

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

---

Quando o engenheiro civil, ou o geólogo, ou o engenheiro de minas se confronta com um maciço rochoso, ele precisa visualizá-lo como sendo um conjunto de blocos de rocha intacta separada por diferentes tipos de descontinuidades geológicas, na qual se deve levar em conta as características do material intacto e das descontinuidades. A importância das propriedades da rocha intacta geralmente será suplantada pela das propriedades das descontinuidades do maciço rochoso. Porém, isso não significa que as propriedades da rocha intacta devam ser desconsideradas ao se considerar o comportamento do maciço rochoso. Afinal de contas, se as descontinuidades estiverem amplamente espaçadas ou se a rocha intacta for frágil e alterada, suas propriedades podem influenciar fortemente o comportamento geomecânico do maciço rochoso (BIENIAWSKI, 1989 e LOPES, 2001).

Como as características do maciço rochoso variam de local para local, em função da história geológica da região considerada e do grau de alteração do maciço rochoso, torna-se necessário caracterizar as características do meio rochoso que, isolada ou conjuntamente, condicionam o seu comportamento ante as solicitações impostas por uma obra (ABGE, 1998).

### **2.1. ESTUDOS ANTERIORES**

A alteração de materiais cristalinos usualmente resulta na criação de vazios devido a dissolução de determinadas fases do mineral. O processo de alteração continua,

particularmente quando os minerais são carreados mudando a estrutura original da rocha e a transformando em pedaços alterados, possuindo macro e micro fissuras. No estado avançado de alteração os pedaços de rocha entram em colapso resultado na formação de solo residual (BJERRUM, 1967 e CHANDLER, 1967).

Em geral rochas perdem resistência tornando-se mais plástica e permeável com o avanço do grau da alteração, embora a dimensão desta alteração dependa da natureza da rocha o tipo e estágio de alteração (ANON, 1970, 1977 e 1995).

O grau de alteração pode se refletir na mudança das propriedades índices, como densidade, razão de vazios, argila contida e velocidade de ondas sísmicas.

Muitos trabalhos observaram o aumento do índice de vazios em amostras saturadas e de sua porosidade com o avanço da alteração (E.G. HAMROL, 1961; DUNCAN & DUNNE, 1967 e ONODERA et al., 1974).

Este último autor registrou um aumento de mais de 15% do índice de vazios e na porosidade em granitos para estágios avançados de alteração, devido à formação de micro-fissuras.

Estudos detalhados sobre a variação das propriedades índices como densidade massa específica dos grãos, porosidade, razão de vazio, durante a alteração em granitos, foi realizado pelo IFRAN e DEARMAN, em 1978.

Observações similares foram feitas em basalto (SAITO 1981) andesito (PASAMEHMETOGLU et al. 1981, TURK et al. 1994), gnaisse (DOBEREINER & PORTO 1993) e quartzito, filito e xistos (KOMOO e YAKUB 1990).

GUPTA & RAO (1998), estudaram as variações das propriedades físicas e mecânicas em função da alteração para três rochas cristalinas – granito, basalto e quartzito. Foi observado um aumento da porosidade com a alteração para todas as rochas estudadas. Variações similares foram observadas para razão de vazios e para absorção d'água. Também se observou que a velocidade de propagação de ondas nos três litotipos diminuíram com o avanço da alteração. O basalto e o granito apresentaram decréscimo similar da resistência à compressão não confinada com o avanço da alteração, apresentando uma redução de aproximadamente 98%.

A porosidade é uma importante propriedade física que governa os atributos físicos de rochas como resistência, deformabilidade e condutividade hidráulica (FRANKLIN & DUSSEAULT, 1991). O processo de alteração causa mudanças progressivas na porosidade das rochas devido à mudança na distribuição e dos tamanhos dos vazios, na geometria dos vazios, da conectividade dos vazios e da formação de novos vazios

(NICHOLSON, 2001). Diversos investigadores estudaram o efeito do intemperismo nas propriedades de engenharia para diferentes tipos de rocha (LUMB, 1983; COLE & LANCUCHI, 1976; Cole & SANDY, 1980; KELSALL et al., 1986; HASKINS & BELL, 1995). Eles relataram que o intemperismo é um importante processo para vários tipos de rocha.

