



**UNIVERSIDADE DE COIMBRA FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA**

Departamento de Ciências da Terra

**A Alteração de Rochas Graníticas e dos Doleritos na
Área da Mapunda (Lubango - Angola)**

Bonifácio da Costa Salvador António

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS – AMBIENTE E ORDENAMENTO

Orientador científico:

Prof. Doutor António Luís Saraiva *

* Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

2016

Agradecimentos

Um trabalho de fim de curso, independentemente da área científica a que esteja virado para a sua prossecução, envolve sempre uma série de sensibilidades, desde instituições até pessoas individuais. Para o meu caso não foge a regra.

Nesta ordem de ideias, quero em primeiro lugar agradecer ao Pai Celestial Jeová pela sua oferta gratuita de energia e capacidade de enfrentar e superar obstáculos;

À minha companheira e esposa pelo sacrifício, paciência e apoio que sempre me dedicou.

Aos meus filhos pelo amor que tenho por eles. Aos meus irmãos, irmãs, primos e cunhados pela força, carinho e encorajamento. Aos meus amigos e colegas agradeço pelo espírito de solidariedade que sempre demonstraram.

Ao meu orientador científico, Professor Doutor António Luís Saraiva, os meus sinceros agradecimentos, pela sua paciência e compreensão.

Do mesmo modo gostaria de endereçar os meus agradecimentos a todos os professores, do Departamento de Ciência da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e aos colegas que comigo partilharam momentos inesquecíveis e que ficarão para sempre na minha memória.

Resumo

As rochas graníticas nesta região da cidade do Lubango têm mais ou menos 550 Milhões de anos. Os seus afloramentos estão ligados aos levantamentos tectónicos, ao clima (precipitação e ventos), às actividades antrópicas que esta região regista e à grande pressão demográfica.

Segundo Diniz, na zona considerada dominam largamente as formações eruptivas antecâmbrias relacionadas com a aplanagem da bordadura leste. Os materiais rochosos mais abundantes destas formações são os granitos, em geral de colorações rósea ou pardacenta e de textura granular associados a granitos porfiróides, há ainda a assinalar os granodioritos e os dioritos com ou sem quartzo.

Com o afloramento destas rochas graníticas, as alterações, quer química quer física (meteorização) são constantes. Os fatores dominantes que controlam o modo como essa alteração evolui são a precipitação e a temperatura média (Ollier, 1984 citado por Gomes et al.).

Com base no trabalho de campo, os dados obtidos através de estudo dos parâmetros da fraturação, notou-se que existe diferença no padrão de diaclases, já que os afloramentos graníticos apresentam-se de forma diferentes, principalmente na pedreira da Mapunda, que foi sujeita exploração como consequência dos blocos graníticos desmontados

O maciço granítico na estação um são de grão fino, médio e grosseiro, mas na estação dois rochas graníticas de grão médio e doleritos.

A formação do perfil do solo como resultado da meteorização da rocha mãe, pode evidenciar-se horizontes, segundo a classificação de Moye, apresentando seis graus; VI – solo granítico, V – meteorização completa, IV – alta meteorização, III – meteorização moderada, II – fraca meteorização e I – rocha mãe não alterada.

Os granitos têm grande utilidade, não só para construção, como para ornamentação, pavimentação, assentamento de estrutura de barragem e depois de alterada e transformado em solo, serve para fabricação de tijolo de argila (adobe).

Na área de estudo, que situa-se entre NW/N da cidade, é rica em vegetação porque existe um micro clima, diferenciado com a parte sul da cidade, relativamente à quantidade de precipitação, daí explica-se a intensidade de meteorização física e química que as rochas graníticas estão sujeitas. Com resultado da meteorização, as rochas são fracturadas e transformadas em rochas sedimentares, onde o perfil do solo é diferenciadamente visível.

Palavras-chave: Mapunda, granitos, doleritos, meteorização física e química, classificação da alteração.

Abstract

The granites rocks in this region of Lubango city have at least 550 Ma, its appearance in outcrops is due to tectonic uplift, weather (precipitation and winds), also by human activities linked to huge demographic expansion.

Those granitic rocks exposed at surface are subject to constant chemical and physical weathering. The main factors responsible for those changes are precipitation and average temperature (Ollier, 1984).

The granite massif at the station one are fine-grained, medium and coarse, but at the station two medium-grained granitic rocks and dolerite.

The formation of the soil profile as a result of the bedrock weathering, is formed by the horizon, according to Moya classification, with six degrees; VI - granitic soil, V - complete weathering, IV - High weathering, III - moderate weathering II - weak weathering and I - bedrock.

The granites are useful not only for construction, and for ornamentation, paving, laying the dam structure settlement and then altered and transformed into soil, serves to clay brick manufacturing (Adobe).

In the study area that is located at NW-N of the Lubango city, the vegetation is abundant because of the weather condition (more precipitation), wich does not occur in the south. This is the reason why the weathering in granites rocks is more intense in the North part of the city. As a result of weathering the rock are fractured and converted into sedimentary rocks, where the soil profile is visible.

Keywords: Lubango, Mapunda, granites, dolerites, physical and chemical weathering, weathering classification

INDICE

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
1. Introdução	1
2. Enquadramento Geomorfológico e Geológico	5
2.1. Enquadramento Geomorfológico.....	5
2.2. Enquadramento Geológico.....	8
3. A Alteração em Rochas e Maciços Rochosos. Classificação da Alteração em Rochas e Maciços Rochosos	12
3.1. Introdução	12
3.2. A Alteração Química	13
3.3. A Alteração Física	14
3.4. Taxas de alteração	15
3.5. Efeitos da alteração	15
3.6. Classificações da alteração	16
3.6.1. Introdução à classificação	16
3.6.2. Necessidade de classificações	17
3.6.3.1. Pré-1970	19
3.6.3.2. As tentativas de padronização em 1970-1977	23
3.6.3.3. Tentativas de padronizar, pós-1977	27
3.6.4. Princípios da classificação	31
3.6.4.1. Introdução	31
3.6.4.2. Escala do material.....	32
3.6.4.3. À escala do maciço.....	32
3.6.4.4. Critérios para a descrição dos maciços	32
3.6.4.5. Descrição das rochas alteradas.....	34
3.6.5. Outras Classificações	42
3.6.6. Descrição da alteração do maciço rochoso	46
3.7. A Alteração das Rochas Graníticas e dos Doleritos.....	47
4. Trabalho de Campo.....	49
4.1. Introdução	49
4.3. Estudo da Fraturação	57

4.3.1. Atitude ou orientação.....	57
4.3.2. Espaçamento	59
4.3.3. Continuidade	60
4.4.4. Rugosidade.....	62
4.4.5. Abertura e Preenchimento	63
5. Conclusões	68
7.Referências Bibliográficas	70

1. Introdução

1.1. Enquadramento e localização geográfica da província e do Município do Lubango

O presente trabalho realizou-se na área da cidade de Lubango que constitui o principal centro populacional e comercial da província da Huíla localizada no sudoeste de Angola (figura 1.1) e designada de distrito de Sá da Bandeira, até 1975. Esta é composta por 14 municípios e limitada pelos paralelos $13^{\circ}15'$; $16^{\circ}30'$ Sul e pelos meridianos $13^{\circ}30'$; 16° Leste, possui uma área de 78 879 km² e uma população estimada em 2,6 milhões de habitantes. A província da Huíla é interior (não apresenta contacto com o Oceano Atlântico) e a maior parte do seu território situa-se a uma altitude superior a 1000 metros.

O seu município sede é o Lubango, situado entre as latitudes de $14^{\circ} 22'$ e $15^{\circ} 26'$ S e as longitudes de $13^{\circ} 30'$ e $14^{\circ} 31'$, com uma superfície de aproximadamente 3140 km² de extensão, que corresponde a 0,64% do território angolano. Estando aproximadamente a 1790 metros acima do nível do mar, a cidade do Lubango é considerada como a mais alta do território de Angola. Possui um clima tropical de altitude tipo Cwb por consequência de sua própria altitude que o modifica. Durante o dia as temperaturas são elevadas, mas à noite são consideravelmente mais baixas. Com uma temperatura média anual de 18°C é provavelmente a cidade com o clima mais ameno e temperado de Angola. Anualmente é comum a ocorrência de extremos de 1°C até 34°C. Junho e julho são os meses mais frios, com eventuais geadas. As chuvas mais intensas ocorrem geralmente entre dezembro e março, os meses mais quentes são setembro, outubro e novembro. Em zonas de alta altitude, como a serra da Leba e serra da Chela, as temperaturas podem baixar bruscamente de 10°C a -5°C durante a noite.

No município do Lubango estima-se haver uma população que ronda os 1.414.000 habitantes, que se repartem nas suas quatro comunas, designadamente Hoque, Arimba, Quilemba e Huila. O trabalho foi realizado no município sede desta província onde se situam as estações de observação, junto da estrada Lubango-Tundavala.

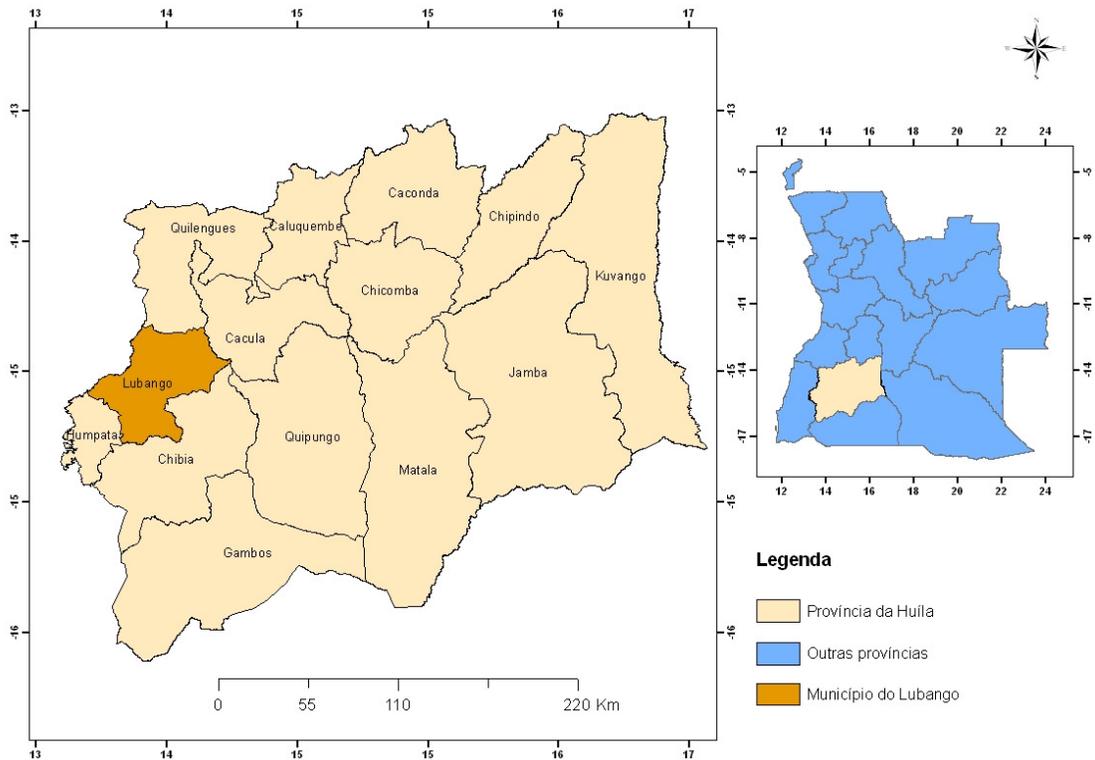


Figura 1.1. Localização geográfica da província da Huíla e do município do Lubango (Sinfic, 2015).

1.2. Natureza e Âmbito do Trabalho

O trabalho ora apresentado foi desenvolvido nas imediações da cidade do Lubango, mais especificamente na área da Mapunda e junto à estrada que leva à designada fenda da Tundavala e que se situa a NW/N da cidade do Lubango. O trabalho centra-se no estudo sobre as rochas graníticas e os solos graníticos em Angola e aborda a caracterização geotécnica e sua importância. As áreas em questão distam a 5 e 10 km, respetivamente da cidade do Lubango, no bordo sudeste da montanha do planalto da Chela.

1.3. Objetivos do Trabalho

Com base no trabalho que se propõe realizar e para atingir os objetivos principais, definiram-se os seguintes:

- 1 - Fazer o reconhecimento geológico da área com base na cartografia existente;

- 2 - Realizar trabalhos de campo para aquisição de dados geológicos;
- 3 - Verificar e estudar a alteração das rochas e dos maciços rochosos;
- 4 - Verificar e estudar a alteração das rochas graníticas e os perfis de alteração;
- 5 - Estudar a morfologia de alteração; verificar a influência da fracturação na alteração;
- 6 - Fazer a classificação geotécnica das rochas graníticas e dos solos resultantes;
- 7- Realizar o estudo das características geotécnicas da rocha em estudo antes da sua alteração e indicar o potencial de utilização e dos solos graníticos
- 8 - Analisar e interpretar os dados obtidos e estudar a viabilidade do granito.

