

Análise microscópica eletrônica e petrográfica dos enrocamentos da UHE Machadinho

Murilo da Silva Espíndola*
Marciano Maccarini**
Agostinho João Dal Moro***

Resumo

Entender o comportamento mecânico de enrocamentos é, antes de tudo, garantir a segurança dos seres que residem à jusante de barragens. A Usina Hidrelétrica Machadinho teve sua construção finalizada no ano de 2002, tendo como principal característica a inserção de basalto vesicular em até 30% da constituição do corpo do aterro principal, cuja litologia predominante é o dacito. Os trabalhos mais recentes, disponíveis na literatura de enrocamento, têm alertado sobre a alterabilidade das propriedades mecânicas das rochas, uma vez que obras de barragens possuem tempo de vida útil muito longo. Este trabalho teve como objetivo avaliar as estruturas e mineralogia dos enrocamentos de Machadinho. Foram realizadas microscopias eletrônicas e análises petrográficas, tendo-se ainda avaliado os componentes químicos em áreas específicas por meio de espectrometria de dispersão. As constituições mineralógicas dos enrocamentos da UHE Machadinho indicaram elevadas porcentagens de vidro vulcânico nas estruturas, sobretudo o basalto vesicular, direcionando-se para a necessidade da avaliação da ação do intemperismo ao longo do tempo no

* Laboratório de Geotécnica Aplicada, Departamento de Geociências – CFH/UFSC (murilo.espindola@ufsc.br).

** Laboratório de Mecânica dos Solos, Departamento de Engenharia Civil – CTC/UFSC (maccarini.m@ufsc.br).

*** Tractebel Energia S.A. (dalmoro@tractebelenergia.com.br).

ESPÍNDOLA, M da S. et al. Análise microscópica eletrônica e petrográfica...
comportamento mecânico deste material, como garantia de
segurança da barragem.

Palavras-chave: Enrocamento; Microscopia eletrônica; Petrografia.

On the electron microscopic and petrographic analysis of Machadinho rockfill dam

Abstract

To understand the mechanical rockfill behaviour is, above all, to ensure the safety of who lives in the downstream of the dam. The Machadinho dam building was completed in 2002, and the main feature of this rockfill dam was the inclusion of a fraction of up to 30% of vesicular basalt in the main landfill. Is it important to study about the weathering of rocks as the latest researches show that the mechanical behavior of the particles will undergo changes, since the useful life of these constructions is extensive. This study aimed to evaluate the structure and mineralogy of Machadinho's rockfill. Electronic microscopy and petrographic analyzes were performed, and they were also evaluated the chemical components in specific areas of the specimen, using spectral dispersion. The mineralogical structures of Machadinho Hydroelectric Power Plant rockfill showed high percentages of volcanic glass in structures, especially in vesicular basalt, which indicated the need for weathering action of the assessment over time in the mechanical behavior of materials, such as dam safety assurance.

Key words: Rockfill material; Electron microscopic; Petrographic.

Introdução

Após a redução das construções de barragens de enrocamentos nos Estados Unidos da América e México, países como Brasil, China e outros da África passaram a ter seu potencial hidrelétrico explorado. Cruz *et al.* (2014) citam que existiam cerca

de 300 barragens de enrocamento com face de concreto em construção em todo o mundo, sendo cerca de 180 na China. A Maior barragem de enrocamento com face de concreto possui 233 metros de altura, em Shuibuya, na China, tendo superado a barragem de Campos Novos (202m), no Brasil.

O vulcanismo que originou a cobertura das rochas sedimentares da Bacia do Paraná, conhecido como Serra Geral, foi um magmatismo fissural ocorrido entre o Jurássico e o Cretáceo, durante a separação do supercontinente Pangea e formação do atual Oceano Atlântico. Waichel (2006) descreve que o derrame basáltico Serra Geral é um dos maiores do mundo, dividindo-os segundo as feições de superfície e estruturas, em *pahoehoe*, ‘a’a e lava em bloco. Resumidamente, cita-se que *pahoehoe* trata-se de um derrame com superfícies lisas, onduladas ou em cordas, e estruturalmente sendo dividido em crosta superior, núcleo e crosta inferior. Os tipos ‘a’a possuem topo e base escoriáceos, vesículas alongadas e reentrâncias, típicas de canais abertos. As lavas em bloco possuem uma porção superior formada por fragmentos angulosos que apresentam superfícies lisas e dimensões regulares, formadas por magmas com maior viscosidade, de composição andesítica, dacítica ou riolítica.

