

O uso da Análise Petrográfica e Micromorfológica na Determinação dos Graus de Alteração de um Maciço Rochoso Gnáissico

João Paulo Monticeli
Escola Politécnica - USP, São Paulo, Brasil, joao.monticeli@usp.br

Pedro Pazzoto Cacciari
Escola Politécnica – USP, São Paulo, Brasil, ppazzoto@gmail.com

Joel B. Sígolo
Instituto de Geociências – USP, São Paulo, Brasil, jbsigolo@usp.br

Marcos M. Futai
Escola Politécnica – USP, São Paulo, Brasil, futai@usp.br

RESUMO:

Alguns túneis antigos da Estrada de Ferro Vitória-Minas têm apresentado quedas de blocos de rocha, que, a princípio, não apresentam risco de colapso, contudo podem prejudicar a circulação na via acarretando prejuízos. Esse cenário motivou o convênio entre a empresa VALE S.A e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) na criação do Projeto Tunelcon que busca desenvolver ferramentas e uma metodologia de análise de quedas de blocos em túneis antigos escavados em rocha. Nesse contexto é necessário, portanto realizar uma caracterização detalhada dos fatores geológico - geotécnicos que governam esse comportamento do maciço, dentre esses a alteração da rocha e das superfícies das descontinuidades tem grande importância. O estudo da alteração, caracterização e definição dos graus de alteração da rocha, pode ser realizado por tabelas disponíveis no meio técnico ou por meio de ensaios geológico - geotécnicos. Nessa pesquisa, os graus de alteração foram caracterizados através de análises petrográficas e micromorfológicas, e quantificados por meio dos valores de porosidade aparente das amostras. Lâminas e corpos de prova foram elaborados a partir de testemunhos de sondagem realizadas próximas ao emboque sul do Túnel Monte Seco, foco da pesquisa do Projeto Tunelcon. Os ensaios propostos permitiram boa separação entre os intervalos dos graus de alteração evidenciando características próprias da rocha frente ao intemperismo.

PALAVRAS-CHAVE: Alteração; Petrografia; Micromorfologia; Queda de blocos; Túnel.

1 INTRODUÇÃO

A Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) possui ao longo do seu traçado principal 44 túneis, sendo que grande parte deles foram escavados em rocha e não têm revestimento, nem concreto projetado nem ancoragens. Nos

últimos anos a equipe de manutenção da VALE S.A notou quedas de blocos ao longo das vias. Esse problema não implica, a princípio, em risco generalizado dos túneis, contudo pode acarretar prejuízos logísticos. Nesse sentido, foi proposto um projeto de pesquisa, TUNELCON, parceria entre a empresa Vale SA e a Escola

Politécnica - USP no intuito de estudar o comportamento geomecânico dos túneis através de ensaios de laboratório, escaneamento a laser 3D e análises numéricas e de confiabilidade. Um dos túneis está localizado próximo aos municípios de João Neiva e Ibiraçu no Estado de Espírito Santo, que nos últimos anos tem sido estudado de forma detalhada, como em Cacciari et al (2013) e Monticeli (2015).

Nesse contexto é importante realizar uma caracterização geológico - geotécnica detalhada buscando evidenciar propriedades do maciço que influemiam nesse tipo de problema. Um dos fatores intimamente relacionados à queda de blocos é a alteração do maciço.

Em classificações de sondagens, de maciços e especialmente de perfis de intemperismo, é comum o uso de tabelas do grau de alteração como a de Vaz (1996) e Deere e Patton (1971). Em túneis, é comum o emprego de classificações geomecânicas, como o Sistema Q (Barton et al., 1974), onde o parâmetro *Ja* (índice de influência da alteração das paredes das fraturas) é uma maneira de expressar o grau de alteração. A seleção dos graus de alteração por essas tabelas não é suficiente para uma análise específica de queda de blocos, onde busca se levantar detalhes sobre o litotipo, descontinuidades e maciço rochoso.

Neste trabalho foram propostos os graus de alteração da rocha e das superfícies de descontinuidades sob a perspectiva: dos minerais constituintes da rocha (primários e de alteração), dos aspectos micromorfológicos e dos valores de porosidade aparente das amostras (corpo de prova - CP, descontinuidade - R e fragmento de rocha - Frag.). A caracterização qualitativa e quantitativa por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos desses graus de alteração estão apresentados em detalhe em Monticeli (2015).