Estudos anteriores também demonstraram que as características da “*fabric*” da rocha, especialmente a geometria dos vazios, afetam suscetivelmente a alterabilidade das rochas (WINSLOW & LOVELL, 1981; ORDONEZ et al., 1997; TUGRUL, 1997; NICHOLSON, 2001).

HUDEC (1998) indicou a composição mineralógica, textura e a características dos vazios das rochas como os principais fatores controladores da intensidade do intemperismo físico.

Mudanças na microestrutura levam a variações na porosidade e na permeabilidade o que resulta na mudança dos resultados das propriedades mecânicas destas rochas (BELL, 1993).

A porosidade é também um fator importante na resistência de rochas na medida em que o aumento dos vazios reduz a integridade do material (GOODMAN, 1989).

Muitos pesquisadores têm relatado correlações entre a resistência à compressão uniaxial e a porosidade para granitos e doleritos (DEARMAN et al., 1978; LUMB, 1983, TUGRUL & ZARIF, 1999; BELL, 1978; SHAKOOR & BONELLI, 1991; VERNIK et al. 1993; ULUSAY et al. 1994), para basaltos (TUGRUL & GURPMAR, 1997; AL HARTHI et al., 1999) e para calcários e dolomitos (TUGRUL & ZARIF, 2000b; PALCHIK & HATZOR, 2002).

TUGRUL (2004), estudando quatro diferentes tipos de rochas incluindo arenito, calcário, basalto e granodiorito, observou mudanças importantes na distribuição, geometria e conectividade dos poros e na densidade de fissuras e microfraturas com o avanço da alteração. Correlações estatisticamente significantes foram encontrados entre a porosidade e outras propriedades de engenharia. O peso específico seco e a resistência a compressão uniaxial decrescem com o aumento da porosidade. Ainda segundo TUGRUL (2004), as características de texturas e “*fabric*”, particularmente poros e geometria das fraturas são as principais características que controlam a resistência das rochas. Uma redução significativa ocorre no grau de intemperismo moderado, devido ao aumento do grau de microfraturamento com a alteração mineralógica ainda pequena.

O diâmetro dos poros de rochas intemperizadas é menor do que os de rochas frescas. Isto é devido à formação de novos minerais no espaço dos poros durante o intemperismo segundo MULYANTO & STOOPS (2003) para rochas andesíticas.

Segundo TUGRUL (2004), esta situação causará um aumento da superfície e conseqüentemente, um decréscimo da resistência à compressão uniaxial e por esta razão a relação entre a resistência a compressão uniaxial e a porosidade é tão importante. Ainda TUGRUL (2004), avaliando esta situação, encontrou uma relação não linear entre a resistência a compressão uniaxial e ambos os valores de porosidade, efetiva e total. Relações similares foram obtidas nos experimentos de DEARMAN (1978), em doloritos, IFRAN & DEARMAN (1978) em granitos, LUMB (1983) em granito e doloritos e KILIC (1995) em diabásios.

A literatura sobre o assunto não apresenta muitos trabalhos de caracterização de rochas metamórficas em geral, o que ressalta a importância no desenvolvimento desses estudos especificamente para este grupo de rochas. Em nível nacional pode-se destacar, em relação às rochas metamórficas, alguns trabalhos de caracterização da influência do intemperismo sobre rochas de elevado grau metamórfico (gnaisses, migmatitos, etc.) realizados no IGEO/UFRJ por BARROSO (1993), SOBREIRA (1993) e MARQUES (1998) e na PUC/RJ por MENEZES FILHO (1993) que realizaram extensos trabalhos de caracterização dos materiais presentes em perfis de intemperismo de rochas gnáissicas existentes no município do Rio de Janeiro, envolvendo gnaisses – facoidais, biotita-gnaisses, leptinitos e kinzigitos.