A UHE Machadinho está localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, constituída por uma sucessão de derrames básicos e ácidos da Formação Serra Geral, e está posicionada sobre os alinhamentos do rio Uruguai. Pacheco (2005) cita que embora a espessura desses derrames seja da ordem de 400 a 500 metros, sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu, na região de implantação da Usina as espessuras são próximas dos 90 metros. Mauro (1999) descreve que no local aflora um extenso derrame de dacito (de composição ácida). Próximo à base do derrame há predominância de fraturas sub-horizontais, acima da qual pode ocorrer uma zona de fraturamento subvertical, preenchidos em forma de cunha, o que indica injeção de material da base para o topo. Há predominância de silicatos e material carbonático, com fragmentos rochosos caoticamente distribuídos. Os enrocamentos predominantes no

corpo da barragem, que possui zoneamento, são compostos 70% em volume de dacito denso e o restante de basalto vesicular. A Figura 1 apresenta uma imagem aérea do corpo do aterro principal da Usina Hidrelétrica Machadinho.



Figura 1: UHE Machadinho finalizada.
Fonte: Pacheco (2005).

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma ferramenta capaz de produzir imagens de alta resolução e, em função do método de geração das imagens, é possível observar a estrutura em visualização com aparência tridimensional. De acordo com Dedavid *et al.* (2007) os microscópios eletrônicos de varredura (MEV) utilizam feixes de elétrons, ao invés dos convencionais fótons utilizados em um microscópio óptico. Esta substituição permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca. Tais peculiaridades creditam ao MEV a capacidade de produzir imagens de até 300.000 vezes, condicionadas ao material analisado, e em altas resoluções. As imagens formadas são virtuais, uma vez que o equipamento realiza a transcodificação da energia emitida por elétrons.

Seja para estudos de rochas reservatório na busca por óleo e gás, na classificação de grau metamórfico, ou, conforme Navarro e Artur (2002), como ferramenta rápida e barata na previsão do comportamento mecânico de rochas, a petrografia mostra-se um instrumento de fundamental importância dentro de estudos geológicos. Os estudos das rochas, inicialmente, compreendiam apenas análise macroscópica, descrevendo-as a olho nu e, eventualmente, utilizando-se lupas de bolso com aumentos de até 20 vezes. Os diagramas tipo QAPF (Figura 2) foram publicados por Streckeisen (1967) para classificação de rochas plutônicas e vulcânicas, de acordo com a composição modal. As iniciais da sigla no diagrama representam os minerais modais utilizados na classificação: Q: quartzo; A: feldspato alcalino; P: plagioclásio; F: feldspatóides. Segundo Le Maitre (2002), o geólogo Albert Streckeisen, professor de mineralogia e petrografia, identificou em 1958 sérios problemas nos doze sistemas de classificações de rochas ígneas daquele tempo, tendo então iniciado um trabalho de discussão e proposição de um novo sistema, que o manteve cientificamente ocupado por 35 anos.

Com a aprovação da Lei Nº12.334 (Lei de Segurança de Barragens), pesquisas sobre propriedades químicas, físicas e mecânicas de enrocamentos passaram a ter mais relevância, isso porque o produto destes trabalhos é a maior segurança no entendimento do comportamento mecânico do corpo do aterro. Doravante, para projetistas e construtoras, a caracterização geológica acende ganhos em qualidade de projeto e construção das obras devido a maior confiabilidade das propriedades dos materiais. O avanço tecnológico no estudo de enrocamentos brasileiros pode resultar em uma série de benefícios, dentre os quais a redução de custos de manutenção. O setor elétrico é beneficiado nesta linha de pesquisa com o aumento de confiabilidade na avaliação de barragens de enrocamento e o ganho de segurança. Para barragens existentes, o melhor conhecimento dos enrocamentos permite determinar de forma mais precisa valores de referência para níveis de atenção e alerta, possibilitando

melhor previsibilidade de seu comportamento. É importante salientar também que, entender as propriedades dos materiais de uma barragem é, antes de tudo, garantir a segurança dos seres que residem à jusante, pois como Pacheco (2005) destaca, em virtude da magnitude das obras, uma eventual ruptura poderia ser traduzida por sérios danos à propriedade, inclusive com perdas humanas e ambientais, o que seria catastrófico, além de financeiramente e socialmente inestimável. O objetivo deste trabalho consistiu em analisar por meio de microscopia eletrônica e petrografia os enrocamentos utilizados na construção da UHE Machadinho, afim de se entender de que forma as características destes materiais podem interferir no comportamento e segurança da mesma.