2 GEOLOGIA

O túnel localiza-se no Domínio Paraíba do Sul do Cinturão Orogênico Araçuaí da Província Mantiqueira. O litotipo predominante do túnel Monte Seco é classificado com um sillimanita – granada – cordierita – biotita gnaisse

migmatítico. A assembléia mineralógica primária, influenciada pela alteração, é formada por quartzo (Qtz), plagioclásio (Plg), feldspato alcalino (Fk), biotita (Bt), cordierita (Crd) e ortopiroxênio (Opx) (Monticeli, 2015).

3 ALTERAÇÃO

A alteração é o conjunto de modificações físico - químicas responsáveis pela degradação das características mecânicas da rocha (matriz) e de suas descontinuidades que formam, em conjunto, o maciço rochoso (Serra Junior e Ojima, 1998). Uma amostra de rocha é dita mais alterada do que outra, assim como uma parede de uma fratura está mais alterada que outra, se os valores das características mecânicas das primeiras forem inferiores as das segundas.

A alteração se manifesta por dois mecanismos que podem estar associados ou não, a desagregação e a decomposição. A desagregação é relacionada à perda de coesão da rocha e na progressiva individualização dos seus constituintes minerais, devido aos processos físicos, fissurais. Já a decomposição é um conjunto de processos e reações químicas (dissolução, hidratação, hidrólise, oxirredução entre outros) que se reflete na modificação progressiva da natureza físico - química dos minerais (Frazão, 2012). Os processos intempéricos podem ser identificáveis na observação tátil visual e, em detalhe, na análise petrográfica.

4 METODOLOGIA

Os testenhumos de sondagem e as superfícies de descontinuidades foram classificados, respectivamente, segundo o perfil de intemperismo de ABGE (2013) modificado de Deere e Patton (1971) e o parâmetro *Ja* do Sistema Q (Barton et al., 1974).

Posteriormente, os graus de alteração propostos foram estabelecidos fixando os graus extremos, ou seja, rocha sã – rocha muito alterada, com proposta de graus intermediários. Assim, os corpos de prova e lâminas de rocha

foram amostrados para os ensaios de índices físicos e análise petrográfica, os procedimentos são a seguir comentados e justificados.

4.1 Petrografia e micromorfologia

Segundo Frazão (2012), do ponto de vista petrográfico, o estado de alteração de uma rocha é dado, principalmente, pelos graus de alteração dos minerais primários, abundância dos minerais secundários, quantidade de vazios, presença/quantidade e tipo de microfissuras e presença de argilominerais. A norma brasileira DNER – IE 006/94 (1994) propõe uma metodologia de análise com base no estágio de alteração, na densidade das microfissuras e no número de vazios dos minerais, no entanto, não especifica quais seriam os tais intervalos nem as feições a serem interpretadas. Delvigne (1998) caracteriza o padrão intempérico dos minerais e o seu estágio evolutivo, e propõe texturas com base na relação geométrica e volumétrica entre os minerais primários e secundários (Figura 1).

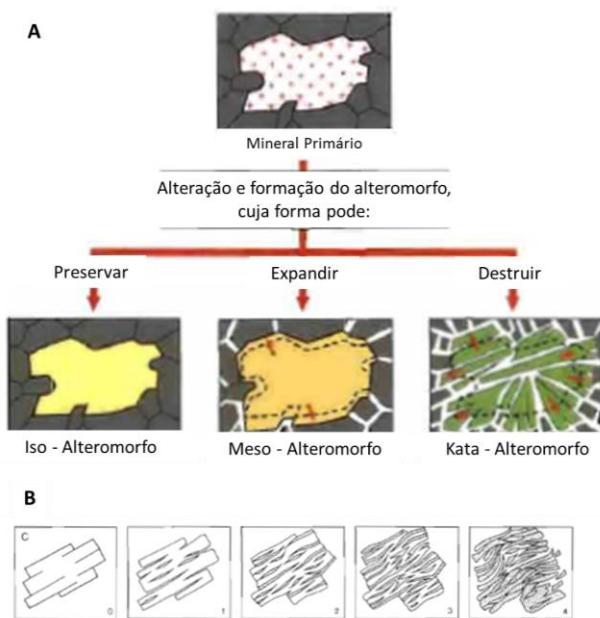


Figura 1. (A) Descrição micromorfológica de texturas de minerais alterados. (B) Exemplo de padrão intempérico de uma biotita e seus estágios evolutivos num perfil intempérico, 0 a 4. (Delvigne, 1998).

