

6 Conclusões

Nesta pesquisa foram estudadas as propriedades petrológicas e mecânicas do travertino Romano, o qual em geral é um material muito complexo, de difícil descrição e previsibilidade de distribuição das suas características, como fácies, texturas, propriedades petrológicas e estrutura porosa.

O travertino Romano é definido como um calcário calcítico de grãos não cimentados, termal inorgânico e quimicamente precipitado, composto quase em sua totalidade por calcita na forma de microcristalina ou micrita e calcita espática sem presença de grãos aloquímicos, com pobre conteúdo de magnésio, sílica, silicatos, e outros elementos como H, N, K, Na, Mg, Al, S, Sr, Fe e Si, detectados apenas em traços. O travertino apresenta uma massa específica seca média de 2,23 g/cm³.

As análises de microscopia ótica e MEV mostraram-se eficazes na determinação das fácies, texturas e tipo de porosidade. Foram determinadas duas estruturas ou fácies, massiva e bandeada, com texturas, cristalina, micrítica e fibrosa. Foi distinguida uma estrutura porosa complexa caracterizada por macroporos do tipo vugular, fenestral e estrutura de crescimento e microporos do tipo intrapartícula e intercristalina. Os poros apresentaram baixa conectividade e grandes variações no tamanho, distribuição e densidade, apresentando uma porosidade efetiva experimental média de 12,59%.

Foi notado que a porosidade efetiva do travertino depende principalmente dos poros do tipo fenestral. Já para a porosidade não efetiva ou de armazenamento, verifica-se que está mais associada com a microporosidade do tipo intercristalina, que apresentou maior conectividade com a porosidade fenestral.

Através da comparação das análises do MEV a pedaços de rocha e a lâminas delgadas, verificou-se uma ocorrência muito mais representativa de sílica nas análises de lâminas. Isto sugere que a sílica registrado nas análises de lâminas é proveniente do material da lâmina. Pode então admitir-se que esta metodologia

pode distorcer os resultados do EDS. Sugere-se assim realizar as análises do MEV em pedaços de rocha com fim de evitar o mascaramento da composição da rocha nos resultados do EDS.

As imagens 3D e perfis da estrutura porosa, gerados a partir das imagens do micro-tomógrafo, mostram grandes variações no tamanho, distribuição e densidade dos poros internos do travertino.

O travertino mostrou na análise de imagem um amplo intervalo de porosidades, com valores entre 10 a 50% do valor da porosidade média registrada no laboratório.

As análises 2D e 3D das imagens geradas pelo micro-tomógrafo, junto com os diferentes métodos convencionais petrológicos, resultam numa excelente ferramenta na caracterização das rochas, permitindo investigar a distribuição espacial da porosidade em várias ordens de magnitude na escala macro e micro.

Segundo os resultados de compressão uniaxial o travertino Romano é uma rocha de baixa a muito baixa resistência, com UCS entre 16,23 e 48,04 MPa.

Estes valores da resistência uniaxial se encontram coerentes com os dados obtidos em outros travertinos e rochas carbonáticas presentes na literatura. Os resultados indicam que o travertino tem uma maior rigidez que os outros travertinos e também que a resistência uniaxial tem um comportamento não linear com a porosidade e a densidade. O módulo de Young variou de 27,57 até 57,17 GPa o coeficiente de Poisson (ν) de 0,22 até 0,38.

Os CP com porosidade média menor a 10% permitem um fraturamento mais estável da rocha, sem atingir ao colapso dos poros, conseguindo maiores deformações elásticas e plásticas antes de atingir a tensão de ruptura.

Ainda segundo o observado nos ensaios uniaxiais, as propriedades mecânicas do travertino apresentam forte influência da porosidade, verificando-se que os corpos de prova de baixa porosidade são mais resistentes e têm um comportamento do tipo de rocha classe I, apresentando fraturas do tipo fendilhamento e cisalhamento. As rochas de elevada porosidade são menos resistentes e têm um comportamento do tipo de rocha classe II, apresentando fraturas do tipo fendilhamento com a ocorrência de colapso dos poros nas fácies bandeadas de elevada porosidade.

Nos ensaios triaxiais axissimétricos, o aumento da tensão confinante proporcionou o incremento da resistência do travertino. Esta resistência é também

influenciada pela porosidade, cujo incremento leva a uma menor resistência para similares tensões confinantes. O módulo de Young variou de 6,10 até 43,52 GPa o coeficiente de Poisson (ν) de 0,23 até 0,45.

Os parâmetros de resistência do travertino do ajuste do critério de Mohr Coulomb conduzem a um ângulo de atrito $\phi = 32^\circ$ e coesão $c = 7,561$ MPa. Para o critério de resistência Hoek & Brown seus parâmetros são $m_i = 6,072$, $s = 1$, $a = 0,5$ e $C_0 = 27,056$ MPa, e para o ajuste do critério de Kim & Lade simplificado se tem os parâmetros $n = 2,9 \times 10^6$ e $m = 1,42$.

O emprego da massa corrida para cobrir os poros superficiais foi bem sucedido, evitando que a membrana furasse durante o incremento da tensão confinante nos ensaios triaxiais. Não se observaram indícios de influência da massa corrida na resistência da rocha.

Dos resultados dos tipos de fratura observados nos ensaios uniaxiais e triaxiais, para formações rochosas com elevada porosidade o colapso dos poros ocorreu sempre. Quanto à permeabilidade, admite-se que o colapso dos poros possa levar inicialmente ao seu aumento devido a um possível incremento na conectividade dos poros. Por outro lado, o comportamento compressivo observado depois da ruptura, leva a crer que a permeabilidade se reduziria devido a uma contínua redução do volume dos poros.

No caso das formações com baixa porosidade, o colapso dos poros geralmente não ocorreu. Com base na observação da ocorrência de fraturas, geralmente paralelas à direção da tensão máxima, admite-se que estas permitiriam um incremento da conectividade dos poros e, por consequência, da permeabilidade.

6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Sugere-se a realização de ensaios uniaxiais e triaxiais em corpos de prova que tenham uma única fácies, ou seja, fácies massiva ou bandeada, com fim de obter valores característicos de cada uma destas fácies. Também se recomenda efetuar estes ensaios com o carregamento axial paralelo à deposição ou bandejamento para determinar a diferença da resposta tensão-deformação. Por forma a determinar a tensão confinante de transição do comportamento frágil para

dúctil da rocha, os ensaios triaxiais devem ser efetuados com tensões confinantes superiores a 10 MPa.

De forma a clarificar a relação tensão-deformação-permeabilidade, recomenda-se medir a variação dos parâmetros de permeabilidade do travertino com diferentes fluidos e sob diferentes níveis de tensão confinante.

Com fim de determinação da litologia, fácies e a sequencia de deposição da rocha usando a micro-tomografia de raios-x, sugere-se o escaneio com energia dual no tomógrafo computadorizado.