Procedimentos metodológicos

Os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram coletados na Usina Hidrelétrica Machadinho, o basalto vesicular encontrava-se em um acesso ao lago da barragem, e o dacito em um talude em rocha, onde recentemente havia sido retirada a camada rochosa mais frágil e instável. Os ensaios descritos neste trabalho são oriundos de um projeto de pesquisa firmado entre a Tractebel Energia S.A. e a Universidade Federal de Santa Catarina, foram coletados para o desenvolvimento total do projeto doze toneladas de material, separados manualmente. A Figura 3 apresenta uma imagem das partículas que foram utilizadas, dentre o montante apresentado, para desenvolver a presente pesquisa.

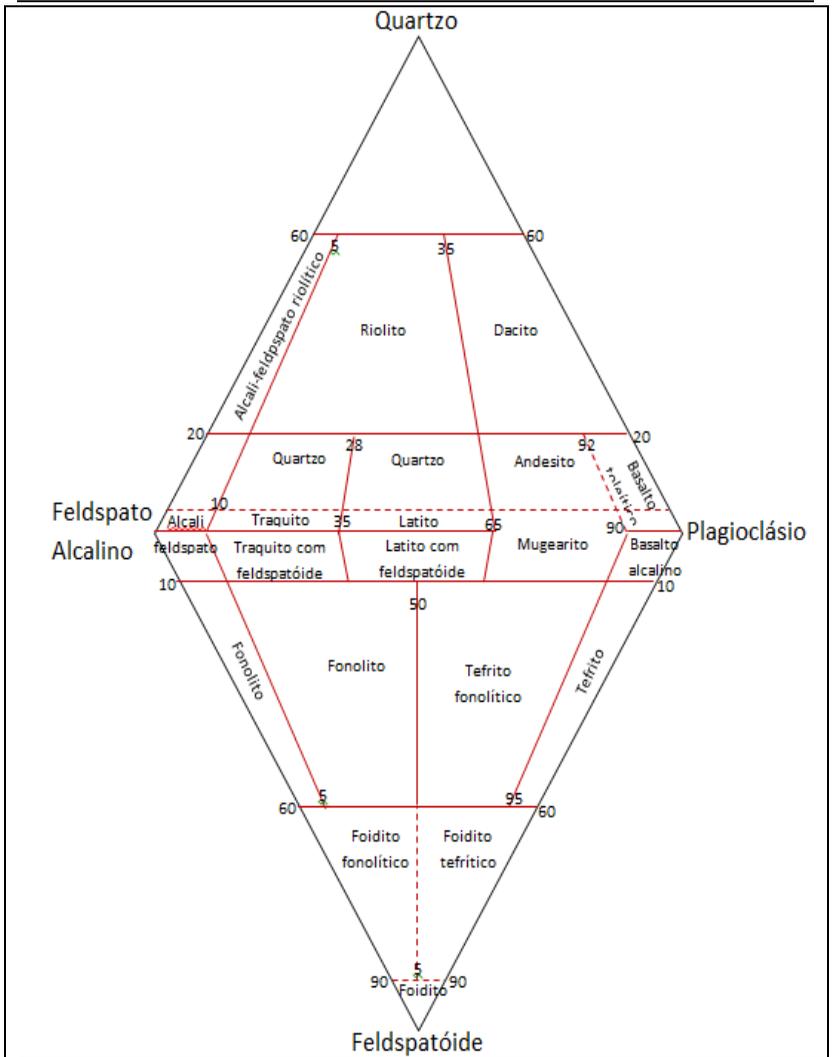


Figura 2: Classificação Streckeisen (1967) para rochas vulcânicas. Fonte: Modificado de Streckeisen (1967).