Marques et al. (2010) utilizaram o tipo do microfissuramento cristalino e os processos intempéricos como critério na separação dos graus de alteração. Já Momeni et al. (2015)

utilizaram o Índice de Microfissuramento (IM), definido pelo número de fissuras por 50 mm de comprimento de lâmina, proposta similar a definição do grau de fraturamento em uma sondagem (1D).

Nesse estudo os graus de alteração serão caracterizados por meio de descrições tátteis visuais, pelo tipo da alteração fissural (intra, inter e transmineral) e processos intempéricos, aparecimento dos minerais secundários, e pelos padrões intempéricos (PI) e texturais (T) descritos em Delvigne (1998).

As lâminas petrográficas foram confeccionadas em amostras previamente impregnadas em resina e os cortes foram executados perpendiculares às fraturas.

4.2 Índices físicos

O ensaio de índices físicos é uma técnica que permite, com uma simples relação entre as massas, seca (A), saturada em água (B) e submersa (C), obter as seguintes características físicas da rocha: porosidade, densidade e absorção aparentes. O ensaio foi realizado conforme a norma NBR 15845 (ABNT, 2010). Só os resultados de porosidade serão mostrados. A porosidade aparente ($P_a \%$) é a relação entre o volume de água acessível aos poros e o volume total:

$$P_a = \frac{(B - A)}{(B - C)} * 100$$

Segundo Delvigne (1998), a porosidade primária de uma rocha é dada por uma porosidade originária com a rocha parental, normalmente relacionado às fraturas e fissuras e, portanto, relacionado à litologia e a geologia estrutural do maciço. A porosidade inicial é então mofidicada durante o intemperismo, onde um sistema de poros e fissuras se instala e evolui. Os minerais secundários não ocupam o mesmo volume inicial do mineral primário gerando vazios nos alteromorfos (mineral em alteração), bem como, serem lixiviados (i). A própria mineralogia secundária pode apresentar comportamento compressivo-expansivos gerando assim uma complexa rede de fissuras

na rocha (ii). O conjunto desses processos resulta em uma micro (i) a mesoporosidade (ii) secundária variável de acordo com o grau de alteração da rocha.

A porosidade indica a intensidade dos processos intempéricos atuante nos minerais primários, podendo assim ser correlacionada aos graus de alteração da rocha e das superfícies de descontinuidades (Marques et al., 2010; Pola, 2011; Frazão, 2012; e Heidari et al., 2013).

Nesse trabalho a porosidade aparente vai ser correlacionada com as observações petrográficas a fim de caracterizar tais graus de alteração.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1. Análise petrográfica

No grau de alteração A1 (são a pouco alterado) a maioria dos minerais principais está são, no entanto é notado um processo incipiente de alteração no plagioclásio e na cordierita.

O Plg altera-se por meio do processo de saussoritização localizado em fissuras intraminerais perpendicular à geminação lei da albite, com a formação de manchas e salpicos nesses planos (Figura 2A). PI: irregular salpicado/manchado em estágio inicial (0 a 1). T: isoalteromorfo. A Crd altera-se por meio do processo de pinitização localizado na borda do mineral e ao longo das fissuras intraminerais, com a formação de um agragado criptocristalino, pinita (Figura 2B). PI: regular linear (bandado) em estágio inicial (0 a 1). T: isoalteromorfo.

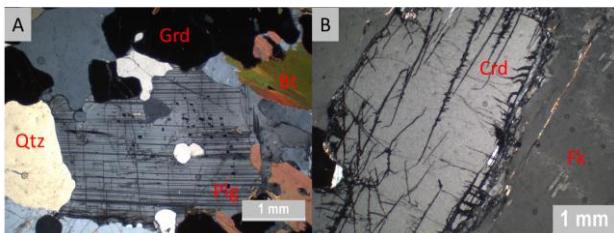


Figura 2. Fotomicrografias das amostras CP 10 (A) e Frag. (H) apresentando a alteração incipiente nos minerais plagiocásio (A) e cordierita (B).