SABATAKAKIS & TSIAMBAOS (1983), em estudo realizado com filito sobre compressão não confinada, encontraram um índice de anisotropia (resistência perpendicular sobre a resistência paralela em relação à foliação) igual a unidade para rocha sã e 1,43 para rocha alterada.

PAPADOPOULOS & MARINOS (1992), analisaram a relação existente entre o índice de anisotropia de xistos atenianos com o grau de intemperismo e concluíram que valores baixos de anisotropia foram apresentados para rochas com maior grau de alteração. Constataram também um aumento do índice de anisotropia para amostras de média a ligeiramente alteradas, com uma tendência de diminuição da anisotropia para rocha no seu estado são.

## **2.2. ROCHAS ÍGNEAS**

As rochas Ígneas são formadas a altas temperaturas, a partir de matéria mineral fundida em grandes profundidades e que às vezes extravasa (vulcânicas ou extrusivas). O material fundido no interior da terra, denominado magma pode se deslocar para regiões

de menor pressão e temperatura, perdendo calor, onde se consolida, cristalizando as fases minerais que constituirão as rochas ígneas ou magmáticas, TEIXEIRA et al. (2003).

A variedade composicional dos magmas (e, por conseqüência, das rochas ígneas) é fruto dos processos geradores de magmas. Magmas basálticos são gerados em grandes volumes pela fusão dos peridotitos mantélicos, formadas predominantemente por minerais ferro-magnesianos, como olivina e piroxênios. Já os magmas graníticos são associados à fusão de partes profundas da crosta continental, enriquecida em sílica com relação à crosta oceânica. Magmas andesíticos são característicos dos arcos de ilha ou de cadeias de montanhas em margens continentais convergentes, como na cadeia Andina, TEIXEIRA et al. (2003).

As composições químicas média de rochas representativas dos três tipos de magma – respectivamente granitos, andesitos e basaltos – são apresentadas na Figura 2.1.

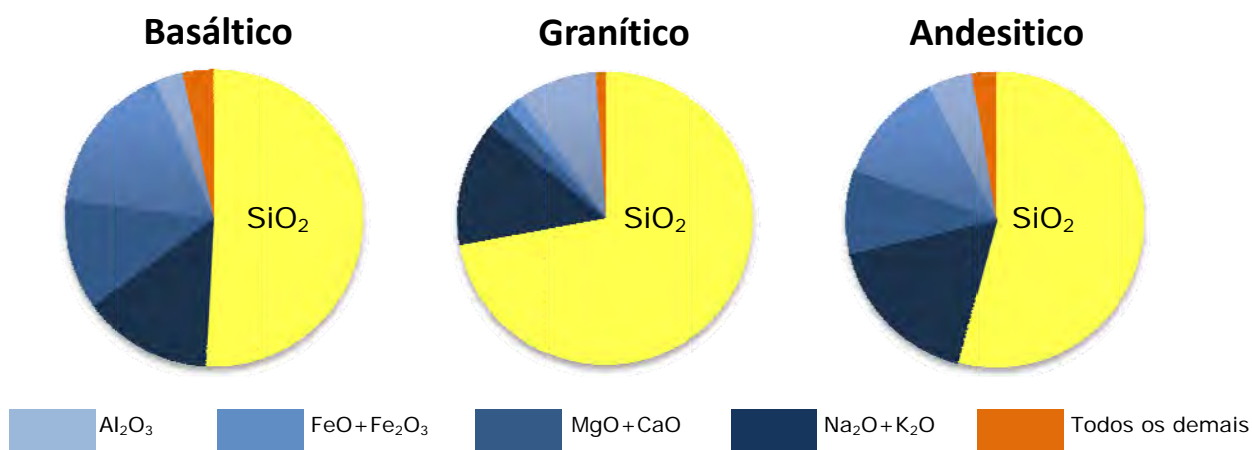


Figura 2.1: Composições médias de magmas graníticos, andesíticos e basálticos, Fonte: TEIXEIRA et al. (2003).