Figura 3: Macroestruturas das partículas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

A caracterização geológica parcial, em que foi possível visualizar as microestruturas das partículas dos enrocamentos, os minerais e alguns elementos químicos pelos quais são constituídos, foi realizada na Universidade Federal de Santa Catarina, que disponibiliza um Laboratório Central de Microscopia Eletrônica de Varredura, com Microscópio Eletrônico da fabricante norte-americana JEOL, modelo JSM 6390LV de alto desempenho. Este equipamento possui resolução de 3nm , o que possibilita a visualização em escala de minerais e estruturas. Em pontos específicos dos corpos de prova, foram realizadas espectroscopias de raios-X por energia dispersiva com voltagens de aceleração de aproximadamente 15kV . Os corpos de prova foram moldados em dimensões estabelecidas pelo Laboratório Central de Microscopia

ESPÍNDOLA, M da S. et al. Análise microscópica eletrônica e petrográfica...
Eletrônica (LCME), inferiores a 10 milímetros, fixados em *stubs* com cola carbono e recobertos com ouro.

Foram confeccionadas duas lâminas petrográficas para identificação dos minerais e estruturas que compõem as litologias estudadas. O Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina dispõe do Laboratório de Laminação (LabLam), cujo objetivo principal é a confecção de lâminas delgadas para estudos petrográficos. Diversos materiais como: rochas, solos, sedimentos, materiais cerâmicos e ligas metálicas podem ser preparados para a realização de estudos petrográficos neste Laboratório. As análises e descrições das lâminas foram realizadas no Laboratório de Microscopia Ótica, também do Departamento de Geociências.

Resultados e discussões

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de dispersão (EDS) contribuíram com o entendimento das microestruturas das litologias estudadas, bem como com as análises petrográficas. As imagens da Figura 4 foram obtidas por dois pequenos corpos de prova, de dacito e basalto vesicular, obteve-se imagens microscópicas com 1500 e 5000 vezes de ampliação, nas quais ocorre a presença de plagioclásios envoltos por caulinitas, fruto do processo de alteração. Este processo está mais presente nas imagens do basalto vesicular, fato confirmado posteriormente pela espectrometria de dispersão, que indicou presença maior de oxigênio, Na, Mg, Ca e Fe no basalto vesicular. Embora as rochas estudadas estejam inseridas em clima tropical úmido, não foram encontradas linhas de dissolução claras que indicassem a transformação dos plagioclásios em gibbsita. O fato é que os plagioclásios são convencionalmente os primeiros a desagregar-se nos estágios de alteração, reduzindo consideravelmente a resistência a compressão simples das rochas, e consequentemente a resistência a quebra das partículas que compõem o enrocamento.