O fissuramento cristalino é pouco expressivo

e sem preenchimento. A intensidade de fissura intramineral varia proporcionalmente com a granulometria dos minerais (Qtz, Plg, Fk e Crd). Ja intensidade do fissuramento transmineral varia com a proximidade do plano de fratura (Figura 3).

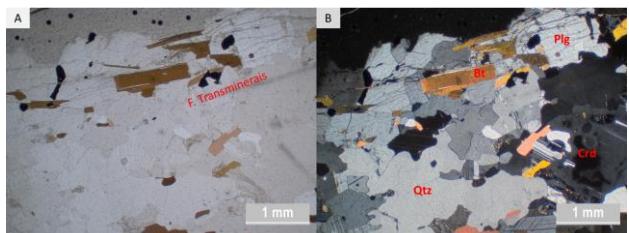


Figura 3. Fotomicrografia da amostra R8, perpendicular a superfície de descontinuidade no grau A1, apresentando o fissuramento transmineral paralelo ao plano de descont.

No grau de alteração A2 (medianamente alterado) os minerais formadores da rocha ja se encontram em algum estágio evolutivo de alteração físico ou físico – químico. Processo de alteração identificado na Bt e no Qtz.

O Plg apresenta se no estágio 1 de saussoritização, alguns ocorrem com as fissuras intraminerais preenchidas por óxido e hidróxido de ferro (óx./hidrox.). A Crd apresenta se no estágio 1 a 2, o processo de pinitização evoluiu para uma cloritização com acúmulo óx./hidrox. de ferro. As fissuras intraminerais possuem duas direções preferencias, uma ligada à geminação e outra secundária. T: Iso a mesoalteromorfo (Figura 4). A Bt altera-se por meio de um processo de cloritização com acúmulo de óx./hidrox. ao longo das bordas e fissuras intraminerais. As fissuras intraminerais se instalaram e abriram os planos de clivagem do mineral. PI: regular pelicular – linear (paralelo) combinado em estágio inicial (0 a 1). T: iso a meso – alteromorfo (Figura 5).

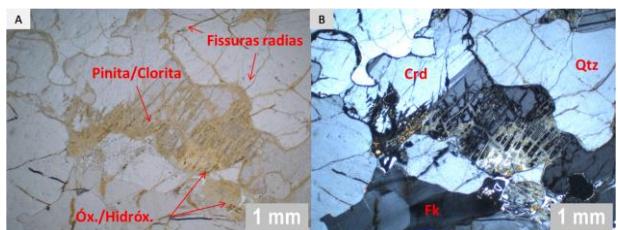


Figura 4. Foto micrografia da amostra R30, apresentando Crd alterada para pinita e clorita com acúmulo de óx./hidrox. de ferro. Fissuramento relacionado ao contato com esse alteromorfo.

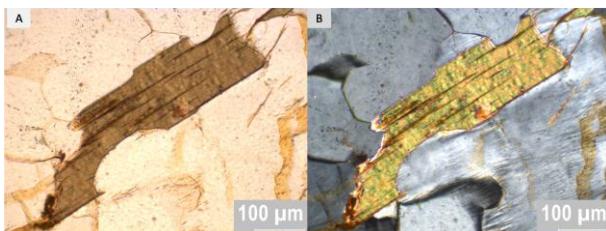


Figura 5. Fotomicrografia da amostra R28, apresentando Bt alterada para clorita com acúmulo de óx./hidrox.de ferro. Fissuramento relacionado a abertura do plano de clivagem.

Fissuras intraminerais ocorrem nos minerais Qtz e Fk em contato com as Crd e Bt alteradas (Figura 4). A intensidade do fissuramento na superfície de descontinuidades é maior e variável de 1 a 5 mm e as fissuras intra, inter e transmineral são mais expressivas, ocorrendo na maioria das vezes preenchidas de óx./hidrox. de ferro e materiais secundários (Figura 6).