Segundo TEIXEIRA et al. (2003), um parâmetro muito útil na caracterização composicional expedita de rochas ígneas é o índice de cor (M), que diz respeito entre minerais máficos e félsicos, e é definido pelo número puro correspondente ao percentual de minerais máficos na constituição volumétrica de uma rocha ígnea qualquer. Há também uma correlação genérica entre o teor de sílica e o índice de cor das rochas ígneas, conforme Figura 2.2.

As rochas ácidas dificilmente se alteram nas condições normais de uso, mesmo em meio aquoso. Já as rochas básicas e ultrabásicas tendem a se alterar quando expostas às condições atmosféricas, podendo ocorrer desagregação mecânica ou decomposição em argilominerais, quase sempre expansivos, (ABGE 1998).

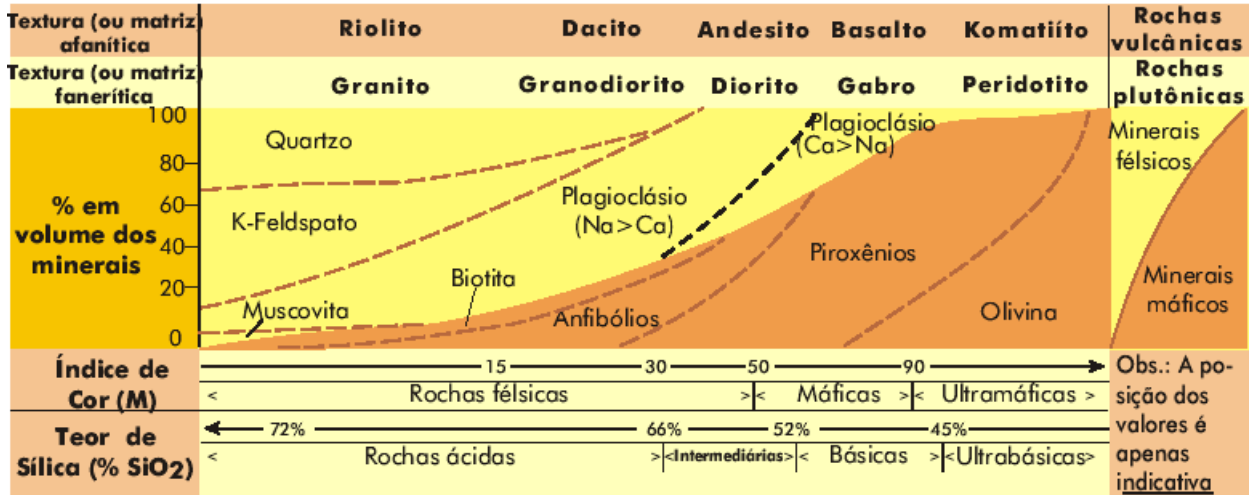


Figura 2.2: Relações entre Índice de cor, teor de sílica, composição mineralógica e ambiente de cristalização para rochas ígneas mais comuns (excluindo as alcalinas). Fonte: TEIXEIRA et al. (2003).

### 2.3. ROCHAS METAMÓRFICAS

Rochas metamórficas são derivadas de outras pré-existentes (protólitos) que, no decorrer dos processos geológicos, sofreram mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, em resposta a alterações das condições físicas (temperatura e pressão) e químicas, impostas em profundidades abaixo das zonas superficiais de alteração e cimentação, ou seja, no domínio das transformações diagenéticas, (ABGE 1998).