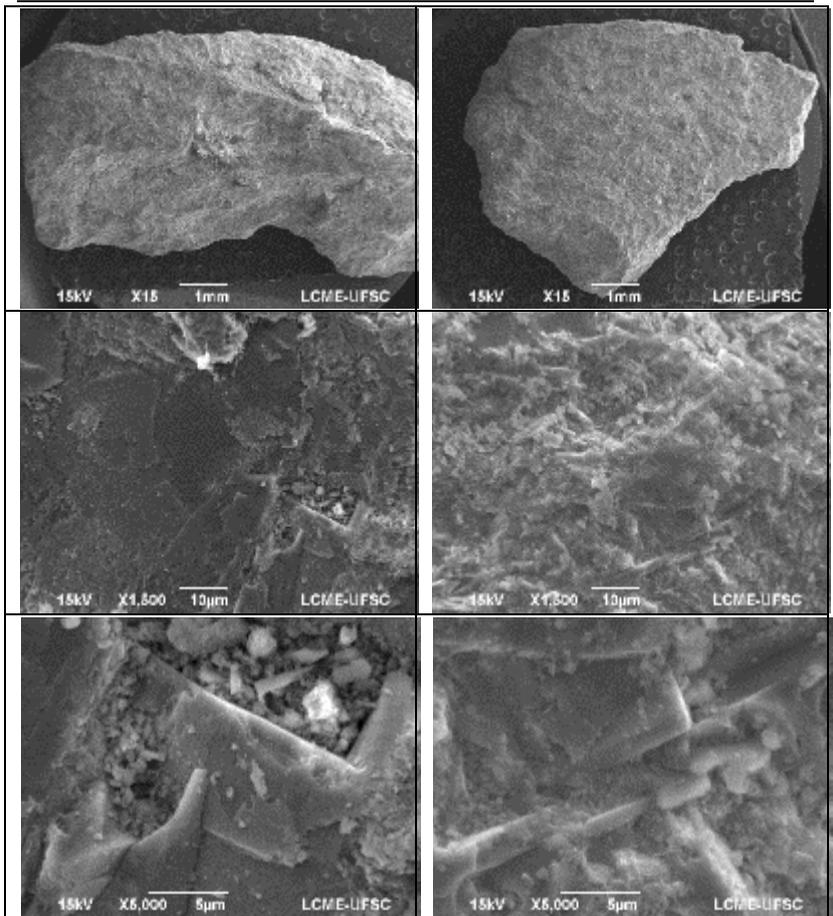


Figura 4: MEV das litologias estudadas.

No ponto marcado com círculo vermelho na Figura 5 foi realizada espectrometria de dispersão, tendo sido verificada a concentração química da área, na qual destaca-se inicialmente a presença de 24.47% de silício e 6.10% de Al, o que é típico de rochas basálticas, com presença de alumínio silicatos. O EDS mostrou ainda grande concentração de oxigênio (45.29%), Na, Mg,

Ca e Fe, podendo ser um indicativo de lixiviação na rocha estudada, e direcionando, portanto, a necessidade de se estudar o efeito das intempéries sobre o material, e conseqüentemente sobre o comportamento do mesmo no corpo de aterro da barragem. A combinação de sílica com alumínio representa um ambiente de alteração avançado e, portanto, mais lento, o que retarda a destruição da estrutura da rocha, e gera uma fase pseudoamorfa combinada com caulinita, principalmente no basalto vesicular, cujo estado de alteração é mais avançado.

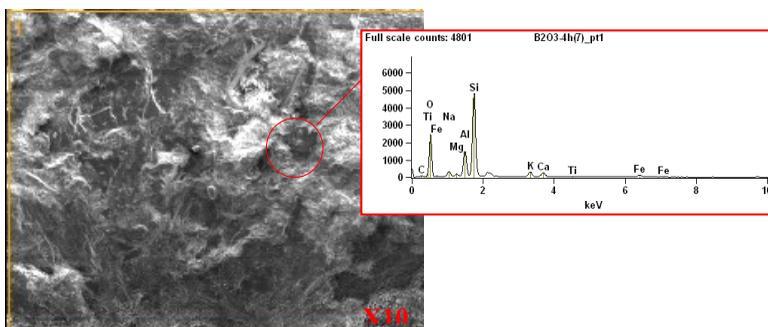


Figura 5: MEV-EDS de dacito.

A exemplo dos elementos químicos encontrados no dacito, o MEV-EDS realizado em uma amostra de basalto vesicular indicou composição química similar, porém com concentrações maiores de oxigênio (Figura 6). A presença de ferro em ambas as litologias indica que a alteração resultará preferencialmente em argilo-minerais, o que é essencial no entendimento do comportamento futuro, pois estes compostos podem apresentar propriedade de expansão quando em contato com a água. A alteração de plagioclásios é complexa, em virtude da sua composição, mas é importante ressaltar que a alteração uniforme é um forte indicativo da necessidade de se estudar a influência da alteração destes materiais na resistência do enrocamento, que poderá ser governada em determinado momento pela quebra das partículas, fruto da

perda de coesão gerada pelas alterações nos plagioclásios, e conseqüentemente assumindo a frente do comportamento, se comparada com outras variáveis como forma das partículas e densidade da mistura.

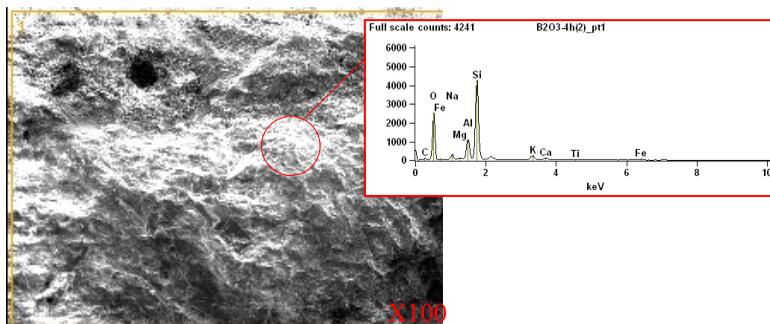


Figura 6: MEV-EDS de basalto vesicular.