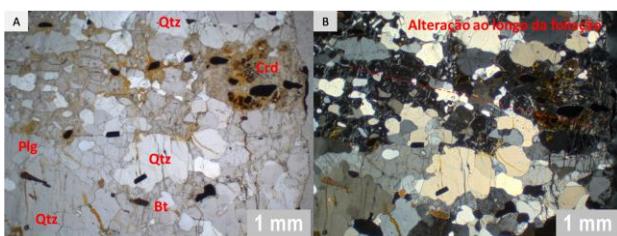


Figura 6. Fotomicrografia da amostra R28, apresentando plano da foliação com minerais alterados. Espessura do fissuramento mineral maior e com preenchimento de óx./hidrox.

No grau de alteração A3 (muito alterado) os minerais se encontram em um estágio desenvolvido de alteração físico e físico – químico. Processos de alteração intensificados e acúmulo de óx./hidrox. (Figura 7). Processo de alteração identificado no Fk e no Opx, este não foi encontrado nos outros graus.

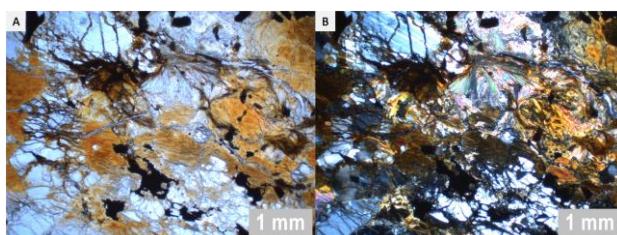


Figura 7. Fotomicrografia da amostra Frag. A, apresentando a matriz muito alterada e fissurada com acúmulo de óx. e hidróx. de ferro e minerais secundários.

O Plg apresenta se no estágio 2 de saussoritização, onde núcleos preservados se

encontram envoltos por saussorita (Figura 8). O Fk altera-se de forma incipiente por meio do processo de sericitização ao longo de fissuras intra a transminerais. As fissuras intraminerais são relacionadas à abertura do plano de clivagem, onde material secundário se forma como manchas e salpicos. PI: irregular salpicado/manchado em estágio inicial (0 a 1). T: isoalteromorfo. (Figura 8).

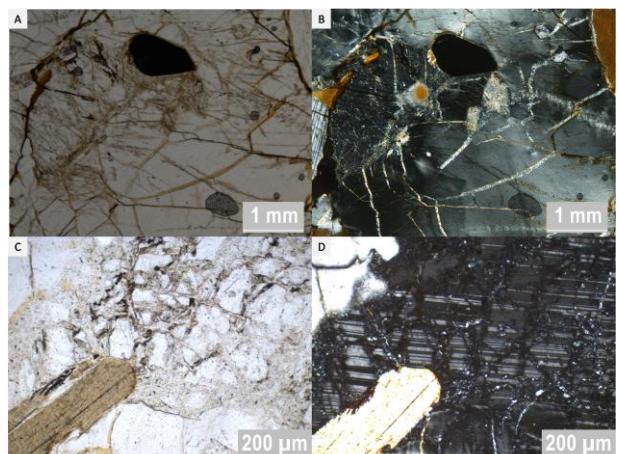


Figura 8. Fotomicrografia da amostra Frag C, apresentando Fk (A e B) e Plg (C e D) alterados e fissuras intraminerais com manchas e salpicos de material secundário. No Plg núcleos do mineral primário foram isolados pelas fissuras preenchidas por saussorita.

A Crd apresenta se no estágio 2 a 4, o processo de pinitização/cloritização está instalado e desenvolvido, ao passo que um processo de sericitização se instala. Os minerais completamente alterados para pinita/clorita possuem a textura (T) halo-alteromorfo (Figura 9). A Bt apresenta se no estágio 1 a 3, o processo de cloritização abre nitidamente os planos de clivagem do mineral, podendo ser encontrado poros intraminerais a material secundário de preenchimento. O mineral pode ocorrer com perda da forma (Figura 9). T: phylloporo meso-alteromorfo. O Opx altera-se por meio de um processo de cloritização com acúmulo de óx./hidrox. ao longo das bordas e fissuras intraminerias. O fissuramento intramineral forma uma trama que ocorre preenchida por óx./hidróx. de ferro isolando núcleos do mineral primario. Poros intraminerais são observados ocasionados pela lixiviação da mineralogia secundária. T: centroporo – alteromorfo.

