaios os incrementos de carregamentos foram maiores no início do ensaio e quando o carregamento aplicado se aproximava do valor esperado de resistência do ensaio de TWC, eram aplicados valores de incremento de carregamento bem pequenos para se observar melhor o início e o desenvolvimento das bandas cisalhante, e por isto os ensaios eram mais longos isto para valores próximos da ruptura

É possível observar, no capítulo 7, referente aos ensaios de TWC, que ocorre mudança no formato das bandas cisalhantes com relação ao tamanho do

diâmetro do furo, ou mais especificamente, com a relação comprimento específico e raio do furo, conforme 233. A concavidade da banda cisalhante passa de convexa a côncava conforme a relação,  $\frac{l}{r}$ , mencionada acima aumenta, ou seja, o raio do furo diminui, conforme Figura 144 até Figura 146.

Já que o material utilizado nestes ensaios é proveniente do mesmo bloco e similares, por isto acreditasse que possuam o mesmo valor de comprimento específico em todos os corpos de prova. Ao supor que o comprimento característico do material seja o mesmo para os diversos corpos-de-prova apenas tem-se uma variável que é o diâmetro do furo, daí se observar que quanto maior a relação OD/ID maiores os efeitos da microestrutura, ou seja, da rotação das partículas.

Como apresentado por Rocio [13] o modelo de Bogdanova e Lippmann Modificado reproduz o modo de ruptura referente a uma cúspide. Acredita-se que pelo fato de existir parâmetros intrínsecos do material nas leis constitutivas do modelo e de existir duas funções de escoamento e de potencial plástico. O primeiro par de funções corresponde ao contínuo clássico e o segundo par corresponde apenas aos efeitos da microestrutura. O fato de ter duas funções de escoamento e de potencial plástico elimina a necessidade de se utilizar vetores  $h_i$ . Pois estes vetores são obtidos a partir de uma função de distribuição de probabilidade uniforme para ocorrência de contatos entre partículas vizinhas, isso para a microestrutura representativa de maneira média do meio de Cosserat [12]. Daí acredita-se que o modelo consegue representar de maneira mais precisa a localização da deformação quando a partícula do meio exerce fator preponderante no processo.

A simulação física realizada na célula poliaxial, que se encontra no capítulo 7, demonstrou que apesar da variação do estado de tensão imposto a geometria não houve uma diferença significativa no formato das bandas cisalhantes, fato que também foi reproduzido nas análises numéricas. Apenas foi possível observar um modo de ruptura denominado orelha de cachorro.

Fatores que podem ter contribuído, referentes aos CP-07, CP-13 e CP-04, para a não observância de mecanismos de ruptura distintos dos denominados orelha de cachorro: comprimento característico da partícula não ser relevante para o material utilizado nos ensaios, trajetória de tensões aplicadas tenha que ser

distinta da aplicada, a relação de tensão apresentar contraste superior a 3, para o formato de cúpisde, a relação comprimento característico e raio do poço ser maior para majorar os efeitos do tensor-momento e até mesmo o fato de outro mecanismo de ruptura, o de tração, existir, já que duas das seis arestas da célula foram mantidas abertas.

A simulação numérica do CP-01 apresentou bom ajuste quantitativo tanto para técnica iterativa explícita da relaxação dinâmica com amortecimento global e técnica implícita com algoritmo de Newton\_Raphson Modificado. A técnica explícita da relaxação dinâmica com amortecimento global apresentou resultados um pouco melhores.

As simulações numéricas dos CP-08 e CP-13 apresentaram problemas de ajuste quantitativo. Para técnica iterativa explícita da relaxação dinâmica com amortecimento global, o CP-13 apresentou resultados melhores que a técnica implícita com algoritmo de Newton\_Raphson Modificado. Já o CP-08 apresentou resultados melhores para a técnica implícita com algoritmo de Newton\_Raphson Modificado que com a técnica iterativa explícita da relaxação dinâmica com amortecimento global.

Não foi possível concluir que uma ou outra técnica seja melhor para representar o comportamento do material ou que um ou outro modelo seja melhor, nos ensaios com célula poliaxial, realizados no capítulo 7, com diferentes trajetórias de tensão, sob o aspecto quantitativo. Ou seja, a cerca dos valores de deformações observados nos ensaios do capítulo 7 e os resultados obtidos a partir de simulação numérica, não se pode concluir que um determinado modelo constitutivo ou técnica de solução numérica represente melhor o comportamento do material.

O que realmente foi bem representado por todas as simulações numéricas diz respeito ao formato das bandas de cisalhamento, do tipo orelha de cachorro, observado nos ensaios do capítulo 7.

## 9.2.Sugestões para Trabalhos Futuros

Compreender melhor diferentes modos de ruptura para problemas de instabilidade e bifurcação através de simulação numérica com os resultados de ensaios disponíveis;

Realização de simulação física de ensaio de parede espessa com fluxo radial e verificação de como o mesmo afeta o mecanismo de ruptura, em plugues de 2” e 4”;

Acoplamento mecânico e hidrodinâmico nas análises numéricas a fim de simular melhor a produção de sólidos.