Pode ocorrer desde a recristalização mineral até reações metamórficas mais intensas. A rocha resultante de um processo metamórfico depende, essencialmente, da sua composição original, das condições de pressão e temperatura e dos fluidos envolvidos, (ABGE 1998).

Na Figura 2.3, apresenta-se o campo do metamorfismo em diagrama P x T. O asterisco indica as condições de pressão mais elevada registradas em rochas atualmente expostas à superfície da crosta terrestre. A – curva de fusão para granitos sob condições hidratadas ( $P = P_{H_2O}$ ); B – curva de fusão para granitos sob condições anidras ( $P_{H_2O} = 0$ ), TEIXEIRA et al. (2003).

Dependendo do ambiente geológico e da extensão geográfica onde ocorrem estas transformações, o metamorfismo pode ser classificado em: local, regional ou dinamotermal e dinâmico (zonas de cisalhamento), (ABGE 1998).

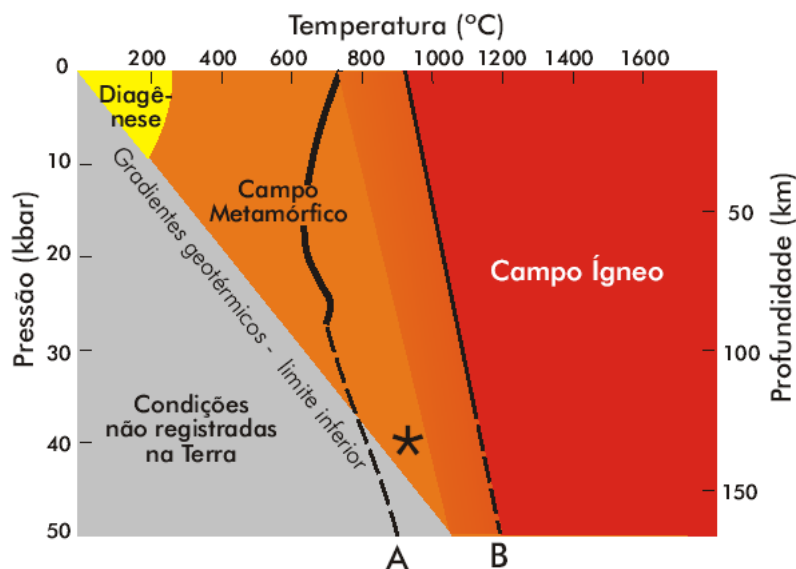


Figura 2.3: Metamorfismo em diagrama P x T. Fonte: TEIXEIRA et al. (2003).

#### 2.4. ANISOTROPIA

A anisotropia é comum a muitos tipos de rochas, mesmo que estas não tenham uma estrutura descontínua, devido à orientação dos grãos minerais ou à história de tensão em certa direção. A foliação e a xistosidade fazem com que xistos, ardósias e várias outras rochas metamórficas sejam altamente orientados na sua deformação, resistência e outras propriedades. Planos de acamamento fazem com que algumas rochas sedimentares (como folhelhos, arenitos e calcários) sejam altamente anisotrópicas. Mesmo as amostras de rochas aparentemente livres de planos de acamamento podem apresentar comportamento direcional, por terem sido submetidas a tensões principais diferentes quando de sua transformação em rocha. Finalmente, qualquer rocha fissurada submetida a níveis de tensões iniciais diferentes será anisotrópica, uma vez que suas propriedades são muito influenciadas pelo estado de tensão nas fissuras: comporta-se como um material quando as fissuras estão fechadas e como outro quando as fissuras abrem ou são cisalhadas (AZEVEDO e MARQUES, 2002).

A anisotropia de resistência das rochas corresponde à variação da resistência à compressão de acordo com a direção das tensões principais. Trata-se de uma característica das rochas compostas por minerais dispostos em arranjos paralelos, orientados segundo uma direção, como micas, cloritas e argilas. Estes minerais orientados são largamente encontrados em rochas metamórficas, especialmente xistos e filitos.