Com base na análise petrográfica em microscópio óptico (Figura 7a), a rocha que constitui 70% da mistura dos enrocamentos da UHE Machadinho foi classificada como dacito. É importante citar que, no sistema de classificação proposto por Streckeinsen (1967), não constou a classificação “riodacito”, trata-se, portanto, de uma nomenclatura de classificação geoquímica, face à presença de fenocristais. É possível observar que a rocha possui estrutura maciça com textura hipocristalina (59% cristais + 41% de vidro), hipidiomórfica (o hábito não é amorfo e nem bem formado), equigranular fina. Sua trama cristalina é intersertal, que é definida como cristais euédricos e subédricos com interstícios de material vítreo. É composta principalmente por cristais, plagioclásio, augita e quartzo; em menor quantidade têm-se apatita, feldspato alcalino, opacos e hidróxido de ferro imersos em uma matriz vítrea. Sob a ação de polarizadores cruzados, o vidro vulcânico adquire coloração escura, conforme Figura 7b.

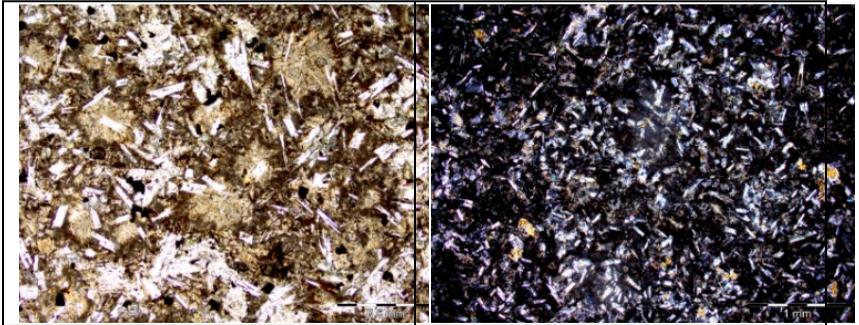


Figura 7: Fotomicrografia de dacito sob: (A) luz natural (B) polarizadores cruzados.

O Plagioclásio ocorre em ripas sem orientação preferencial, e possui hábito esqueletal, exibindo textura de rabo-de-andorinha, devido ao resfriamento rápido (Figura 8). É branco sob luz natural e exibe maclas polissintéticas com nicóis cruzados. O vidro é intersticial, e alguns cristais de quartzo possuem extinção ondulante, com hábito anédrico e cor branca em luz natural. A augita é anédrica, castanha sob luz natural e birrefringência de 2^a a 3^a ordem. O feldspato alcalino ocorre em pequenas quantidades, às vezes com hábito tabular, é branco em luz natural e, ao cruzar os nicóis, tem cores de 1^a ordem. Os opacos são escuros, tanto em luz natural quanto em polarizadores cruzados e com hábito geralmente euédrico. O hidróxido de ferro é castanho e comumente aparece nas bordas dos minerais opacos. A apatita é incolor e se dispõe com hábito acicular e prismático.

A presença de 41% de vidro vulcânico na composição mineralógica (Tabela 1) levanta a hipótese de que, ainda que os enrocamentos nobres da UHE Machadinho tenham elevada resistência à compressão simples ($\approx 180\text{MPa}$), as susceptibilidades ao intemperismo do vidro da rocha abram espaço para possibilidade de queda de resistência das partículas sólidas, tornando necessário, portanto, o direcionamento de novas pesquisas, no intuito de se estudar o efeito do envelhecimento do

enrocamento no comportamento mecânico do corpo da barragem. Possivelmente, com a ação do intemperismo ao longo do tempo, a queda de resistência das partículas possa causar deformações volumétricas no corpo da barragem, por quebra e rearranjo, e, conseqüentemente, em virtude da redução gradual granulométrica, redução nos valores de ângulo de atrito interno e aumento da compressibilidade.