1.4. Metodologias do trabalho

Para atingir os objetivos propostos, foram desenvolvidas as seguintes tarefas:

- 1 – Estudo da bibliografia referente a zona de estudo para recolha de dados sobre o maciço da Chela e das rochas e solos graníticos;
- 2 – Trabalho de campo conducente à caracterização da alteração das rochas graníticas e definição das intensidades de alteração;
- 3 – Estudo da influência da fracturação na alteração;
- 4 – Estudo da resistência das rochas em função da alteração.

1.5. Estrutura do Trabalho

Para além do capítulo introdutório, o trabalho é constituído por mais quatro capítulos organizados da seguinte forma:

Capítulo II onde se apresenta o enquadramento geológico e geomorfológico da área de estudo.

Capítulo III que inclui a descrição do trabalho de campo desenvolvido, a análise da alteração das rochas e dos maciços rochosos, focalizando os perfis de alteração, a influência da fracturação na alteração e a descrição dos afloramentos.

Capítulo IV faz-se a classificação geotécnica das rochas graníticas e dos solos resultantes da sua alteração, que inclui a determinação da massa volúmica aparente e porosidade aberta, determinação da absorção da água à pressão atmosférica e verifica-se os tipos de solos.

Por último, no capítulo V analisa-se o potencial de utilização das rochas e dos solos graníticos, baseando-se nos tipos e na classificação das rochas graníticas e sua importância e divulga-se os resultados obtidos.

2. Enquadramento Geomorfológico e Geológico

2.1. Enquadramento Geomorfológico

O estudo em causa é realizado na província da Huíla, sul de Angola, precisamente na cidade do Lubango, na área da Mapunda e junto a estrada direcionada à fenda da Tundavala, segundo o mapa da figura 2.1. As áreas em referência localizam-se na bordadura Este, do nível inferior da classificação de Jessen e que faz parte duma antiga peneplanície que se teria formado durante o Jurássico. Um apreciável degrau de erosão, que nalgumas zonas assume o aspeto de verdadeira escarpa, por vezes revestida de rocha nua, separa, pois, assim, dentro da área, a região sub-planáltica da planáltica. A primeira região, a sub-planáltica, onde está incluída, a serra da Chela.

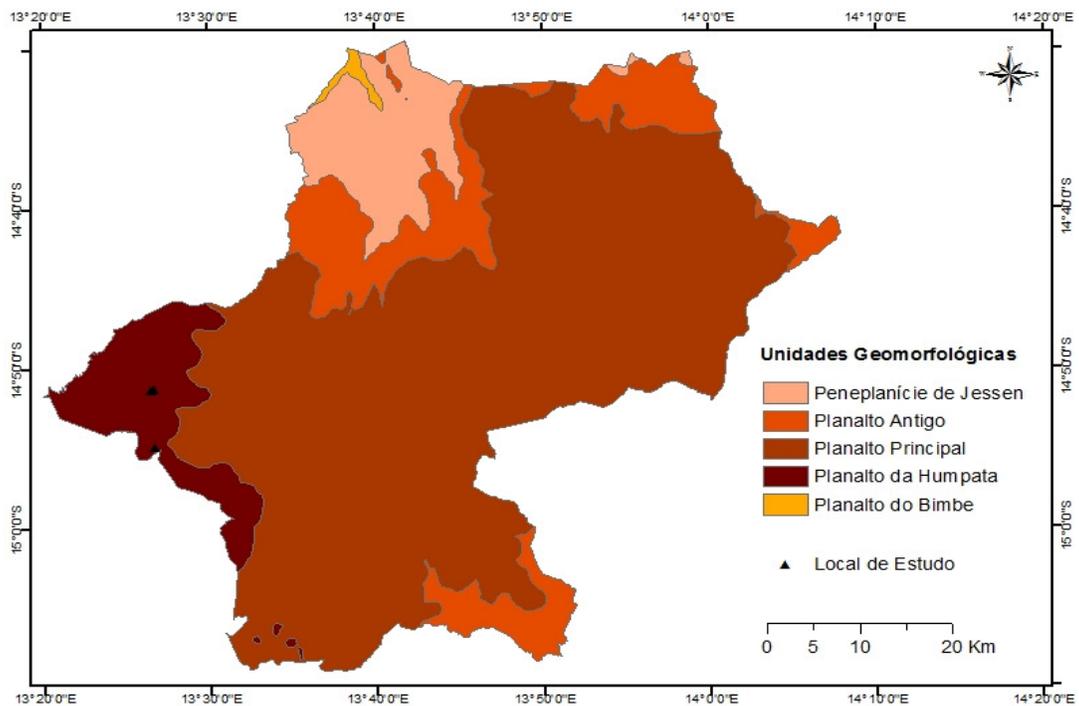


Figura 2.1. Representação das unidades geomorfológicas da área de estudo e sua envolvente (SINFIC, 2015).

Segundo Diniz, a designação regional de serra da Chela é devida à distinção de duas subunidades: uma, a da Humpata (2000 m no topo mais alto) e a outra, a do Bimbi (cotas com 2300 m). Ambas as aplanações se definem por degraus escarpados, sendo mais

expressivo, pela sua extensão, aquele que separa a superfície planáltica inferior, também designada por Planalto Principal, da superfície da Humpata; desta para a pequena superfície do Bimbi, outro alteroso degrau se ergue, com desníveis da ordem dos 100 – 300 m. Portanto, todo este conjunto de escarpas e aplanações toma um aspeto de maciço montanhoso quando contemplado da aplanação inferior, e daí a designação regional da serra da Chela.

O contorno ocidental do planalto da Humpata coincide com a crista do imponente degrau cortado a pique nas formações de quartzitos, o qual marca desníveis máximos da ordem dos 1000 m para a superfície de sopé, que se estende para o litoral, a conhecida Serra Abaixo. A imponente escarpa tem continuidade para além da Serra da Chela, tanto no sentido norte, como no sentido sul, conduzindo diretamente do planalto principal para o nível inferior, correspondente ao da Serra da Chela (Diniz, 2006)

No aspeto morfológico a unidade mais importante, localizada a nível inferior e ocupando extensíssima superfície planáltica, que constitui todo o interior centro e sul de Angola, bem definida por Jessen, trata-se duma superfície muito perfeita, de relevo ondulado suave ou moderado com inclinação gradual e sensível para leste e sudeste (Diniz, 2006)

A província da Huíla é constituída por uma peneplanície com continuidade para o centro de Angola, de um modo geral, a peneplanície apresenta relevo pouco acentuado, observando-se vales abertos e de profundidade reduzida (Feio, 1946). A parte oeste da peneplanície encontra-se limitada por uma cadeia montanhosa, que muitas vezes atinge cotas superiores a 2000 m, como é o caso da elevação nas imediações da cidade do Lubango, que apresenta valores de cerca de 2100 m (Vale, 1971). A cadeia montanhosa é constituída na parte sul pela serra da Chela que corresponde a um maciço montanhoso que vai desde o norte de Lubango até às proximidades do rio Cunene.

As áreas de estudo (Mapunda, na antiga pedreira e junto da estrada direcionada à fenda da Tundavala) estão localizadas a nível inferior do grande levantamento do grupo Chela. As respetivas áreas juntas totalizam uma superfície de aproximadamente 0,5 Km². No bordo sudeste da montanha do planalto da Chela junto da grande cordilheira da serra da Chela com direção Sul/Norte, estas áreas fazem correspondência com a extensa superfície planáltica do interior centro e sul de Angola e apresentam um relevo ondulado suave. As cotas na área considerada atingem valores dos 1400 a 1900 m.

Estando as áreas estudadas (Estação 1 e Estação 2) localizadas junto da cordilheira da serra da Chela, as chuvas são frequentes, cuja época se estende de outubro a abril,

apresentando valores da precipitação média anual que variam entre 1200 mm, a norte e descem abaixo dos 750 mm à medida que se caminha para o sul (Diniz, 2006). A distribuição das chuvas é bastante variável, não só de ano para ano, como ao longo dos meses. Assim, o tipo de vegetação que confere à área é de Miombos.

No aspeto hidrográfico, as Terras Altas da Huíla são dominadas na maior parte da sua área por duas bacias hidrográficas: a do Calonga, sensivelmente na metade N-NE e a do Caculuar na parte restante, ambas pertencentes a bacia do Cunene. Fica de fora a bordadura confinante com a grande escarpa da Chela e que drena diretamente para o litoral, convergindo as águas para o rio Bero, Giraul e Bentiaba, que correm na superfície da Serra Abaixo. Por sua vez, a faixa limítrofe nordeste corresponde às cabeceiras das bacias do Coporolo e do Qué (Diniz, 2006).

As superfícies são recortadas por certas densidades de linhas de águas, que definem vales largos e pouco profundos, as características “mulolas” do sul de Angola, a maioria das quais apenas transportam água na época chuvosa, quando não são apenas de regime torrencial. Convergem para os rios principais de ambas as bacias hidrográficas referidas, os quais mantem o caudal no período seco, mas bastante reduzido. (Diniz, 2006).

A bacia do Caculuar, não só pelo curso principal, mas também pelos seus afluentes que nascem no Planalto da Humpata (Tchimpumpunhime e Huíla) e a bacia do Lubango (Capitão, Mucufi e Mapunda), tiveram influência marcante na ocupação agrícola de tipo empresarial, mas com moldes familiares, que desde longa data foi atraída e se fixou nas Terras Altas da Huíla.

A bacia de Calonga, cuja ocupação agrícola empresarial é de mais recente data (área do Hoque), corresponde a um regime hídrico menos irregular do que a do Caculuar: Os cursos de águas, mesmo os mais modestos, mantêm caudais por períodos dilatados, quando não até, caudais permanentes (Diniz, 2006).

Faz-se referência sobre diferentes bacias, tanto no interior, como nas zonas mais afastadas da cidade do Lubango, porque a erosão hídrica é bastante acentuada, particularmente, nesta região, onde põe-se a aflorar as rochas á superfície, e no período seco, elas começam a meteorizar-se por causa também da grande amplitude térmica, que a região experimenta.

Atualmente algumas bacias, como a da Humpata e a de Lubango, deixaram de ser áreas agrícolas empresariais e foram substituídas por áreas habitacionais. Isto deu-se por causa

da insegurança, nas áreas rurais, motivada pela guerra, o que originou o êxodo das populações das áreas agrícolas próximas das zonas urbanas.

A serra da Chela a partir do Lubango tem uma extensão de pouco menos de 500 km até ao extremo norte da região de Benguela e apresenta uma altitude de mais de 2280 metros. Por isso a sua grande influência climática que exerce às localidades que a circundam, com as chuvas intensas, embora num período de tempo de 4 a 7 meses.

2.2. Enquadramento Geológico

No que se refere à geologia, a serra da Chela (Pereira et al., 2011) é composta por uma diversidade de rochas graníticas, que, em alguns locais, ultrapassa os 1000 metros de espessura, assente em inconformidade nos granitos, granodioritos e dioritos milonitizados e cataclados, de idade uberniana (2100 a 100 Ma; Turkato et al., 1970, citado por Kalei).

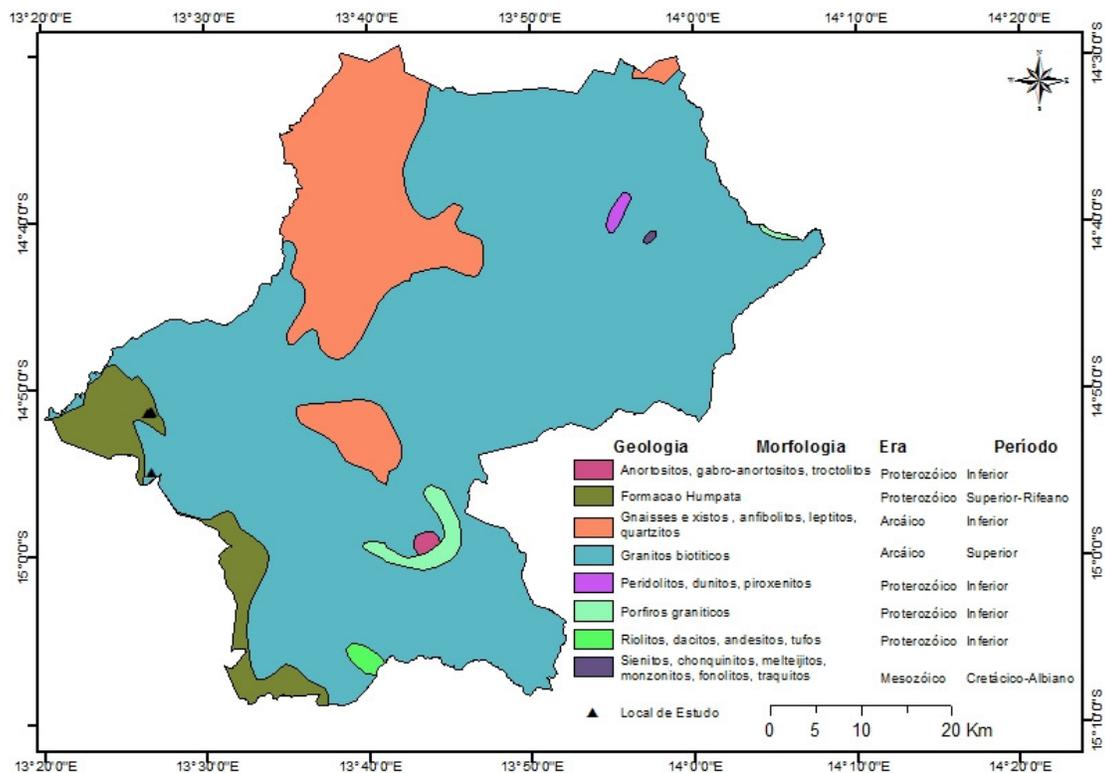


Figura 2.2. Esboço geológico e litológico do Município do Lubango (SINFIC, 2015).

