

## 6. Conclusões e recomendações para futuras pesquisas

### 6.1. Conclusões

As análises petrográficas revelaram que as argilas são o único material cimentante presente na matriz do conglomerado, a presença destes materiais argilosos foi confirmada nas análises granulométricas. Nas análises petrográficas também foi observado que as partículas da matriz (partículas menores de 32 mm) são fragmentos de rochas vulcânicas com petrologias semelhantes à observada nos blocos.

Os valores de porosidade interconectada obtidos nos ensaios de intrusão de mercúrio foram semelhantes aos determinados nos ensaios por saturação de água e vácuo. A maior parte dos poros da matriz ficou no intervalo dos microporos (poros  $<0,1 \mu\text{m}$ ). A permeabilidade da matriz, determinada nos ensaios de porosimetria de mercúrio, ficou no intervalo típico dos arenitos, com um valor desde semipermeável até impermeável, comportamento que apresentou uma boa correlação com os resultados dos ensaios tipo Lugeon realizados no local da barragem.

Nos dados analisados não foi identificada uma tendência, crescente ou decrescente, na absorção ou peso específico seco da matriz com a profundidade. Porém, foi observada uma relação linear decrescente entre o peso específico seco e a absorção (ou porosidade).

Os valores dos ensaios de propagação de velocidade da onda sônica da matriz realizados no laboratório apresentaram valores dentro da mesma faixa de variação obtida nos ensaios de refração sísmica realizados no local da barragem. Este resultado confirma que o material analisado possui um baixo nível de fraturamento.

Os ensaios de resistência e deformabilidade realizados na matriz revelaram que esta é classificada como uma rocha branda, com um módulo de deformabilidade relativo médio-baixo. Da mesma forma, foi observada a relação crescente

unidirecional existente entre a resistência à compressão uniaxial e a resistência à tração da matriz do conglomerado.

A análise granulométrica dos blocos do conglomerado mostrou uma faixa de variação da proporção volumétrica que ficou entre 48,9% e 60,4%. A proporção de blocos no local da barragem foi, geralmente, 10% maior do que a calculada no local do afloramento.

As análises petrológicas realizadas nos blocos do conglomerado revelaram que são formados principalmente por rochas vulcânicas, especificamente andesitos basálticos com texturas porfiríticas ou faneríticas e basaltos andesíticos de textura afanítica.

Os ensaios de absorção, porosidade, peso específico seco e velocidade de propagação da onda sônica apresentaram valores dentro da faixa de variação típica das rochas vulcânicas, especificamente valores intermédios entre rochas andesítica e basálticas, confirmando as observações petrológicas realizadas nas amostras de mão.

Os ensaios de resistência e deformabilidade realizados nos blocos revelaram que podem ser classificados como rochas de resistência médio-alta, com um módulo de deformabilidade relativo médio. Este resultado confirma o grande contraste existente entre as propriedades mecânicas dos blocos e da matriz.

O conglomerado meio-grosso da Fm. Paso Real é classificado geologicamente como um conglomerado terrígeno, intraformacional, oligomítico, com blocos arredondados de esfericidade média, suportado pelos blocos, com um mergulho sub-horizontal com uma direção de mergulho N15°E.

Segundo o sistema de classificação da JGS, o conglomerado estudado é classificado como um maciço rochoso brando rudítico, e o símbolo depois de aplicar a classificação é *SR-E<sub>1</sub>/w<sub>1</sub>p<sub>2</sub>b<sub>2</sub>g<sub>2</sub>h<sub>2</sub>*. Segundo o sistema *RMi* o conglomerado foi classificado como *moderadamente forte* até *forte*. Utilizando o índice de velocidade o conglomerado foi classificado como uma rocha de boa qualidade. Comumente, os sistemas e índices de classificação mostraram que o conglomerado estudado possui uma boa qualidade geomecânica.

Os ensaios numéricos de compressão biaxial, na escala de laboratório e de campo, apresentaram uma envoltória de resistência de tipo bilinear, com um acréscimo da coesão e uma diminuição do ângulo de atrito com o aumento na tensão

de confinamento. Este mesmo comportamento foi observado nos ensaios de compressão triaxial reais realizados no laboratório.

Nas amostras biaxiais na escala de laboratório observou-se a diminuição da resistência à compressão uniaxial e da coesão com o acréscimo da proporção volumétrica dos blocos. Por outro lado, o ângulo de atrito e o módulo de deformabilidade apresentaram um acréscimo com o incremento da proporção volumétrica dos blocos.

Nos ensaios biaxiais na escala de campo foi observada uma leve diminuição na resistência à compressão uniaxial com o acréscimo do tamanho da amostra. O resultado obtido sugere que o fator  $f_{\sigma}=0,5$  proposto por Palmstrom (1995) é muito baixo para realizar a estimativa da resistência à compressão uniaxial do maciço rochoso no conglomerado meio-grosso da Fm. Paso Real, sugere-se utilizar neste caso um fator  $f_{\sigma}>0,75$ .

A envoltória de resistência obtida dos ensaios numéricos de cisalhamento direto foi de tipo bilinear, com um acréscimo da coesão e uma diminuição do ângulo de atrito com o aumento na tensão de normal.

A interpretação dos ensaios de cisalhamento direto e dos ensaios de compressão biaxial na escala de campo apresentaram valores dos parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito) semelhantes. Além disso, a interpretação dos ensaios numéricos apresentou geralmente valores dos parâmetros de resistência dentro da faixa de variação obtida dos ensaios de cisalhamento *in situ* realizados no local da barragem.

O critério empírico de resistência para matérias tipo *bimrock* com matriz não consolidada (*Bim strength criterion*) forneceu valores de resistência à compressão uniaxial e parâmetros mecânicos dentro da faixa de variação obtida dos ensaios numéricos na escala de campo e dos ensaios *in situ*. Este resultado ajuda na consolidação do método proposto por Kalender *et al.* (2014) e mostrou que a combinação dos métodos empíricos com a modelagem numérica pode proporcionar parâmetros confiáveis para se utilizar nas etapas iniciais de obras de grande porte, ou até no projeto final de obras menores.

Os módulos de deformabilidade interpretados dos ensaios numéricos de compressão biaxial e de placa forneceram valores sempre dentro da faixa de variação definida através dos ensaios de placa *in situ* realizados no local da barragem.

Os resultados obtidos no trabalho validaram que a modelagem numérica é uma ferramenta útil na definição dos parâmetros de resistência e deformabilidade dos conglomerados para projeto de obras.

## **6.2. Recomendações para trabalhos futuros**

Sugere-se a realização de ensaios de compressão sobre amostras na escala de campo e realização de sua modelagem numérica como o objetivo de complementar os resultados apresentados neste trabalho. Os ensaios devem ser feitos em amostras construídas no laboratório e testadas utilizando o deslocamento como parâmetro de controle para observar seu comportamento pós-pico.

Devem ser realizados estudos específicos (numéricos e/ou de laboratório) para determinar a origem e características da zona de interface entre os blocos e a matriz.

Sugere-se também que se realizem mais estudos de casos em conglomerados e materiais semelhantes, onde sejam feitas a caracterização e a análise numérica. O objetivo principal destas pesquisas é consolidar a modelagem numérica como um método confiável para obter parâmetros mecânicos para o projeto de obras neste tipo de materiais.