Fissuras intra a transminerais ocorrem nos

minerais, principalmente nos microsistemas: contato com os alteromorfos de Crd e Bt, planos de foliação e fraturas. A espessura do fissuramento na superfície de descontinuidades é maior que 10 mm e normalmente ocorrem preenchidas por óx./hidrox. e materiais secundários (Figura 7).

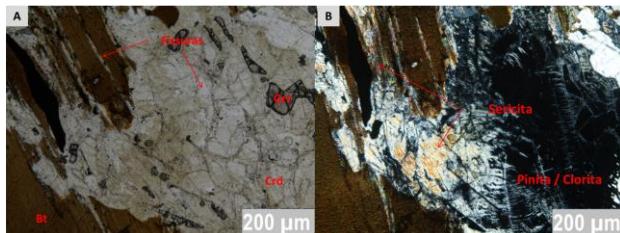


Figura 9. Fotomicrografia da amostra R10, apresentando Bt e Crd alteradas para pinita/clorita e sericitização. A Bt ocorre com perda da forma e Crd com textura Halo-alteromorfa.

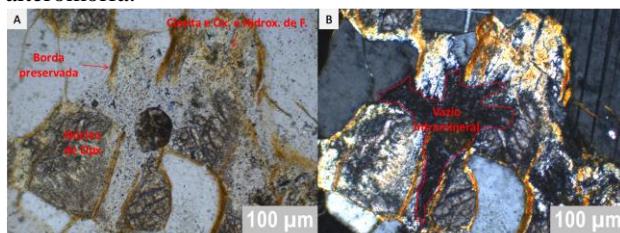


Figura 10. Fotomicrografia da amostra R10, apresentando um Opx alterado e seu contorno com acúmulo de óx. e hidróx. de ferro. Devido ao vazio intramineral, a textura T: Centro Poro – Alteromorfo.

5.2. Porosidade aparente e graus de alteração

Na Tabela 1 (A, B e C), os valores das porosidades aparentes das amostras foram correlacionados as informações petrográficas e aos valores do parâmetro *Ja* (índice de influência da alteração das paredes das fraturas, contato do tipo rocha – rocha), caracterizado previamente.

A porosidade média dos corpos de prova de rocha (C.Ps), associados às corpos de prova de fraturas (R), corresponde a uma Pa de 0,45%, porosidade primária do litotipo. No estado são a pouco alterado (A1), as fissuras intraminerais, vinculada a granulometria dos minerais e transminerais, vinculada a fratura, promovem o contato entre os agentes do intemperismo e os minerais primários, iniciando assim, uma alteração, notada como incipiente. Nesse cenário a porosidade pode variar entre 0,2 a 1%.

A instalação do processo físico – químico nos minerais é o marco do grau medianamente alterado (A2). Este processo promove o

aparecimento de uma porosidade secundária intramineral formada por poros e fissuras, variável de acordo, principalmente, com a presença e estágio de alteração dos alteromorfos de Crd e Bt. Tais alteromorfos apresentam texturas indicativas de expansão/contração das suas fases. Neste grau de alteração, a espessura do fissuramento intramineral a transmineral na superfície da fratura é maior. Nesse cenário a porosidade pode variar de 1 a 3%.

Tabela 1. Grau de Alteração

Grau de Alteração	Amostra	Pa (%)	Ja	Atrito Residual
A1	Média C.Ps associados as fraturas R	0,46	-	-
	*R8	0,61	1	25° - 35°
	*R - C.P-10	0,77	0,75	-
	*Frag. H	0,80	-	-
A2	*R12	1,01	1 a 2	25° - 35°
	*R28	1,73	2 a 3	20° - 25° a 25° - 35°
	*R30	2,80		
A3	*R10	5,15	3 a 4	8° - 16° a 20° - 25°
	*Frag. C	6,35	-	-
	*Frag.A	6,87		