Os granitos e migmatitos são as rochas que fundamentalmente constituem o substrato da área em estudo (Vale, 1971).

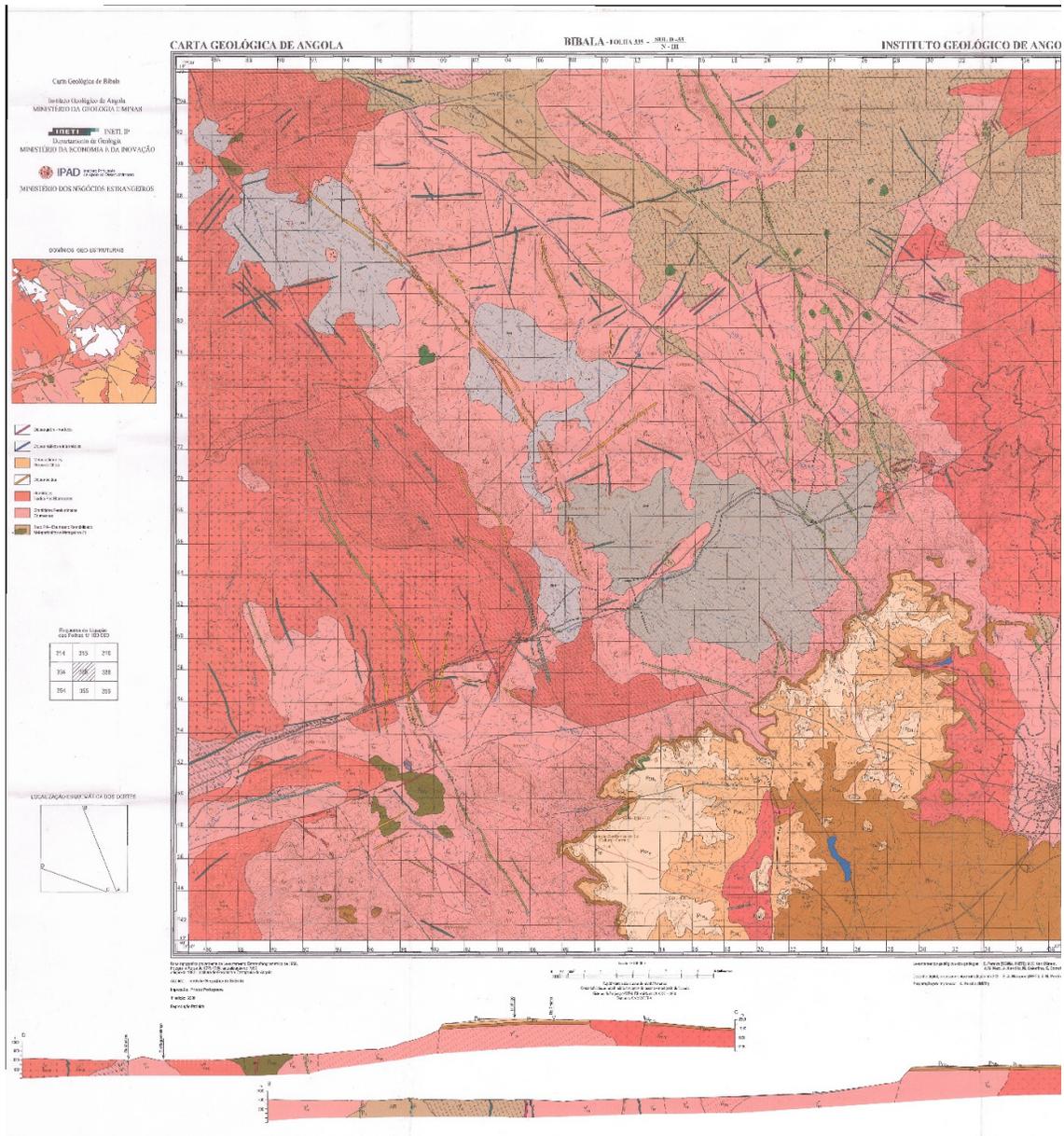


Figura 2.3. Carta geológica de Angola, à escala 1/100000, Folha nº 335, Bibala (Instituto Geológico de Angola).

Sendo o granito a rocha que ocupa a maior parte da área, ela apresenta, porém, consoante a sua situação, variações tanto texturais como mineralógicas, representadas por granodioritos e granitos porfíridos.

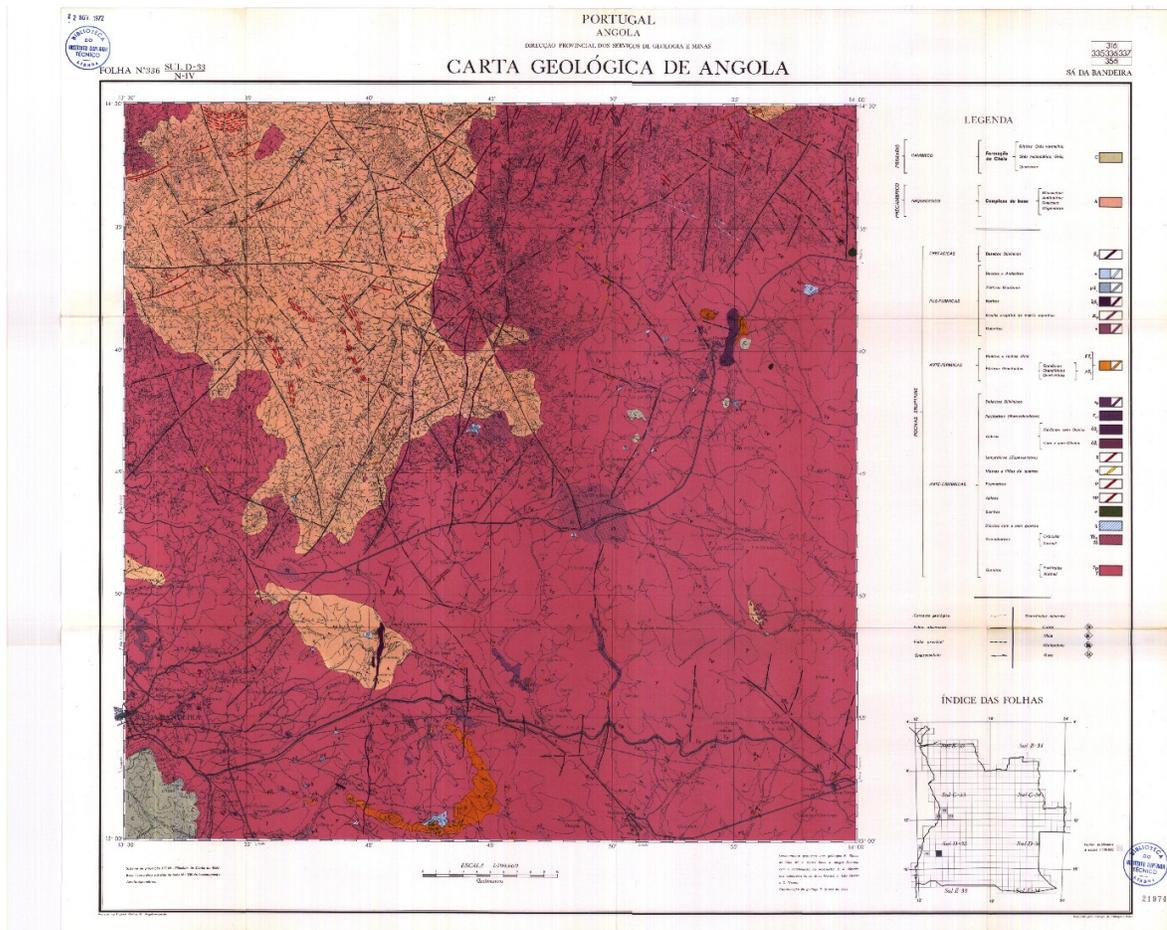


Figura 2.4. Carta geológica do Lubango (Ex Sá da Bandeira) (Angola), à escala 1/100000, nº 336 (Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas, 1971).

Na zona considerada, segundo a figura 2.2, dominam largamente as formações eruptivas antecâmbrias, relacionadas com a aplanção inferior. Os materiais rochosos mais abundantes destas formações são os granitos, em geral de colorações rósea ou pardacenta e de textura granular associados a granitos porfíróides. Há ainda a assinalar diversas outras formações, também consideradas como antecâmbrias, entre as quais os granodioritos, que ocorrem em diversas manchas importantes, os dioritos, com ou sem quartzo, também bastante representados, os sienitos e, por último, a mancha conjunta dos gabros e anortositos. Os gabros e anortositos, além de outras rochas básicas, com elas relacionadas, afloram na bordadura limítrofe este e sudoeste, ligando-se à extensa mancha do complexo gabo-Anortosítico do sudoeste de Angola (Vale, 1971).

Ainda admitidas como antecâmbrias há a referir diversas outras rochas eruptivas, normalmente com modo de jazida filoniano, que estão largamente representadas no seio

das formações do maciço antigo, entre os quais doleritos olivínicos, pegmatitos, aplitos e lamprófiros, sendo também frequente a ocorrência de massas de filões de quartzo.

Entre as rochas eruptivas há ainda a considerar as ante pérmicas e as pós-pérmicas. As primeiras são intrusivas nas formações eruptivas antecâmbrias e compreendem especialmente pórfiros graníticos e quartzíticos, além de ocorrência nalguns locais de riolitos e rochas afins.

Das rochas pós-pérmicas, as mais representativas são os doleritos sem olivinas, que afloram em extensões apreciáveis no Planalto da Humpata, no seio da formação da Chela, principalmente dos calcários dolomíticos, e ainda ocorrem profusamente em filões no nível planáltico inferior ou em extensas soleiras postas a descoberto pela erosão (Vale, 1971).

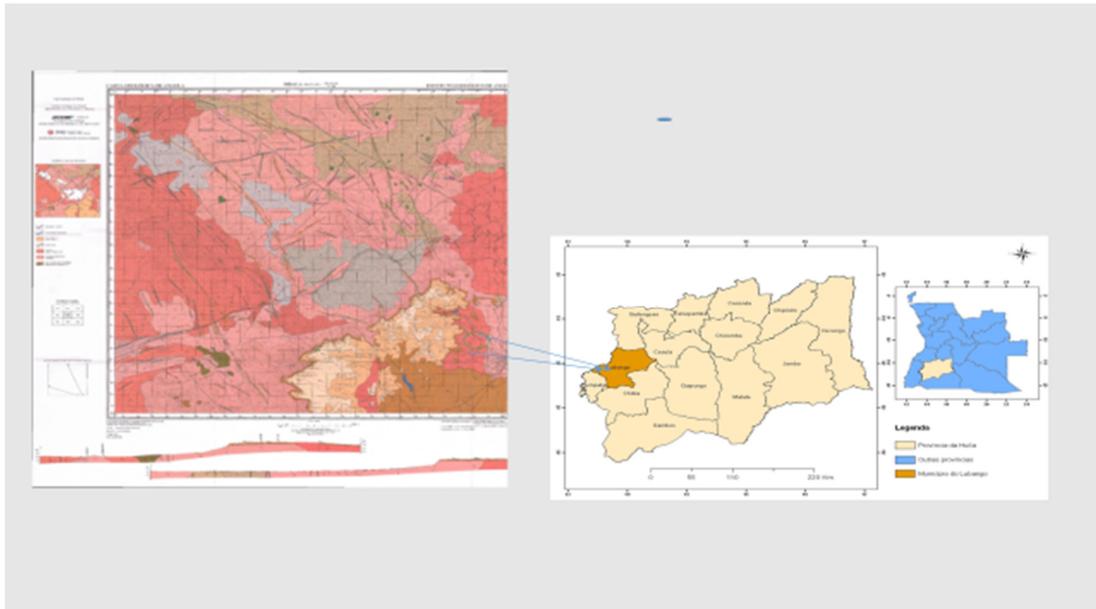


Figura 2.5. Carta geológica e Localização geográfica da província da Huíla e do município do Lubango com projeção da área de estudo.