## 2.5. ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA OU INTEMPERISMO

Intemperismo é um processo de alteração secundária ou meteórica que se desenvolve na ou próximo da superfície, portanto em campos de baixa pressão e temperatura, como uma “resposta” das rochas às novas condições a que estão submetidas, completamente diferentes daquelas existentes em seus ambientes de formação, e à qual estão relacionadas modificações nas propriedades geotécnicas. (BARROSO, 1993 e FOOKES et al., 1988).

O Intemperismo de rochas e solos é um processo destrutivo, formando destroços de tamanhos, composições e formas variadas. Essas novas composições são normalmente mais estáveis e envolve uma diminuição da energia interna dos materiais. A erosão move o solo superficial, reduzindo a pressão e a temperatura das rochas que buscam um novo equilíbrio de sua energia interna no seu desenvolvimento, MITCHELL (1930).

Isto, em conjunto com a exposição a atmosfera, água e vários agentes químicos e biológicos, resultam no processo de alteração.

Segundo TEIXEIRA et al. (2003), os produtos de intemperismo, rocha alterada e solo, estão sujeitos aos outros processos do ciclo supérgeno – erosão, transporte, sedimentação – os quais acabam levando à denudação continental, com o conseqüente aplainamento do relevo.

Os processos intempéricos atuam através de mecanismos modificadores das propriedades físicas dos minerais e rochas e de suas características químicas. Em função dos mecanismos predominantes de atuação, são normalmente classificados em *intemperismo físico e intemperismo químico*. Quando a ação (física ou bioquímica) de organismos vivos ou da matéria orgânica proveniente de sua decomposição participa do processo, o intemperismo é chamado de *físico-biológico ou químico-biológico*, (TEIXEIRA et al. (2003).

### 2.5.1. INTEMPERISMO FÍSICO

O intemperismo físico, também denominado desagregação física, é um processo que causa essencialmente cominuição (fragmentação) “in situ” da matriz da rocha, sem que haja qualquer mudança em sua composição química. Os agentes que podem causar

a desagregação física são vários: variações de temperatura, alívio de tensões, gelo e degelo, umidecimento e secagem, etc. (MARQUES, 1998).

O intemperismo físico atua pela desintegração física e mecânica das rochas, promovendo um aumento da superfície específica das partículas minerais, sem modificações na sua estrutura cristalina. As rochas, por serem formadas por minerais com diferentes coeficientes de expansão, submetidas a ciclos de aquecimento, pela radiação solar, e resfriamento, dão origem a tensões diferenciadas que conduzem ao fissuramento e às desagregações. Isto tende a ocasionar tensões laterais, que poderão contribuir para o fenômeno do desprendimento das camadas superficiais da rocha, fenômeno denominado **esfoliação**, muito comum em rochas graníticas de regiões de clima tropical, (ABGE, 1998).

Os principais fatores que controlam o intemperismo físico para as rochas metamórficas são: a existência de descontinuidades tais como fraturas (incluindo aquelas relativas a alívio de tensões), falhas, foliação; a desagregação em função da secagem e umidecimento sob condições atmosféricas (“slaking”); e a expansão de argilominerais de camadas mistas e de camadas expansivas.

Não se pode ignorar a importante ação desagregadora promovida pelas espécies vegetais de raízes profundas, que ao penetrar nos vazios existentes nas rochas, provocam a ampliação de fendas e, por vezes, deslocamento de blocos rochosos e desagregações.

Segundo BUCKMAN e BRADY (1968), tais influências, como também as exercidas pelos animais, assumem maior importância na transformação dos materiais originários, quando comparadas com os efeitos físicos da água, do gelo, do vento e das variações de temperatura.

### 2.5.2. INTEMPERISMO QUÍMICO

O intemperismo químico tem como condição fundamental, a presença de água e temperatura, favorável ao desenvolvimento das reações, transformando os minerais primários, da rocha original, em minerais secundários, que passam a constituir um complexo de alteração, ABGE (1998).