Tabela 1 - Continuação

	Tipo de Processos Intempéricos	Tipo de fissuramento
A1	-	Intramineral e proporcional a granulometria dos minerais (poros. primária).
	Saussoritização (Plg) e Pinitização (Crd)	Intramineral ligada a alteração incipiente de Crd e Plg. Transmineral, espessura de 1 mm nas fraturas.
A2	Saussoritização (Plg) , Pinitização (Crd) , Cloritização (Crd e Bt) e Acúmulo de óxidos e hidróxidos de ferro	Intramineral no Qzt e Fk ligado a alteração da Crd e Bt. Intramineral na Crd e Bt. Transmineral, espessura de 1 a 5mm nas fraturas. Preenchimento de óx./hidróx. de ferro.
A3	Saussorit. (Plg) , Pinitiz. (Crd) , Cloritiz. (Crd, Bt e Opx) , Sericitização (Crd e Fk) e Acúmulo de óxidos e hidróxidos de ferro	Intra, inter e transmineral ao longo da matriz e da foliação. Espessura de fissuramento maior 10 mm. Poros intraminerais. Preenchimento de óx./hidróxido de ferro.

No grau de alteração A3, muito alterado, todos os minerais primários estão submetidos aos processos de alteração. No entanto, os estágios diferem uns dos outros de acordo a alterabilidade de cada mineral. Os processos de pinitização, cloritização, saussoritização e sericitização, promovem a decomposição da mineralogia primária e o acúmulo de argilominerais e

óx./hidrox, e a desagregação, formando uma rede de fissuras e vazios intraminerais. Nesse cenário a porosidade pode variar entre 3 a 7%.

Tabela 1 - Continuação

	PI (Estágio 0 - 4)	Texturas
A1	-	-
	Plg (0 a 1), Crd (0 a 1).	Iso-alteromorfo (Crd e Plg)
A2	Plg (1), Crd (1 a 3), Bt (0 a 1).	Iso-alteromorfo (Crd e Plg); Iso a meso-alteromorfo (Crd e Bt)
A3	Plg (2); Crd (2 a 4); Bt (1 a 3);	Iso-alteromorfo (Crd e Plg); Iso a meso-alteromorfo (Crd e Bt); Halo - Alteromorfo; Iso - alteromorfo (Fk e Plg). Centroporo-alteromorfo (Opx).

As texturas e o padrão intempérico também evoluem de acordo com o aumento da porosidade aparente. Do grau A1 para o A2 aparecem as texturas iso a meso - alteromorfo e os estágios evolutivo dos minerais situam entre 0 a 3. Já do grau A2 ao A3, as texturas halo, meso, phyllo e centroporo alteromorfos aparecem e os estágios evolutivos situam entre de 2 a 4. As texturas phyllo e centroporo-alteromorfo configuram feições onde ocorrem poros intraminerais, respectivamente, ligado a fissuras intraminerais (Figura 9) e a formas centrais (Figura 10). A identificação dessas texturas se deu nas amostras com maior porosidade aparente.

Com os processos de alteração atuando em todos os minerais primários, há uma notável rede de fissuramento intra a transmineral estabelecida. Localmente, nas superfícies das fraturas, a espessura desse fissuramento é maior que escala da lâmina petrográfica.

Para as amostras R (fraturas), caracterizadas previamente segundo o parâmetro *Ja*, notou-se que há uma correlação entre o parâmetro geomecânico e os valores de porosidade aparente. Como observado petrograficamente, a alteração na superfície de descontinuidades provoca o aparecimento de alteromorfos e de uma rede de fissuras, consequentemente, seria esperada uma queda na resistência à compressão das paredes das juntas (JCS), bem como, no ângulo de atrito residual (Tabela 1 e Figura 9).

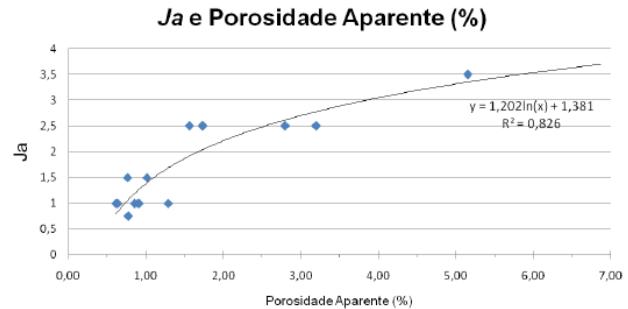


Figura 9. Correlação entre parâmetro *Ja* e porosidade aparente de descontinuidades do Túnel Monte Seco (Monticeli, 2015).