3. A Alteração em Rochas e Maciços Rochosos. Classificação da Alteração em Rochas e Maciços Rochosos

3.1.Introdução

Nos estudos desenvolvidos pelo “Working Party da Geological Society” que foi publicado em 1989, referiu-se que:

- a) Diferentes litologias alteram de modo muito diferente sob ação das mesmas condições climáticas
- b) A heterogeneidade da litologia ou as diáclases penetrativas ou falhas podem originar o aparecimento de perfis ou afloramentos com alterações complexas
- c) As rochas alteradas são difíceis de classificar, a não ser que estejam presentes a rocha sã, particularmente em rochas pouco resistentes.
- d) Tentativas têm sido feitas para aplicar a mesma classificação da alteração em todas as situações, mesmo que não seja claramente aplicável a determinado tipo de rochas
- e) As rochas alteradas são muitas vezes classificadas recorrendo a uma série de termos sem definição das fontes.
- f) As classificações mais amplamente utilizadas baseiam-se em critérios simples de observação ou resistência.
- g) Não se defende a utilização de índices petrográficos ou geoquímicos.

A alteração origina a degradação de materiais rochosos e terrosos que existem à superfície da crosta terrestre através da decomposição química e desintegração física. Os processos biológicos, que têm uma influência significativa no nível de tensão e nas condições químicas existentes, também contribuem para o desencadear e progressão alteração.

O processo de alteração e a natureza dos produtos que se formam na sequência da alteração são fortemente influenciados pelo clima e litologia. Assim, um determinado tipo de rocha que altera, nos trópicos, principalmente por ação da decomposição química pode, em condições de ambientes mais temperados, dar origem a materiais significativamente diferentes. Da mesma forma, diferentes tipos de rocha podem reagir de maneira muito diferente às mesmas condições ambientais.

Os mecanismos conducentes a uma alteração física e química atuam, geralmente, em conjunto. O progresso da alteração por processos essencialmente químicos desenvolve-se nas fraturas abertas ou parcialmente com o contributo da alteração física.

Do mesmo modo, as fraturas podem desenvolver-se em resposta a variações volumétricas e ao enfraquecimento induzidas pela alteração essencialmente química. Pode haver pouca vantagem na tentativa de separar os efeitos dos contributos das ações químicas e físicas. Os controlos dominantes sobre o modo de alteração são a precipitação e temperatura média (Ollier, 1984).

3.2. A Alteração Química

Os principais processos de alteração química dependem da presença de água, tal como ilustrado esquematicamente na figura 3.1. A suscetibilidade das rochas à ação química depende da composição mineralógica (Curtis, 1976) e textura, bem como da presença de fraturas. Em termos gerais, a suscetibilidade à alteração química aumenta com o decréscimo do tamanho do grão, com a maior porosidade e a maior permeabilidade.

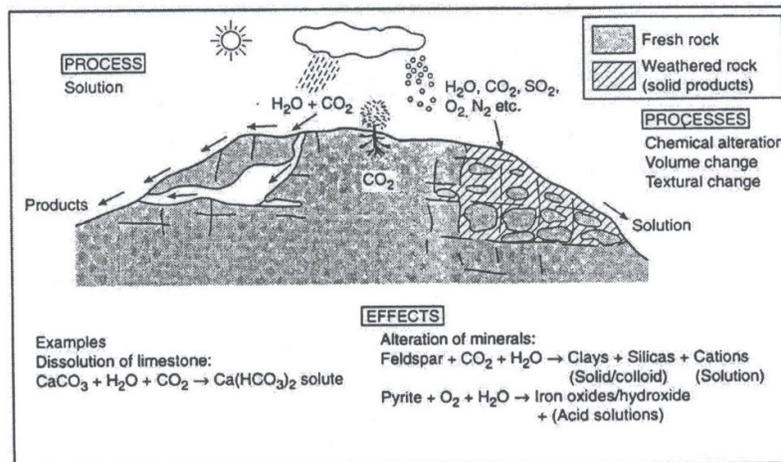


Figura 3.1. Processos de alteração química (Anon, 1995).

Embora o material produzido “in situ” por alteração química possa parecer um solo, as suas propriedades irão diferir significativamente das de um solo transportado com uma composição semelhante.

3.3. A Alteração Física

A figura 3.2 apresenta os processos mais importantes conducentes à alteração por processos físicos que levam à desintegração de um maciço rochoso/rocha. A descompressão devida à ação da erosão ou da fusão das camadas de gelo existentes que cobrem, em alguns locais, a superfície da Terra, pode originar a abertura de fraturas incipientes e levar à formação de novas diáclases que se somam às originadas por ações tectónicas, arrefecimento ou outros processos geológicos de longo prazo. As diáclases de escamação tendem a desenvolver-se paralelamente às superfícies de erosão e diminuir de frequência em profundidade. As diáclases verticais e inclinadas também se podem formar como resposta ao alívio de tensões.

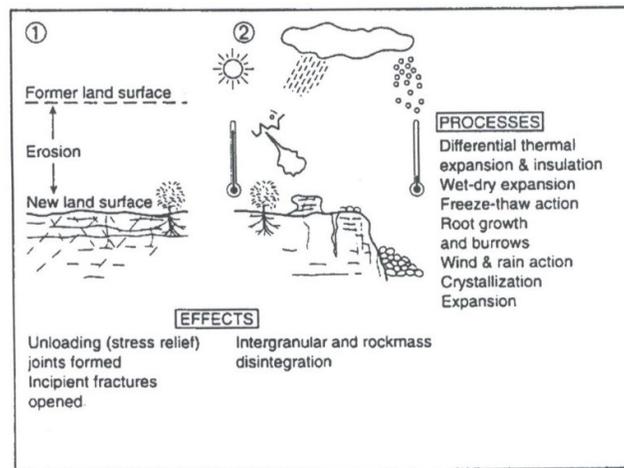


Figura 3.2. Processos de alteração física (Anon, 1995).

A alteração pode libertar energia de deformação armazenada levando ao desenvolvimento, em função do tempo, de fraturas independentemente de quaisquer mudanças externas que ocorram no estado de tensão (Bjerrum, 1967; Brooker, 1967). Novas fraturas podem aparecer e as já existentes podem ser alargadas devido à tensão interna induzida por variações na temperatura ou por variações no volume devido à decomposição química, formação de novos minerais e enfraquecimento geral do material que leve ao colapso sob ação do próprio peso. As solicitações externas, devido aos fenómenos de gelo-degelo, pressão de cristalização, crescimento das raízes, atividades de animais e impacto também podem originar a fragmentação da rocha. Qualquer processo que leve ao aumento de abertura das diáclases aumenta a tensão na rocha adjacente e pode, assim, originar o aparecimento de novas de fraturas. O resultado é da cominuição da rocha por vezes até uma massa constituída por cascalho grosseiro e partículas de areia. Os próprios minerais

podem não mostrar significativa alteração química, se bem que possam, eles próprios, estar fraturados.

As fraturas formadas por ação da alteração física podem assumir uma orientação preferencial refletindo o processo de formação, enquanto os fragmentos delimitados por fraturas muitas vezes são firmemente interligados. Tais maciços rochosos desintegrados, muitas vezes, têm maior resistência do que seria esperado para um solo granular sedimentar. No entanto, uma vez que as amostras indeformadas são difíceis de obter e testar, pode ser difícil de quantificar esta diferença.

A desintegração nem sempre é progressiva e pode não se desenvolver em paralelo com a decomposição química. Em muitas rochas, as fraturas que se desenvolvem nos primeiros estágios de alteração podem ficar preenchidas com argila ou outros produtos resultantes da alteração que aparecem em fases posteriores. As rochas muito alteradas podem, por isso, ser menos friáveis e menos permeáveis que as rochas sãs.

3.4. Taxas de alteração

A velocidade de alteração depende principalmente do tipo de rocha, do clima (precipitação e temperatura) e situação geomorfológica. Além disso, uma rocha muito fraturada com elevada permeabilidade pode alterar muito mais rapidamente que uma outra pouco fraturada.

A alteração que se desenvolve até grandes profundidades desenvolve-se em um intervalo de tempo muito superior ao utilizado em obras de engenharia. Por exemplo, Ruxton (1980) calcula que a alteração de 4 m em Hong Kong pode ter levado 17 000 anos a concretizar-se.

3.5. Efeitos da alteração

As consequências da alteração dependem da mineralogia, microtextura e estrutura da rocha original, bem como do funcionamento dos diversos processos de alteração e erosão (Bell, 1992).

A alteração faz com que o material rochoso fique mais poroso, os minerais individuais fiquem enfraquecidos e as ligações entre os minerais deixem de existir. Os novos minerais podem ser depositados nos poros, nos contornos dos grãos e ao longo das fraturas. A rocha pode tornar-se friável devido ao aparecimento de fraturas entre e dentro de grãos minerais. Os produtos da alteração podem ser removidos (lixiviados) deixando relíquias e uma estrutura altamente porosa de grãos originais. Geralmente falando, a rocha perderá

resistência e tornar-se-á mais deformável e a sua permeabilidade pode mudar, o que depende da natureza da rocha, presença e tipo de produtos de alteração e da fase de alteração. O grau de alteração pode ter reflexo nas mudanças das propriedades índice, como a densidade seca, índice de vazios, teor de argila e velocidade das ondas sísmicas.

A uma escala maior do maciço rochoso, podem formar-se novas fraturas ou incrementar-se as fraturas já existente, as fraturas incipientes podem perder resistência à tração e as paredes das fraturas podem enfraquecer., levando a um decréscimo da resistência ao corte. Como a alteração progride para o interior da rocha a partir da superfície das descontinuidades, o maciço rochoso pode desenvolver uma acentuada heterogeneidade com fragmentos relíquia ou blocos residuais relativamente pouco alterados ou rocha mais resistente “sobrevivente” numa matriz severamente alterada. As cavidades podem ser formadas por dissolução, em particular nas rochas carbonatadas. As características que distinguem as rochas alteradas são a potencial meta estabilidade, dificuldades na obtenção de amostras indeformadas a importância relativa do fabrico primário e secundário dos produtos de alteração nas várias fases e a sua heterogeneidade e complexidade, especialmente ao nível do maciço rochoso. Em todas as escalas, a caracterização geotécnica das rochas alteradas requer atenção especial. Por exemplo, um maciço rochoso profundamente alterado pode comportar-se como uma rocha sob certas condições, com “performances” controladas por estruturas relíquia e “fabric”, enquanto em outras situações pode ter necessidade de ser tratada como sendo um solo.

A abordagem a ser utilizada, portanto, depende da natureza do problema, nível de tensão, escala e, claro, intensidade da alteração.

3.6. Classificações da alteração

3.6.1. Introdução à classificação

O primeiro passo na elaboração de uma determinada classificação tendente a seriar o grau de alteração evidenciado por uma rocha e/ou maciço deverá ser a seleção dos parâmetros ou características que se consideram relevantes.

Os nomes das categorias de alteração (classes) são atribuídos de acordo com um agrupamento predeterminado dos atributos que considerados. Qualquer classificação incorpora um certo grau de simplificação da realidade. Assim, uma classificação deve apenas ser elaborada e aplicada quando se verificar que existe uma clara vantagem na sua elaboração/aplicação. Embora as potenciais vantagens da utilização das classificações

para as rochas alteradas estejam bem definidas, a necessidade de utilizar uma numa situação específica deve ser cuidadosamente ponderada.

A classificação dos solos residuais tropicais adotadas no relatório desenvolvido por Anon (1990) é um exemplo de um processo genérico com a finalidade de facilitar o desenvolvimento de análises geotécnicas numa fase preliminar dos estudos. Dado que a alteração química de uma determinada rocha, sob condições ambientais essencialmente contantes, é um processo progressivo, as fases associadas às modificações geoquímicas podem ser determinadas e, por comparação com o material original, expressá-las de modo quantitativo. Apesar de esta aproximação ser utilizado por alguns autores (Rocha-Filho et al., 1985), a relevância para a geotecnia é incerta. Para além de ser complexa para determinar, as mudanças físicas não são tidas em consideração nestas classificações. Uma multiplicidade de classificações da alteração têm sido desenvolvidas ao longo dos anos para efeitos de geotecnia e, na generalidade das situações, são frequentemente refinadas, em data e/ou datas posteriores, quer pelos autores originais, quer por outros investigadores.

Muitos das classificações recorrem ao uso de terminologia comum, para solos ou rochas, de características geotécnicas diferentes. Há um grau de uniformidade nas normas muito utilizadas, como as da BS5930:1981 (Anon 1981b), Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (Anon, 1981 d), Associação Internacional de Geologia de Engenharia (Anon, 1981c). Deve, no entanto, referir-se que os métodos recomendados são considerados por muitos autores como sendo demasiado simplistas, e muitas vezes inadequados, e por isso, a necessitar de revisão (Cragg & Inma, 1995).