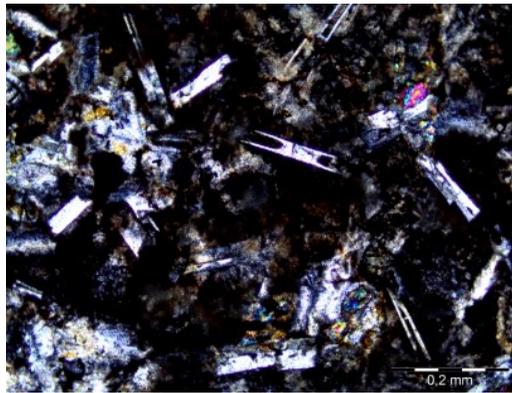


Figura 8: Cristais de plagioclásio esqueletal em detalhe.

Tabela 1: Composição mineralógica de litologia nobre.

Mineral	Porcentagem	Dimensões
Vidro vulcânico	41%	-
Plagioclásio	28%	≈ 0.20mm
Quartzo	20%	≈ 0.25mm
Augita	5%	≈ 0.15mm
Opacos	4%	≈ 0.10mm
Apatita	<1%	≈ 0.01mm
Hidróxido de ferro	<1%	-
K-Feldspato	1%	≈ 0.20mm

Dos minerais apresentados, o plagioclásio, a augita e o quartzo são primários. Chmyz *et al.* (2011) estudaram os derrames da Formação Serra Geral citando que, durante o volumoso magmatismo, ainda que tenha ocorrido predominância de composição básica, cerca de 10% dos litotipos são de natureza intermediária à ácida. Descreve que os materiais dos municípios de Palmas e General Carneiro, na divisa do Paraná com Santa Catarina, foram classificados por geoquímica (R1:R2) e petrografia, macroscopicamente apresentam granulação muito fina e são constituídas em sua maioria por plagioclásio e vidro vulcânico. Estas rochas foram classificadas, segundo o diagrama R1:R2, como riolitos e riodacitos. Em referência aos riodacitos, a autora descreve que são constituídos por plagioclásio (25%), quartzo (5%), feldspato alcalino (5%), minerais opacos (15%) e augita (10%), também em meio à matriz formada por vidro vulcânico (40%). A partir de análises químicas em base hidratada, a porcentagem de sílica dos dacitos foi de 66.5%, sendo ambos os litotipos de caráter ácido.

O basalto vesicular que compôs 30% da mistura do corpo de aterro da UHE Machadinho possui estrutura vesicular, e não foi possível observar as amígdalas com textura hipovítrea, o tamanho dos componentes variou de fino a denso, vitrofírica (Figura 9a). A forma predominante é hipidiomórfica (maioria dos cristais são subédricos), em relação a sua trama, apresenta textura hialofítica (pequenas ripas de plagioclásio e piroxênio imersos em matriz vítrea), conforme Figura 9b. Quanto ao seu índice de coloração, a rocha é mesocrática, e constituída, principalmente, por vidro, plagioclásio e clinopiroxênio, subordinadamente por ortoclásio e óxidos.

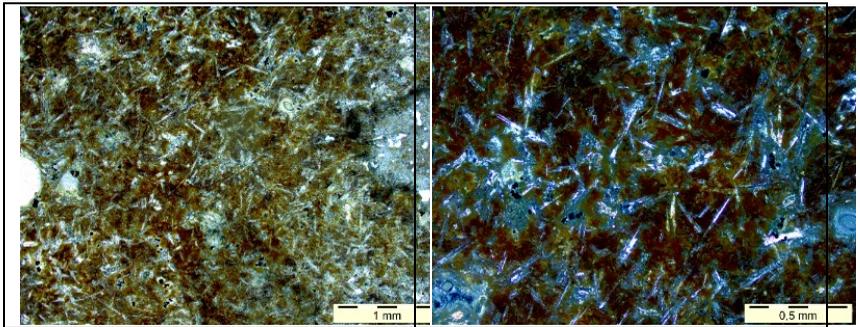


Figura 9: Fotomicrografia de basalto vesicular: (A) vesículas em detalhe (B) ripas de plagioclásio com textura esquelética.

Observa-se que o plagioclásio se dispõe em pequenas ripas alongadas, com formas, em geral, bem definidas, e textura esquelética. O clinopiroxênio é incolor sob luz natural, porém com cor de interferência mais alta ao cruzar os polarizadores, e tem hábito tabular a prismático. O ortoclásio tem hábito tabular e aparece esporadicamente em pequenos cristais. Os minerais opacos (geralmente óxidos de ferro-titânio) são escuros, com ou sem polarizador, com formas geralmente bem definidas e aglomeradas. O vidro é castanho claro e perfaz a matriz da rocha. A Tabela 2 apresenta as porcentagens mineralógicas que compõem a litologia pobre da mistura.