6 CONCLUSÃO

De forma geral, os ensaios propostos conseguiram atingir os objetivos desse trabalho.

A análise petrográfica permitiu identificar processos de alteração e feições micromorfológicas diferenciados para cada grau de alteração.

A porosidade aparente é um índice físico capaz de mensurar as características petrográficas analisadas, e, nesse estudo, pode ser correlacionada ao parâmetro *Ja* da classificação geomecânica Sistema Q (Barton et al., 1974).

A alteração dos minerais primários, principalmente, no plano da foliação gnáissica é uma das possíveis influências na queda de blocos de rocha no túnel, uma vez que, o intempério deste plano leva a perda da coesão da rocha e a ruptura por tração de blocos limitados pela foliação.

A decomposição dos minerais, Crd e Bt, apresentam indícios microtexturais de contração/expansão da mineralogia secundária. Este tipo de informação é fundamental para o estudo do Túnel Monte Seco, pois argilominerais expansivos podem instabilizar blocos de rocha.

Com base na análise petrográfica e no ensaio de difratometria de raios X, a partir do grau de alteração A2 é possível encontrar argilominerais expansivos nos alteromorfos, e com maior abundância relativa no grau A3 (Monticeli, 2015).

7 REFERÊNCIAS

ABGE (2013). *Diretrizes para classificação de sondagens: 1º tentativa*. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2013.

ABNT (2010). Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas para revestimento – Métodos de ensaio.

Barton, N., Lien, R., Lundes, J. (1974). Engineering classification of rock masses for design of tunnel support. *Rock Mechanics Engineering*, 6, 189-236.

Cacciari, P. P., Pereira, R. V. B., Monticeli, J. P. (2013) Análise do desenvolvimento de cunhas em túneis antigos sem revestimento. *14º CBGEA*. ABGE 2013.

Deere, D.U., Patton, F. D. (1971). Slope stability in residual soils. *Fourth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. State-of-the-art-papers, v.I, S. II*. San Juan, Puerto Rico.

Delvigne, J. E. (1998). *Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering*. Ottawa: Mineralogical Association of Canada. 516p.

DNER – IE 006/94 (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) (1994). Materiais rochosos usados em rodovias. Instrução de Ensaios – Petrografia.

Frazão, E. B., (2012). *Alteração de rochas como critério de seleção de agregados 2ºedição*. São Paulo. ABGE 2012. 123p.

Heidari, M., Momeni, A. A., Naseri, F. (2013). New weathering classifications for granitic rocks based on geomechanical parameters. *Engineering geology* 166 (2013) 65-73.

Marques, E. A. G., Barroso, E. V., Menezes Filho, A. P., Vargas Jr, E. do A. (2010). Weathering zones on metamorphic rocks from RJ – Physical, mineralogical and geomechanical characterization. *Engineering Geology*, 11, 1-18.

Momeni, A. A., Khanlari, G. R., Heidari, M., Sepahi, A. A., e Bazvand, E. (2015). New engineering geological weathering classifications for granitoid rocks. *Engineering Geology*, 185, 43-51.

Monticeli, J. P., (2015). *Caracterização da alteração de um gnaisse do complexo Nova Venécia (ES) por meio de análises e ensaios geológico-geotécnicos*. Tese de Formatura. Instituto de Geociências – USP. São Paulo, 69p.

Pola, A., Crosta, G., Fusi, Nicoletta., Barberini, V., Norini, G. (2012). Influence of alteration on physical properties of volcanic rocks. *Tectonophysics* 566-567 (2012) 67-86.

Serra Junior, E. , Ojima, L.M. (1998). Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: A.M.S. Oliveira, S.N. A. Brito (Eds), *Geologia de Engenharia* (211-226). São Paulo: ABGE.

Vaz, L. F. (1996). Grau de alteração de rochas. *8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*. Rio de Janeiro: ABGE.