3.6.2. Necessidade de classificações

Muitos autores são da opinião de que uma descrição geotécnica de um maciço rochoso ou terroso que inclua aspetos tais como resistência, fraturas, cor, fabrico e percentagens dos vários materiais alterados (por exemplo blocos residuais) - as suas formas, dimensões e distribuições - englobe a necessidade de classificar a alteração. É também verdade que as classificações são, muitas vezes, difíceis de usar porque inevitavelmente os maciços rochosos apresentam características que podem não se enquadrar nas classificações genéricas consideradas padrão. Não obstante, as principais vantagens das classificações não devem ser menosprezadas.

O objetivo principal para a elaboração de uma classificação de um maciço é fornecer descrições para determinados sectores da rocha com características específicas a que

podem ser atribuídas determinadas propriedades geotécnicas. Isso auxilia na elaboração do projeto e construção e também significa que a experiência entretanto adquirida possa ser transferida para outros projetos ou locais a desenvolver em materiais que exibam características que se possam considerar como sendo similares. Sem o benefício da experiência coletiva adquirida anteriormente seria necessário resolver problemas geotécnicos difíceis cada vez que uma situação nova e particular fosse encontrada. Por exemplo, como se pode determinar a resistência de misturas heterogêneas de materiais resistentes e pouco resistentes de um modo que não seja empírico? Dependendo da natureza do projeto, mesmo que uma classificação recomendada não tenha sido utilizada, o geólogo de engenharia / engenheiro geotécnico pode muito bem ter a necessidade de delimitar zonas com características geotécnicas aparentemente diferentes num determinado maciço em determinado momento.

A descrição do material intacto alterado deve fornecer todas as informações necessárias para definir o comportamento geotécnico, pelo que pode não ser necessário classificar o grau de alteração. As consequências da alteração são tão variáveis para diferentes tipos de rochas (por exemplo granito, calcário e argilito) que uma classificação uniforme à escala da rocha não é viável. No entanto, há várias e boas razões para empregar tais classificações para determinados tipos de rochas, particularmente em casos em que aparecem níveis de alteração mais elevados:

- Em muitos tipos de rocha a alteração resulta em um perfil reconhecível de materiais rochosos com estados progressivamente enfraquecidos. Os processos de alteração envolvidos controlam o desenvolvimento de relíquias e fábricas secundárias e, portanto, o comportamento geotécnico (por exemplo, sob diferentes condições de humidade e em diferentes níveis de tensão). Sem uma apreciação do grau de alteração, a compreensão do comportamento geotécnico será muito mais pobre.
- Os graus de alteração claramente definidos permitem a obtenção de amostras a agrupar para a descrição e elaboração de um modelo geotécnico do material. Os graus de alteração fornecem, muitas vezes, um esquema dentro do qual os resultados dos ensaios podem ser interpretados e relacionados com o comportamento do material.
- Dado que as rochas muito alteradas são muitas vezes sensíveis à deformação durante a amostragem e ensaios, a boa qualidade dos dados dos ensaios geotécnicos pode ser difícil de obter. O quadro de entendimento fornecido por uma classificação funcional baseada em

propriedades de índice pode garantir a utilização ótima das informações disponíveis. Uma boa classificação permite que as propriedades índice determinadas no campo possam ser relacionados com as propriedades geotécnicas. As classificações devem ser fáceis de usar, dar resultados repetíveis e consistentes para diferentes operadores e, finalmente, estar relacionadas com diferenças significativas nas propriedades geotécnicas.

Uma representação esquemática e simplificada da evolução de algumas das classificações desenvolvidas tendentes a seriar o grau de alteração é apresentado na figura 3.3. As principais classificações apresentadas até 1971 foram elaboradas por Deere & Patton (1971) e até 1984 por Martin & Hencher (1986). O desenvolvimento do sistema utilizado pela BS5930: 1981 é descrito por Dearman (1995).

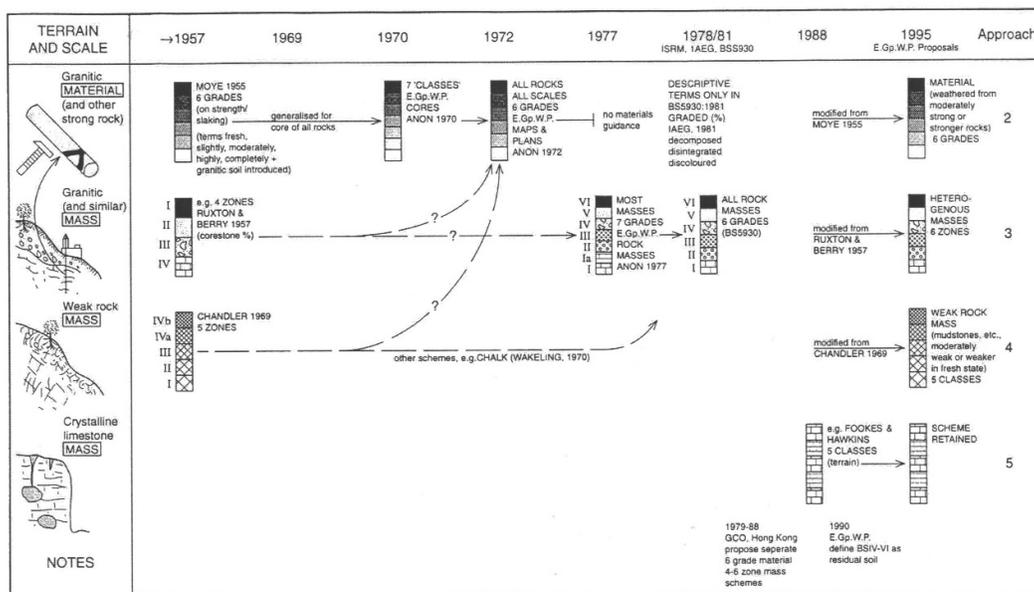


Figura 3.3. Resumo da evolução de várias classificações da alteração (Anon, 1995).

3.6.3. Uma Breve Revisão das Classificações da Alteração

3.6.3.1. Pré-1970

Duas das primeiras tentativas de classificar as rochas alteradas de uma forma que pode ser útil à geotecnia foram apresentadas por Moye (1955) e Ruxton & Berry (1957), em rochas graníticas na Austrália e Hong Kong, respetivamente.

Moye (1955) usou uma classificação com seis categorias em que introduziu termos são, pouco alterado, moderadamente alterado, muito alterado, solo completamente alterado e solo granítico, enquanto Ruxton e Berry identificou quatro zonas referenciadas por numeração romana. Ruxton & Berry (1957) não configuraram a sua classificação

especificamente para uma utilização geotécnica e não se referiram aos trabalhos desenvolvidos por Moye.

Moye desenvolveu a sua proposta de classificação da alteração durante os trabalhos que desenvolveu nas Snow Mountains, na Austrália, de modo a fazer uma classificação tendente a descrever os vários graus de alteração. Moye entendeu que os vários graus de alteração evidenciados pelas rochas graníticas presentes nos afloramentos, escavações e testemunhos de sondagens deveriam ser consistentes quando usados por diferentes pessoas e que também deveriam servir para dar indicações acerca do comportamento geotécnico dos materiais rochosos.

Como já foi indicado, Moye definiu seis categorias de alteração com base na análise dos designados fatores de reconhecimento que são:

A – Rocha com diáclases;

B – Rocha e solo com diáclases;

C – Feldspatos decompostos;

D – Resistência: os testemunhos com diâmetro NX (54 mm) podem ser fragmentados com auxílio da mão;

E – Desintegração em água;

F – Biotite decomposta;

G – Textura original ausente.

Num exemplo descrito, mas não ilustrado por Moye, em um afloramento com uma profundidade de 30 m (Figura 3.4a), verifica-se que a alteração distribuída por quatro categorias diminui em profundidade até ao designado granito são. A transição do granito alterado para o granito são é, muitas vezes, muito rápida. No gnaisse alterado, pelo contrário, a transição para a rocha são foi mais gradual do que a observada no granito. Num furo de sondagem verificou que o gnaisse se apresentava muito a moderadamente alterado a uma profundidade de 46 m e que até aos 88 m apareciam “bandas” de material moderadamente a ligeiramente alterado (Figura 3.4b). Uma tal alternância ilustra a importância da litologia e da estrutura como fatores determinantes na alteração de um maciço rochoso.

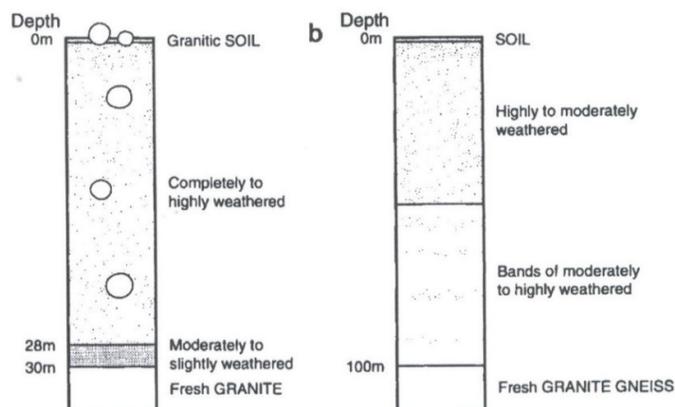


Figura 3.4. Alteração de granitos nas “Snow Mountains”. Baseado em Moye (1955). (Dearman, 1995).

A partir das descrições pormenorizadas fornecidas pelo Moye, Little (1967) apresentou uma proposta de classificação da alteração em seis termos (I-VI) anexados à classificação desenvolvida por Moye, a saber:

- I – São;
- II – Ligeiramente alterada;
- III – Moderadamente alterada;
- IV – Muito alterada;
- V – Completamente alterada;
- VI – Solo granítico.

Os fatores utilizados para o reconhecimento foram:

- A – Diaclases;
- B – Rocha e solo;
- C – Feldspatos decompostos;
- D – Resistência. Saber se os testemunhos com diâmetro NX (54 mm) que podem ser fragmentados com auxílio das mãos;
- E – Desintegração na presença de água;
- F – Biotite decomposta;
- G – Textura original ausente.

No quadro 3.1 apresenta-se a classificação desenvolvida por Little que considerou que ao termo I correspondia um maciço rochoso e que aos restantes (II-VI) o material (rocha/solo). Deve anotar-se que Little introduziu o conceito de relação rocha/solo que foi proposto na classificação desenvolvida por Ruxton & Berry (1957) aos granitos de Hong Kong.

Grau	Designação	Reconhecimento no Campo	Propriedades Geotécnicas
VI	Solos	A textura da rocha é reconhecível, as zonas mais superficiais contêm húmus e raízes de plantas	Não é utilizável em fundações importantes. Instável em taludes quando a cobertura é destruída
V	A rocha completamente alterada	A rocha está completa-mente decomposta in situ, mas a textura original ainda é visível. Quando a rocha mãe é o granito, os feldspatos originais estão completamente alterados em minerais de argila. Não sendo de sondagem em furos por rotação normal.	Pode ser escavada a mão ou por "ripper" sem a utilização de explosivos. Não pode ser utilizada como fundação de barragens de betão ou grandes estruturas. É possível empregar-se como fundação de barragens de aterro e como aterro. É instável em cortes muito altos e abruptos. Requer proteção contra a erosão.
IV	Rocha muito alterada	A rocha está tão enfraquecida pela alteração, que mesmo grandes fragmentos são facilmente partidos ou esmigalhados à mão. Por vezes é recuperada como testemunho de sondagem em furos à rotação executados cuidadosamente. Apresenta coloração devida a limonite. Contém menos de 50% de rocha.	Semelhante ao grau V. É impossível ser utilizada como fundação de barragens de betão. A presença errática de núcleos menos alterados impossibilita a sua utilização como fundação de grandes estruturas.
III	Rocha moderadamente alterada	Alteração considerável em toda rocha. Possui alguma resistência. Grandes fragmentos não são partidos á mão. Às vezes apresenta coloração devida a limonite. A percentagem de rocha está compreendida entre 50 e 90%	É escavada com grande dificuldade sem a utilização de explosivos. Na maior parte das vezes pode desfazer-se sob um impulso de um "bulldozer". Pode ser utilizada como fundação de pequenas estruturas de betão e como fundação de barragens de enrocamento. A estabilidade em cortes depende das características estruturais, especialmente da orientação das diáclases.
II	Rocha pouco alterada	Distintamente alterada na maior parte da rocha e com alguma coloração devida à limonite. Nos granitos há alguma decomposição dos feldspatos. A resistência aproxima-se da rocha sã. Mais de 90% do material é rocha.	Necessita de utilização de explosivos na escavação. Utiliza-se como fundação de barragens de betão. Muito permeável ao longo ao longo de diáclases abertas. É frequentemente mais permeável que as zonas acima ou abaixo. A sua utilização como inerte do betão é questionável.
I	Rocha sã	A rocha sã pode apresentar alguma coloração devida à limonite em diáclases imediatamente abaixo da rocha alterada	A coloração indica percolação da água ao longo das diáclases: alguns fragmentos podem-se soltar em explosões ou por alívio de tensões. Sendo necessário ocasionalmente a utilização de suporte em túneis e poços.

Quadro 3.1. Classificação dos diversos graus de alteração (Little, 1969).