O ambiente da superfície da Terra, caracterizado por pressões e temperaturas baixas e riquezas de água e oxigênio, é muito diferente daquele onde a maioria das rochas se formaram. Por este motivo, quando as rochas se afloram à superfície seus

minerais entram em desequilíbrio e, através de uma série de reações químicas, transformam-se em outros minerais, mais estáveis nesse novo ambiente, (TEIXEIRA et al. (2003).

O intemperismo químico, por sua vez, promove a decomposição química dos minerais constituintes das rochas transformando-os em minerais secundários, estáveis ou não. Estes, quando do grupo dos argilominerais expansíveis (montmorilonitas), contribuem para o aumento do intemperismo físico (fissuras e/ou fraturas) e conseqüentemente dos ataques químicos em geral.

Entre os vários processos de alteração química das rochas, a hidrólise é o mais importante. Esta importância se revela, principalmente, em regiões de clima tropical e subtropical, como é o caso do nosso país. A hidrólise atua, principalmente, em rochas cristalinas pela reação de íons  $H^+$  e  $OH^-$ , dissociados em água, com os íons de elementos minerais. Sua ação varia, consideravelmente, segundo as condições do meio, principalmente do clima, ABGE (1998).

Segundo FOOKES et al. (1988.), em uma escala de tempo relacionada com a vida útil de uma obra de engenharia, os processos de decomposição química mais importantes são, os de oxi-redução e dissolução.

## **2.6. ALTERAÇÃO**

Os principais tipos de alteração que afetam as rochas são a alteração deutérica, ou primária, e a alteração meteórica ou intempérica. O primeiro tipo ocorre em ambiente endógeno enquanto que o segundo na dependência da hidrosfera e atmosfera, em ambiente exógeno, ABGE (1998).

Para a Geologia de Engenharia, a alteração intempérica é a mais importante dada a ação dos processos intempéricos, favorecendo a diminuição da resistência mecânica, o aumento da deformabilidade e a modificação das propriedades de permeabilidade das rochas, ABGE (1998).

Pode-se definir alteração como sendo o conjunto de modificações físico-químicas a que as rochas se encontram submetidas, que conduz à degradação de suas características mecânicas. Para um mesmo tipo litológico, a rocha se mostra menos resistente e mais deformável, quanto mais avançada a alteração, o que permite reconhecer estágios ou graus de intensidade da manifestação do processo, ABGE (1998).

O índice de alterabilidade expressa a taxa da variação da alteração de uma determinada rocha no tempo. Esta velocidade é influenciada pelos tipos de minerais que compõem a estrutura cristalina da rocha em questão, visto que, quanto maior a diferença entre as condições de formação de um mineral e suas condições na superfície terrestre, maior será a facilidade de alteração. Isto ocorre porque a tendência de todo mineral é de se estabilizar físico-quimicamente, através de adaptações às novas condições ambientais a que estão expostos.

A avaliação desta propriedade pode ser realizada, através de ensaios de difratometria de raios-X, microscopias eletrônicas e da análise petrográfica macro e microscópica que possibilitam identificar a presença de certos minerais, tais como argilominerais expansivos, pirita, calcita, etc.

De modo indireto, outra forma de se avaliar a alterabilidade de uma amostra é através da realização de ensaios específicos, em que as reações intempéricas (físicas e/ou químicas) são aceleradas por meio de catalisadores. Dentre os principais ensaios pode-se destacar:

- ✓ Ciclagem natural
- ✓ Ciclagem com etileno-glicol
- ✓ Ciclagem água-estufa
- ✓ Ciclagem via extrator soxhlet

Na Figura 2.4 apresentam-se exemplos de amostras de rocha básica intrusiva após ciclagem artificial em água-estufa realizada no LEC/UFV.