Tabela 2: Composição mineralógica de litologia pobre.

Mineral	Porcentagem	Dimensões
Vidro	45%	-
Plagioclásio	25%	0.2 a 0.4mm
Clinopiroxênio	20%	0.3 a 0.5mm
Ortoclásio	4%	≈ 0.20mm
Opacos	5%	0.1 a 0.5mm
Quartzo	<1%	-

Assim como foi evidenciado na composição mineralógica do dacito, o basalto vesicular possui elevada porcentagem de vidro na estrutura da rocha, o que novamente abre precedentes para se sugerir que os futuros trabalhos em enrocamentos de barragens considerem os possíveis efeitos decorrentes da ação do intemperismo.

Conclusão

As composições mineralógicas das rochas que constituem os enrocamentos da UHE Machadinho indicam elevadas porcentagens de vidro vulcânico nas estruturas, sobretudo o basalto vesicular, cuja porcentagem foi de 45%. Tendo em vista que o corpo do aterro principal da UHE Machadinho é composto por até 30% de basalto vesicular e que, embora seja um material de resistência a compressão simples satisfatória ($\approx 80\text{MPa}$), conclui-se que a avaliação da ação do intemperismo ao longo do tempo no comportamento mecânico deste material é essencial para a segurança da barragem.

O clima tropical úmido tem por hábito acelerar o processo de intemperismo físico e químico nas rochas, contudo não foram encontradas linhas de dissolução claras que indicassem a transformação dos plagioclásios em gibbsita, no caso da litologia principal do corpo da barragem.

Referências bibliográficas

CHMYZ, L.; VASCONCELLOS, E. M. G.; ARIOLI, E. E.; LICHT, O. A. B. **Petrografia e geoquímica de rochas vulcânicas ácidas do tipo palmas aflorantes nas proximidades dos municípios de Palmas e General Carneiro (PR)**. VII Encontro Internacional de Produção Científica. ISBN 978-85-8084-055-1. Centro Universitário de Maringá. Ed. Cesumar. PR, Brasil, 2011.

ESPÍNDOLA, M da S. et al. Análise microscópica eletrônica e petrográfica...

CRUZ, P. T.; MATERÓN, B.; FREITAS, M. **Barragens de enrocamento com face de concreto**. 2a ed. Oficina de Textos. ISBN 978-85-7975-155-4. 359p., 2014.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: Editora PUCRS, 2007.

LEI N. 12.334 de 20/09/2010 – Estabelece a política Nacional de Segurança de Barragens destinadas á acumulação de agua para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, 2010.

LE MAITRE. R. W. ***Igneous rocks: IUGS classification and glossary: recommendations of the International Union of Geological Science***. In: *The Systematics of Igneous Rocks*, Cambridge University Press, ISBN 0 521 66215 X, 2 ed., 2002.

MAURO, V.; LUZ, P.A.C.; ALVEZ, A.J. **O projeto da barragem principal da UHE Machadinho**. In: II Simpósio sobre Bbarragens de Enrocamento com Face de Concreto, Florianópolis. Anais, 1999.

NAVARRO, F.C.; ARTUR, A.C. **Características petrográficas como ferramenta para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais**: Uma discussão. Anais III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, Pernambuco. pp.2-9, 2002.

PACHECO, D. **Compressão unidimensional em enrocamento de riodacito e basalto**: desenvolvimento do equipamento e realização de ensaios. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

ESPÍNDOLA, M da S. et al. Análise microscópica eletrônica e petrográfica...

STRECKEISEN, A. L. *Classification and nomenclature of igneous rocks. Final report of an inquiry. Abhandlungen aus dem Mathematischen Seminar der Universität Hamburg*, 107, pp.144-240, 1967.

WAICHEL, B. L.; LIMA, E. F. DE; SOMMER, C. A. **Tipos de Derrame e Reconhecimento de Estruturas nos Basaltos da Formação Serra Geral: Terminologia e Aspectos de Campo.** Pesquisas em Geociências, v.33, n.2, pp.123–133, 2006.

Recebido em fevereiro de 2016

Aceito em maio de 2016