O zonamento desenvolvido foi efetuado com base na análise das percentagens estimadas de rocha e solo residual (Figura 3.5). As zonas foram numeradas de I (em profundidade - rocha são diaclasada) a IV (à superfície - solo). Apresenta-se a espessura relativa a cada uma das zonas. Verifica-se que na segunda zona definida a partir da superfície e designada como “solo residual com blocos de granito” foi subdividida com base na percentagem estimada de blocos residuais de granito, a saber:

IIa -> 10% de blocos

IIb – 10-50% de blocos

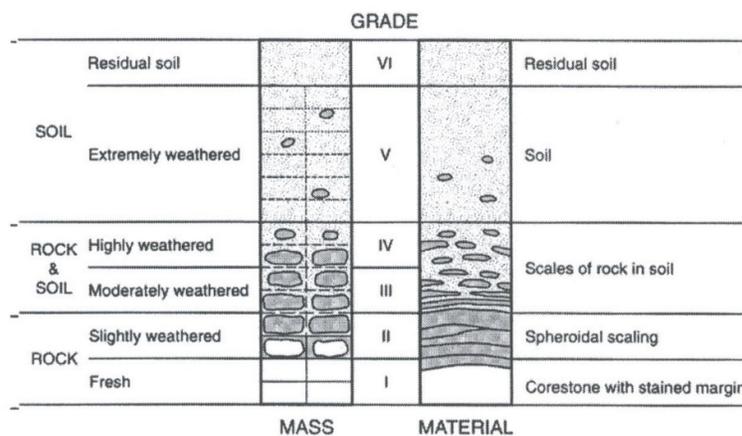


Figura 3.5. Alteração em granitos de Hong Kong. Baseado em Ruxton & Berry (1957) e Little (1969). Dearman (1995).

A formação dos blocos residuais que têm formas elipsoidais ou amplamente retangulares com as arestas boleadas e os vértices está condicionada pelo diaclasamento do maciço rochoso.

3.6.3.2. As tentativas de padronização em 1970-1977

A nível mundial, mas em grande parte no Reino Unido levou, desenvolveu-se um esforço no sentido da padronização da descrição de solos e rochas para fins de geotecnia. É de referir o trabalho “Working Party of the Engineering Group of the Geological Society on Rock Core Logging (Anon, 1970) para elaborar um esquema que foi julgado ser apropriado para a maioria dos tipos de rochas. Este esquema baseou-se no desenvolvido por Moye (1955) e utiliza a mesma terminologia, exceto que o solo granítico de Moye foi traduzido

para solo residual. O número de categorias foi alargado de seis graus para sete classes de modo a incluir uma classe ligeiramente alterada e situada entre o material são e o ligeiramente alterado, pelo que o esquema foi considerado como sendo mais geral. Enquanto Moye baseou as suas categorias em ensaios índice específicos tais como um determinado comprimento de testemunho que pode ser partido com a mão, ou desintegrado em água, o esquema do Working Party na tentativa de encontrar todas as situações apontaram mais na descrição geral e observações, incluindo 'friabilidade'. Além disso, parece agora claro que, devido à diversidade de tipos de rochas e estilos de alteração, é impossível produzir uma classificação única adequada para todos os tipos de rochas e para todas as escalas que poderia ter significado no comportamento geotécnico.

Em 1972, o Grupo de Trabalho do Grupo de Engenharia da Sociedade Geológica de mapas e plantas (Anon, 1972) tentou novamente produzir um único esquema, padrão aplicável a todas as rochas. Não foi feita qualquer referência específica à escala. Apresentou-se um esquema separado com cinco classes para os solos. Nessa classificação as características do maciço foram enfatizadas e, novamente, o esquema proposto foi feito muito geral, em uma tentativa de lidar com rochas tão diversas como granitos, arenito e calcário. A classificação definiu seis graus, com mas com definições diferentes quando comparadas com a classificação apresentada em 1970.

O Grupo de Trabalho sobre a descrição de maciços rochosos (Anon 1977) aborda novamente o problema da alteração e as suas conclusões devem muito à pesquisa e publicações de Dearman (1974a, b) e colegas de trabalho que estudaram a alteração do granito em grande parte do Reino Unido. O relatório separa claramente a descrição das rochas e dos maciços. Para os maciços rochosos, apresentou-se uma proposta que englobava 7 classes de graus de alteração que distinguiu entre rocha altamente e totalmente alterada com base nas percentagens de rocha e solo presente no maciço.

Neste contexto, a classificação é semelhante à proposta por Ruxton & Berry (1957), mas utilizando, essencialmente, a mesma terminologia de Moye e outros.

Foi dada pouca orientação à descrição do material alterado. Tais modificações podem ser detetadas analisando parâmetros tais como por exemplo a resistência, ou espaçamento das fraturas. Sugeriu-se que uma avaliação qualitativa pode ser feita com base na estimativa visual do grau em que o material rocha foi afetado pela alteração.

Grau	Designação	Características diagnósticas					
		Rocha			Maciço		
IA	Rocha sã	Não é visível qualquer sinal de alteração	Não é friável	Textura preservada	Não é visível qualquer sinal de alteração		Estrutura preservada
IB	Rocha levemente alterada				Alteração limitada às superfícies das maiores descontinuidades		
II	Rocha pouco alterada	Pouco alterada			Alteração junto das superfícies de descontinuidades abertas		
III	Rocha Moderadamente alterada	Alterada	Parcialmente friável		Alteração por todo maciço		
IV	Rocha muito alterada						
V	Rocha completamente alterada						
VI	Solo residual		Friável	Textura destruída		Completamente decomposto	Estrutura destruída

Quadro 3.2. Características diagnósticas de “Core Logging Report Weathering Classification” (Anon, 1970).

Grau	Designação	Características Diagnósticas							
		Rocha				Maciço			
I	Rocha sã	Não há descoloração	Não há perda de resistência				Não há descoloração		
II	Rocha levemente alterada		Não se nota perda de resistência relativamente à rocha sã		Rocha	As descontinuidades podem estar abertas e as superfícies descoloridas	Descoloração das faces internas das descontinuidades		
III	Rocha moderadamente alterada		Visivelmente menos resistente que a rocha mãe				A descoloração começa a penetrar na rocha		
IV	Rocha muito alterada	Há Descoloração		A textura da rocha junto às descontinuidades pode estar alterada				A alteração penetra profundamente	Núcleos resistentes ainda estão presentes
V	Rocha completamente alterada			A textura está preservada em grande parte	Solo				Pequenos núcleos resistentes ocasionais
VI	Solo residual			A textura está completamente destruída					

Quadro 3.3. Classificação do grau de alteração proposta pela “Mapping Working Party Report (Anon, 1972).

Designação	Descrição
Rocha sã	O material rochoso não apresenta qualquer sinal de alteração
A rocha apresenta descoloração	A cor da rocha sã original variou e há evidências de alteração. O grau de variação da cor a partir da rocha sã deve ser indicado. Se a variação de cor está confinada a um determinado mineral deve ser mencionado
Rocha desintegrada	A rocha está transformada num solo no qual a textura original está ainda intacta. A rocha é friável, mas os grãos minerais não estão decompostos
Rocha decomposta	A rocha está transformada num, solo no qual a textura está ainda intacta. Os grãos minerais estão total ou parcialmente decomposto

Quadro 3.4. Descrição dos graus de alteração do material rochoso (Dearman, 1974).

3.6.3.3. Tentativas de padronizar, pós-1977

Nas classificações apresentadas por BS5930: 1981 (Anon 1981b) (Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas; Anon 1981c & d) as classificações tiveram por base a alteração em rochas graníticas recomendados para aplicação a todas as rochas. Nestas classificações o número de zonas (denominados graus) foi geralmente, mas não sempre, reduzida a seis (o mesmo que o esquema de Moye) e utilizada a mesma terminologia de Moye mas com um significado totalmente diferente. A ênfase do trabalho apresentado em 1977 em que defendia uma abordagem diferente para os maciços e rochas continuou a ser defendida.

Grau	Designação	Características
I	Maciço rochoso são	Não há qualquer vestígio de alteração no material rochoso: pode existir uma leve descoloração nas superfícies das descontinuidades principais.
II	Maciço rochoso levemente alterado	A descoloração indica que há alteração quer no material rochoso quer nas superfícies das descontinuidades. Todo o material rochoso pode apresentar descoloração resultante da alteração.
III	Maciço moderadamente alterado	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desintegrado. Rocha são ou com descoloração está presente, quer como um esqueleto contínuo quer como núcleos resistentes
IV	Maciço muito alterado	Mais de metade do material está decomposto e/ou desintegrado. Rocha são ou com descoloração está presente, quer como um esqueleto contínuo que como núcleos presentes
V	Maciço completamente alterado	Todo o material rochoso está decomposto e/ou desintegrado. A estrutura do maciço e a textura da rocha estão ainda em grande parte intactas.
VI	Solo residual	Todo o material rochoso está convertida em solo. A estrutura do maciço e textura da rocha estão destruídas. Há um grande aumento de volume, mas o solo não foi significativamente transformado.

Quadro 3.5. Grau de alteração dos maciços rochosos (Dearman, 1974).

Dearman (1976) considera ser adequado utilizar termos como:

São		Rocha
Descolorida		
Decomposta e/ou desintegrada		Solo

As fases de alteração de uma rocha podem ser apresentadas num fluxograma em que se esquematiza o comportamento dos minerais originais que podem levar à alteração. Os processos envolvidos podem ser a solução e decomposição dos minerais, abertura dos contactos entre os minerais e a sua fissuração, e por uma conjugação destes processos. Pode ter-se fases em que a textura original da rocha é virtualmente não modificada e outras em que se forma novo material pela destruição da textura da rocha. Os termos descritivos utilizados recorreram às designações apresentadas por Dearman (1976). A escala com quatro termos pode ser utilizada para descrever as condições do material rocha no maciço rochoso. Os termos “são” e descolorido referem-se à rocha, enquanto o decomposto e desintegrado se referem à rocha alterada / solo.

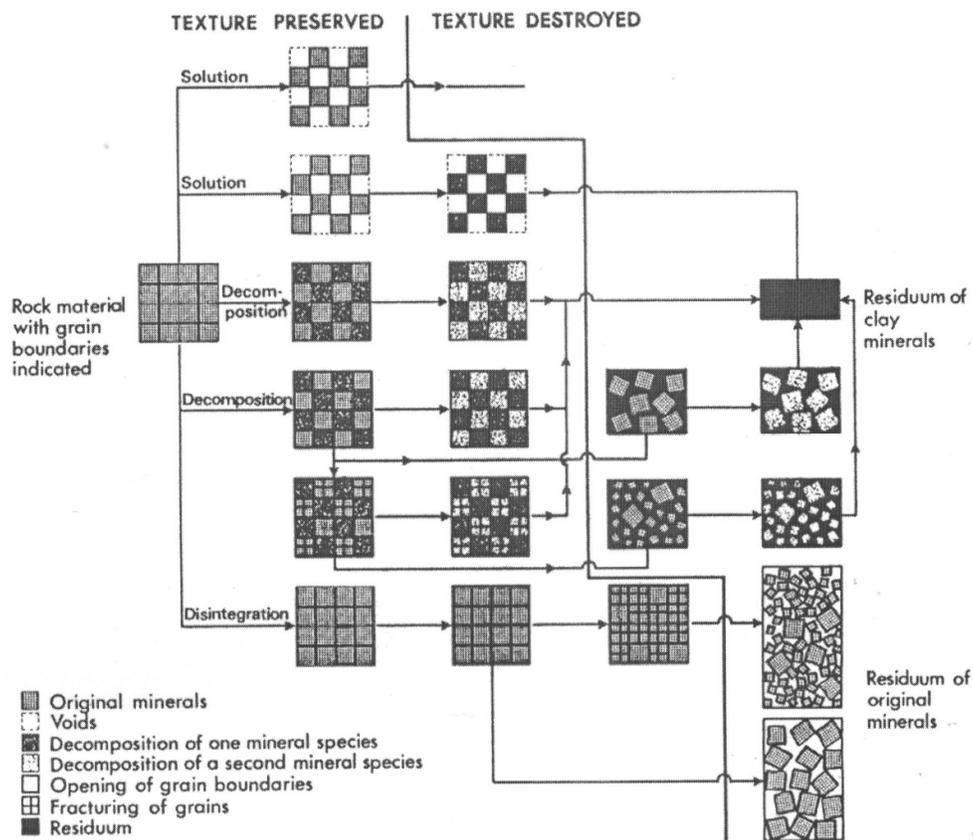


Figura 3.6. Diagrama para diferentes fases de alteração do material rocha (Dearman, 1974).