Figura 2.4: Amostras após ciclagem em água-estufa.

Segundo AZEVEDO e MARQUES (2002), o índice de alterabilidade está diretamente relacionado ao grau de intemperismo da rocha e indica a tendência de desagregação da mesma. Este índice é bastante útil, por oferecer uma faixa relativa de durabilidade da rocha.

### 2.6.1. COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO EM FACE DA ALTERAÇÃO

Os processos intempéricos causam, em maior ou menor intensidade, a deterioração das características (propriedades) geotécnicas de maciços rochosos. As rochas desenvolvem perfis de intemperismo, os quais dependem de fatores intrínsecos à rocha (litologia, textura, estruturas, mineralogia, etc.) e de fatores extrínsecos – clima, drenagem, etc. (Marques, 1992). É comum, ao longo destes perfis de intemperismo, as rochas apresentarem variações em suas propriedades geomecânicas. Essas mudanças incluem, por exemplo, reduções na resistência e aumento da deformabilidade e do conteúdo de água, com elevação do intemperismo.

### 2.6.2. PERFIS DE INTEMPERISMO

O intemperismo é o conjunto de modificações de ordem física e química que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da Terra e este processo é controlado principalmente pelo clima, TEIXEIRA et al. (2003).

A pedogênese (formação do solo) ocorre quando as modificações causadas nas rochas pelo intemperismo, além de serem químicas e mineralógicas, tornam-se sobretudo estruturais, com importante reorganização e transferência dos minerais formadores do solo entre os níveis superiores do manto de alteração, TEIXEIRA et al. (2003).

O intemperismo e a pedogênese levam à formação de um perfil de alteração ou perfil de solo. O perfil é estruturado verticalmente, a partir da rocha fresca, na base, sobre a qual formam-se o saprolito e o *solum*, que constituem juntos, o manto de alteração ou regolito. Os materiais do perfil vão se tornando tanto mais diferenciados com relação à rocha parental em termos de composição, estruturas e texturas, quanto mais afastados se encontram dela, TEIXEIRA et al. (2003).

Sendo dependentes do clima e do relevo, o intemperismo e a pedogênese ocorrem de maneira distinta nos diferentes compartimentos morfo-climáticos do globo, levando à formação de perfis de alteração compostos de horizontes de diferente espessura e composição.

A atuação de processos intempéricos origina os perfis de intemperismo, que mostram a gradação progressiva em direção à superfície: rocha sã, rocha pouco alterada, rocha medianamente alterada, rocha muito alterada e solo residual.

A Tabela 2.1, apresenta o esquema de classificação e descrição de maciços rochosos intemperizados, segundo a ISRM (1981b).

Tabela 2.1 - Esquema de classificação e descrição de maciços rochosos intemperizados, segundo a ISRM (1981b)

TERMO	DESCRIÇÃO	CLASSE
SÃO	Nenhum sinal visível de alteração da matriz; possível leve descoloração ao longo das descontinuidades principais.	I
LEVEMENTE INTEMPERIZADO	Descoloração indica intemperismo da matriz da rocha e de superfícies de descontinuidade. Toda a matriz da rocha pode estar descolorida pelo intemperismo e pode estar algo mais branda externamente do que na condição sã.	II
MEDIANAMENTE INTEMPERIZADO	Menos da metade da matriz da rocha está decomposta ou, desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida presente, formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	III
ALTAMENTE INTEMPERIZADO	Mais da metade da matriz da rocha está decomposta e, ou, desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente, formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	IV
COMPLETAMENTE INTEMPERIZADO	Toda a matriz da rocha está decomposta e, ou, desintegrada à condição de solo. A estrutura original do maciço está, em grande parte, preservada.	V
SOLO RESIDUAL	Toda a rocha está convertida em solo. A estrutura do maciço e da matriz da rocha está destruída. Há grande variação de volume, mas o solo não foi significativamente transportado.	VI