A classificação apresentada por Stapledon (1976) recorre à utilização de uma terminologia caracterizada de um modo sem ambiguidades com base naquilo a que designa de “Termos e condições”

Descrição	Termos
Sã. A rocha não apresenta vestígios de descoloração	(F) São
Ligeiramente alterada. A rocha apresenta-se ligeiramente descolorida, mas geralmente apresenta pouca ou nenhuma variação na resistência quando comparada com a rocha sã,	(SW) Ligeiramente descolorida
Muito alterada. A resistência da rocha foi visivelmente modificada por ação da alteração. A rocha pode estar intensamente descolorida, geralmente com películas ferruginosas. A porosidade pode ter aumentado devido a lixiviação, ou diminuído por deposição de produtos de alteração nos poros.	(HW) Intensamente descolorida
Extremamente alterada. A rocha está alterada em tal extensão que tem propriedades de um solo, pois pode desintegrar-se ou remexer-se em água.	(EW) Decomposta e/ou desintegrada

Quadro 3.6. Classificação da alteração (Stapledon, 1976).

Em 1978 a SIMR desenvolveu uma classificação tendente a uniformizar os critérios de classificação da alteração. Esta classificação apresenta-se no quadro 3.7.

Recomendou-se a utilização de termos tais como decomposto, desintegrado, são e descolorido, o que foi considerado adequado para a classificação e descrição do grau de alteração. As recomendações apresentadas por IAEG (Anon 1981c) para uma escala de percentagens de alteração (presumivelmente factual), embora nenhuma orientação tenha sido dada foi considerada pertinente. Um dos perigos de uma tal recomendação é que o grau de alteração possa ser expresso quantitativamente por ensaios laboratoriais. (por exemplo Lumb 1962; Ramana & Gogte, 1982), mas é mais difícil de estabelecer no campo ou durante o registo de rotina. Tal abordagem é suscetível de levar a mal-entendidos e disputas relativas à descrição.

Símbolo	Designação	Descrição
W1	Rocha sã	Não há sinais visíveis de alteração no material rochoso; pode haver uma leve descoloração nas superfícies das maiores descontinuidades
W2	Rocha levemente alterada	A descoloração indica que há alteração no material rochoso e nas superfícies de descontinuidade. Todo o material rochoso pode exibir descoloração e apresentar uma menor resistência que o material sã.
W3	Rocha moderadamente alterada	Menos de metade do material rochoso transformou-se em solo pelo que está decomposto e/ou desintegrado. Rocha sã ou com descoloração apresenta-se, quer como núcleos resistentes
W4	Rocha muito alterada	Mais de metade do material transformou-se em solo, pelo que está decomposto e/ou desintegrado. Rocha sã ou com descoloração apresenta-se, quer como núcleos resistentes
W5	Rocha completamente alterada	Todo o material rochoso se transformou em solo, isto é, apresenta-se decomposto e/ou desintegrado. A estrutura original do maciço está ainda em grande parte intacta

Quadro 3.7. Classificação das rochas relativamente ao grau de alteração (SIMR, 1978).

Como uma solução prática e numa situação em que a alteração influencie muitos aspetos da geotecnia, as classificações complementares de Moye (1955) e Ruxton & Berry (1957) foram adotadas pelas normas em Hong Kong. A classificação de Moye adopta seis classes definidas por numeração romana (I-VI). Ruxton & Berry com classes I-IV foram “redefinidas” com as letras A a D.

3.6.4. Princípios da classificação

3.6.4.1. Introdução

Os esquemas mais utilizados na prática têm sido direcionados especificamente para a descrição do grau de alteração da rocha intacta ou zonas de alteração do maciço; vários esquemas úteis têm incorporado tanto características do maciço e das rochas para a definição das classes

Martin & Hencher (1986) propuseram as seguintes diretrizes para a classificação que têm sido largamente adotados:

3.6.4.2. Escala do material

A descrição da classe de alteração deve aplicar-se a materiais que devem ser vistos como uniformes para efeitos geotécnicos;

Os limites das classes devem, sempre que possível, ser estabelecidos de acordo com a relevância geotécnica;

- Os ensaios índice devem ser usados, sempre que possível, para definir os limites das classes e incentivar a objetividade;
- Um número consistente de classes e uma nomenclatura devem ser usadas;
- Deve utilizar-se uma classificação com seis classes em conformidade com a prática e a perceção comuns;
- Um único esquema deve ser usado sempre que possível, para abranger todos os tipos (decomposição, desintegração) e graus de alteração do material alterado:

3.6.4.3. À escala do maciço

- Zonas devem ser reconhecíveis em afloramentos naturais:
- Toda a gama de condições esperadas devem ser tidas em consideração pelo que a classificação deve ter uma certa flexibilidade;
- Os limites devem ser definidos de tal forma que eles se delimitam zonas com comportamentos geotécnicos significativamente diferentes;

3.6.4.4. Critérios para a descrição dos maciços

Os afloramentos com grandes dimensões são adequados para fazer a descrição da natureza e distribuição dos diferentes materiais dentro de um maciço, bem como do padrão da fraturação. Muitas das classificações apresentadas na literatura baseiam-se no facto de os maciços alterados englobarem uma mistura de materiais (normalmente blocos residuais mais resistentes no seio de uma matriz mais fraca). Uma das classificações recomendada recorre à percentagem de rocha (definida como sendo todo o material que não pode ser fragmentado com as mãos) em relação ao solo (qualquer material que pode ser

fragmentado com as mãos). As classificações utilizadas para descrever as rochas alteradas que são relativamente pouco resistentes quando são geralmente baseadas em atributos combinados tais como o espaçamento das fraturas e a pouca resistência da rocha e provaram ser úteis para muitos projetos. Um dos esquemas apresentados abaixo segue esta abordagem.

Grau	Designação	Características Típicas
I	Rocha sã	- Não há sinais visíveis de alteração - Raramente é encontrada nas superfícies de exposição
II	Rocha levemente decomposta	- O ressalto do martelo de Schmidt é superior a 45 - É necessária mais de uma pancada de martelo para partir uma amostra - A resistência é próxima da rocha sã
III	Rocha moderadamente decomposta	- O ressalto do martelo de Schmidt varia entre 25 e 45 - Consideravelmente alterada, mas possuindo resistência suficiente de modo a que fragmentos superiores a 55 mm não sejam quebrados à mão - O material rochoso não é friável
IV	Rocha muito decomposta	- O ressalto do martelo de Schmidt varia entre 0 e 25 - Não se desagrega facilmente em água - O martelo de geólogo não penetra na superfície quando pressionado - Índice de resistência ao penetrâmetro manual é superior a 250Kpa - A rocha perdeu tanta resistência que grandes fragmentos são partidos à mão - Grãos individuais podem ser arrancados da superfície
V	Rocha completamente decomposta	- Não há ressalto do martelo de Schmidt - Desagrega-se facilmente em água - O martelo de geólogo penetra facilmente na superfície quando pressionado - A rocha está totalmente decomposta, mas a textura original está ainda preservada
VI	Solo residual	- A rocha transformou-se num solo com a textura original da rocha destruída

Quadro 3.8. Classificação de Hencher e Martin (1982).

3.6.4.5. Descrição das rochas alteradas

Considera-se que devido ao facto de as rochas evidenciarem diferentes padrões de alteração que é necessário ter um esquema que apresente uma multiplicidade de abordagens em função do padrão de alteração e da escala de trabalho.

Considera-se fundamental que os efeitos da alteração devem sempre ser anotados na aquando da descrição das rochas para fins geotécnicos. No entanto, a classificação formal muitas vezes pode não se a adequada e, por isso, não deve ser obrigatória. As classificações são muitas vezes úteis, mas só devem ser aplicadas quando bem definidas, quando não há informações suficientes para classificar de forma inequívoca e para isso seria claramente benéfico.

Sempre que a classificação seja utilizada deve apresentar-se uma anotação justificativa da utilização de uma determinada classificação,

Cinco abordagens diferentes são apresentados a seguir, juntamente com as orientações quanto à sua utilização. A abordagem básica é apresentada no fluxograma na Figura 3.7, esquematicamente resumida na Figura 3.8. Dentro das várias classificações aqui apresentadas, as definições de sub-classes foram definidas em termos de características típicas que são necessariamente amplas. As categorias podem ser definidas com mais rigor.

Abordagem 1 abrange a descrição geral das características da alteração da rocha e é obrigatória, uma vez que faz parte de uma descrição completa. Recomenda-se o uso de terminologia não técnica para colocar ênfase nas características que resultam da alteração e de modo a complementar a descrição feita. Esta descrição não envolve a classificação formal, mas pode fornecer informações suficientes para um utilizador posterior, posteriormente, para classificar a uma finalidade específica. A abordagem é pormenorizada na Tabela 1.

Abordagem 1. Descrição factual da alteração

Aplicação: em qualquer descrição de rocha, pormenores completos do grau de alteração, extensão e natureza dos efeitos da alteração devem ser anotados para que os leitores podem apreciar a sua influência sobre o comportamento geotécnico. A classificação prescritiva pode ser inadequada em muitos casos.

DESCRIPTION AND CLASSIFICATION OF WEATHERED ROCKS

221

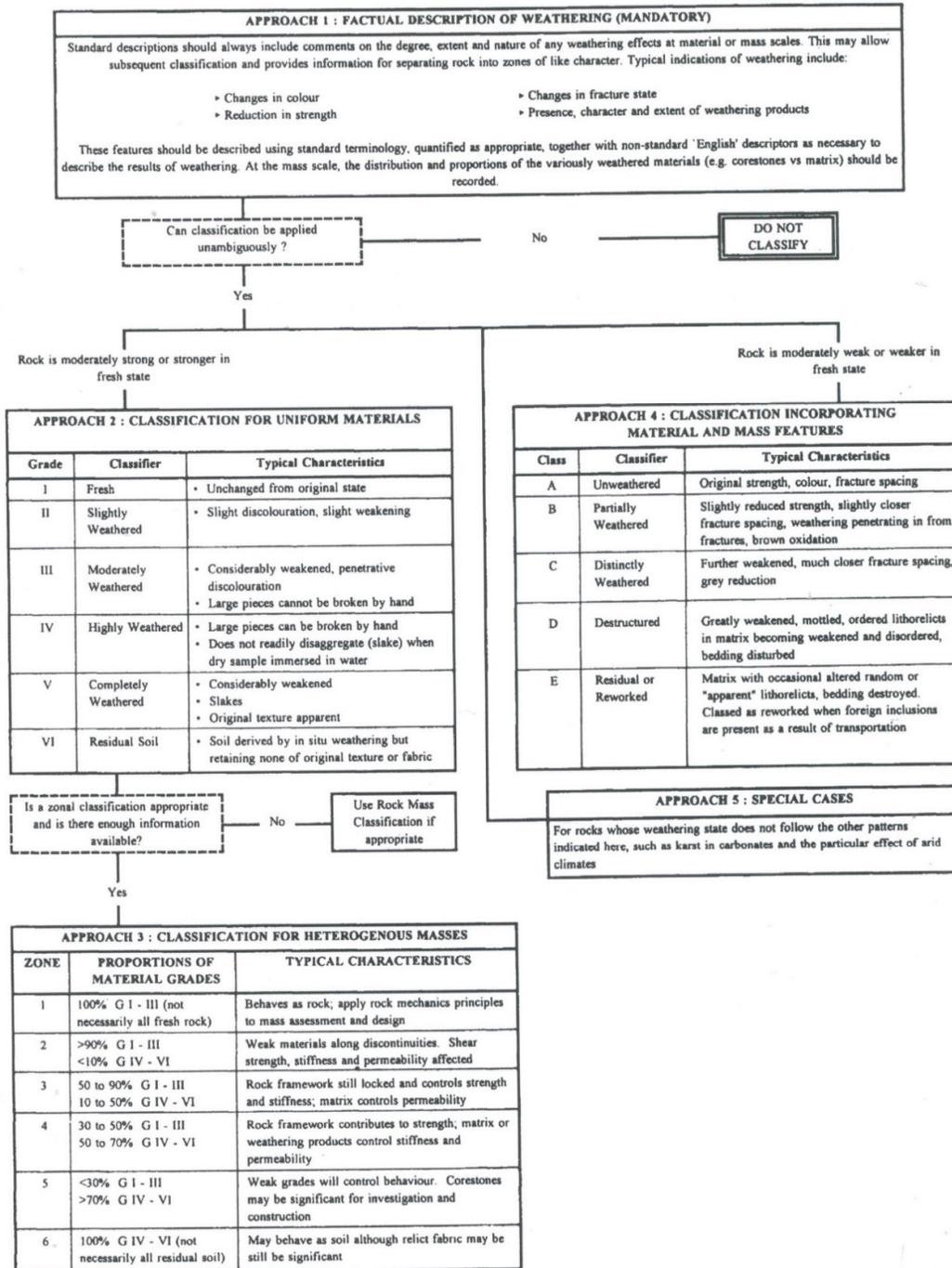


Figura 3.7. Abordagem da descrição e classificação da alteração (Anon, 1995).

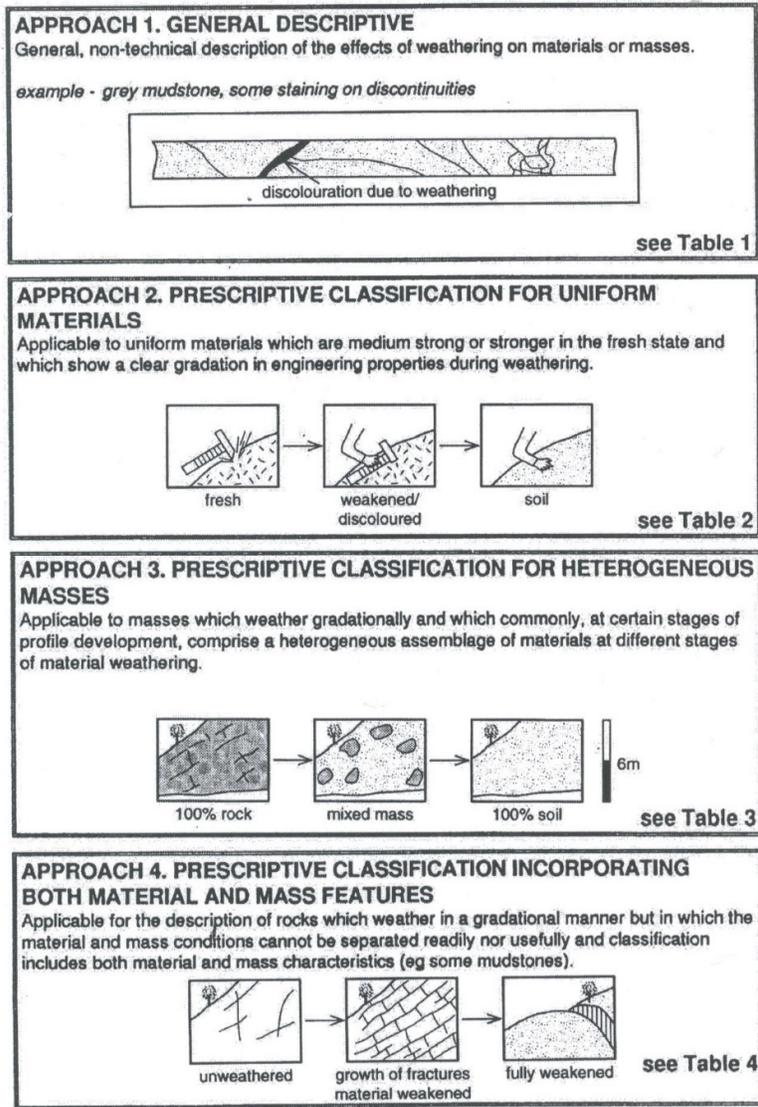


Figura 3.8. Abordagem esquemática da descrição e classificação (Anon, 1995).

A descrição factual da alteração:

- É uma parte obrigatória da descrição completa
- Deve ser desenvolvida a nível da rocha e do maciço e em escalas adequadas;
- Muitas vezes é a única maneira possível de lidar com a alteração, onde o perfil completo não é visto
- Ajuda na interpretação de como a rocha atingiu a sua condição observada
- É de uso para posterior classificação
- Fornece informações para a separação da rocha em zonas com características geotécnicas semelhantes.

Nessas ocasiões, quando é evidente que alterações nas propriedades geotécnicas foram originadas pela alteração, o que deve ser destacado. Na hipótese de a causa ser incerta, recorrer a termos tais como "provavelmente" ou "eventualmente". As características mais comuns devem ser examinadas ou incluídas nos "ítems" seguintes.

Cor e descoloração. O grau de mudança de cor pode ser descrita usando termos como levemente descoloridos, descoloridos ou fortemente descoloridos; a extensão da mudança de cor pode ser descrita recorrendo a termos tais como localmente descoloridos localmente, penetrativamente descoloridos ou invasivamente descoloridos. Estes termos não são quantitativamente definidos para uso geral, embora os critérios específicos possam ser aplicados, se necessário. É muitas vezes útil fornecer informações adicionais sobre, por exemplo, o grau de variação da cor por meio de medições de penetração para dentro a partir da superfície das discontinuidades. Os comentários devem incluir a natureza das alterações de cor, e estas foram consideradas devidos à ação dos agentes atmosféricos, alteração, ou a algum outro processo. As tabelas com cores padrão devem ser usadas sempre que for necessário.

O estado de fraturação e eventuais alterações devem ser anotados utilizando a terminologia definida na BS5930: 1981; embora os termos nele registados sejam úteis, o registo de medidas reais é incentivada como sendo a mais adequada. Onde se verifique que as mudanças são atribuíveis à alteração, esta informação deve ser fornecida, por exemplo 'pouco espaçadas passando a muito pouco espaçadas devido à alteração entre 15,00 e 15,75 m"

Resistência e decréscimo da redução da resistência devem ser assinalados usando a terminologia incluída na BS5930: 1981. A inclusão de quaisquer medidas de resistência, diretas ou indiretas, deve ser encorajada, quer o ensaio utilizado seja padronizado ou não. Onde se pensa que a mudança é devida à alteração, esta informação deve ser fornecida, por exemplo, “resistência muito baixa na zona alterada”, ou “geralmente com resistência elevada mas com descontinuidades adjacentes alteradas” (a extensão de tais características deve ser registada por uma medida sempre que possível).

A natureza e extensão da alteração deve sempre ser descrita usando terminologia e descrição apropriada para rochas e solos. E as respetivas medições.

A abordagem 2 classifica a variação da alteração da rocha intacta. A tabela 2 é, no entanto, só é suscetível de ser aplicável a rochas que são moderadamente resistentes ou ainda mais resistentes quando no estado são. A classificação baseia-se essencialmente na resistência determinada por testes simples. O material da classe IV, por exemplo, distingue-se do da classe III, com base em fragmentos que podem ser fragmentados à mão; a classe V da classe IV com base no “slaking”. Deve-se notar-se que tal comportamento pode ser influenciado por condições locais, tais como o grau de saturação ou características do material tais como o grau de lixiviação da argila. Cuidadosa consideração é, portanto, necessária antes de aplicar esta classificação e as classes limite podem ser estabelecidas de forma mais precisa para um determinado tipo de rocha através do recurso a ensaios índice apropriados.

A abordagem 3 é para rochas que se desenvolvem alteração que engloba uma mistura de um material relativamente forte e fraca no maciço e para os quais uma classificação é considerada útil separando zonas relativamente grandes com características geotécnicas diferentes. A abordagem é detalhado no Quadro 3. Deve anotar-se que a proporção “rocha”, mesmo em Z1, não necessita de compreender apenas materiais sãos; Da mesma forma Z6 não consiste necessariamente apenas em um solo residual sem estrutura.

Grade	Description	Typical characteristics
I	Fresh	<ul style="list-style-type: none"> • Unchanged from original state
II	Slightly weathered	<ul style="list-style-type: none"> • Slight discoloration, slight weakening
III	Moderately weathered	<ul style="list-style-type: none"> • Considerably weakened, penetrative discoloration. • Large pieces cannot be broken by hand
IV	Highly weathered	<ul style="list-style-type: none"> • Large pieces can be broken by hand • Does not readily disaggregate (slake) when dry sample immersed in water.
V	Completely weathered	<ul style="list-style-type: none"> • Considerably weakened • Slakes in water • Original texture apparent
VI	Residual soil	<ul style="list-style-type: none"> • Soil derived by <i>in situ</i> weathering but having lost original texture and fabric.

Figura 3.9. Abordagem 2 da alteração (Anon, 1995).

O seguinte deve ser observado:

- Muitas vezes é impossível definir zonas de forma confiável a partir dos testemunhos sondagem;
- É difícil determinar percentagens volumétricas, mesmo quando os afloramentos são de boa qualidade;
- Rocha: percentagens referenciadas do solo podem não ser sempre adequadas;
- Classificações do maciço rochoso podem muitas vezes ser parcialmente aplicáveis porque permitem que relações empíricas sejam utilizadas para avaliar os parâmetros geotécnicos.

Zone	Guideline proportions of material grades	Typical characteristics
1	100% Material Grades I-III (not necessarily all fresh rock)	Behaves as rock; apply rock mechanics principles to mass assessment and design
2	> 90% Material Grades I-III < 10% Material Grades IV-VI	Weak materials along discontinuities. Shear strength, stiffness and permeability affected
3	50 to 90% Material Grades I-III 10 to 50% Material Grades IV-VI	Rock framework still locked and controls strength and stiffness; matrix controls permeability
4	30-50% Material Grades I-III 50 to 70% Material Grades IV-VI	Rock framework contributes to strength; matrix or weathering products in discontinuities control stiffness and permeability
5	< 30% Material Grades I to III 70 to 100% Material Grades IV-VI	Weak grades will control behaviour. Corestones may be significant for investigation and construction
6	100% Material Grades IV to VI (not necessarily all residual soil)	May behave as soil although relict fabric may still be significant

Figura 3.10. Abordagem 3 da alteração (Anon, 1995).

A abordagem 4 é para as rochas em que a natureza e a escala da heterogeneidade desenvolvida durante a alteração é tal que uma simples classificação incorporando quer características do maciço e da rocha intacta são apropriadas.

Tabela 4 é suscetível de ser aplicável às rochas que são moderadamente pouco resistentes ou menos resistentes quando no estado são baseia-se e está em conformidade com esquemas específicos apresentados. Esta abordagem é suscetível de ser aplicável a muitas rochas sedimentares (principalmente argilitos) e argilas sobreconsolidadas.

A abordagem 5 é para rochas cujo estado de alteração não segue os padrões indicados anteriormente. Um exemplo é a formação da carsificação que só pode ser descrita com referência a outras características, tais como relevo. Esta abordagem será também importante para alguns depósitos de evaporitos, carbonatos e os efeitos específicos de climas áridos. A exigência é a de fornecer uma descrição completa (abordagem 1), e, em seguida, aplicar uma classificação, se necessário, a um nível local específico. Pode não

ser sempre possível ou apropriada para obter uma classificação de intemperismo.

	Class	Descriptor	Typical characteristics
	A	Unweathered	Original strength, colour, fracture spacing
	B	Partially weathered	Slightly reduced strength, slightly closer fracture spacing, weathering penetrating in from fractures, brown oxidation
	C	Distinctly weathered	Further weakened, much closer fracture spacing, grey reduction
	D	Destructured	Greatly weakened, mottled, lithorelicts in matrix becoming weakened and disordered, bedding disturbed
	E	Residual or reworked	Matrix with occasional altered random or 'apparent' lithorelicts, bedding destroyed. Classed as reworked when foreign inclusions are present as a result of transportation

Figura 3.11. Abordagem 4 da alteração (Anon, 1995).

A aplicação de qualquer das abordagens irá requerer a classificação dos materiais presentes e a variação das características geotécnicas. As várias subdivisões de classificação não são tão rigorosamente definidas como poderiam ser para um projeto específico. As classificações recomendadas devem ser entendidas como sendo guias genéricos que podem dar as bases para um local ou problemas geotécnicos específicos.

A abordagem 5 é para rochas cujo estado de alteração não segue os padrões indicados anteriormente. Um exemplo é a formação da carsificação que só pode ser descrita com referência a outras características, tais como relevo. Esta abordagem será também importante para alguns depósitos de evaporitos, carbonatos e os efeitos específicos de climas áridos. A exigência é a de fornecer uma descrição completa (abordagem 1), e, em

seguida, aplicar uma classificação, se necessário, a um nível local específico. Pode não ser sempre possível ou apropriada para obter uma classificação de intemperismo. A aplicação de qualquer das abordagens irá requerer a classificação dos materiais presentes e a variação das características geotécnicas. As várias subdivisões de classificação não são tão rigorosamente definidas como poderiam ser para um projeto específico. As classificações recomendadas devem ser entendidas como sendo guias genéricos que podem dar as bases para um local ou problemas geotécnicos específicos.

3.6.5. Outras Classificações

Silva (1974) ao estudar a alteração dos granitos presentes no local de estudo da futura barragem de Jamba-la-Oma definiu cinco níveis de alteração (Figura 3.12), a saber:

I – Solo residual argilo-arenoso ou areno-argiloso de cor amarelo-acastanhada, localmente um pouco encouraçados na base.

II – Solo residual areno-argiloso ou areno-siltoso com manchas amareladas, rosadas ou avermelhadas, constituído por rocha decomposta.

III – Solo residual arenoso ou areno-siltoso de cor esbranquiçada, com alguns blocos acidentais de rocha meteorizada, constituído por rocha desintegrada ou parcialmente decomposta.

IV – Rochas graníticas muito fraturadas, por vezes parcialmente meteorizadas, originando blocos de rocha sã intercalados por material incoerente.

V – Rochas graníticas sãs pouco fraturadas ou com fraturas fechadas.

Braga (1985) estudou dois perfis de alteração na região de Vila Praia de Âncora, tendo definido três níveis de alteração (Figura 3.13)

I – Granito arenitizado. Constituído por material coeso mas desagregável à simples pressão das mãos. Preserva a textura original da rocha, onde se observa o quartzo, moscovite e raras biotites baças com tonalidades cinzentas esverdeadas; os feldspatos não se distinguem, apresentando-se pulverizados.

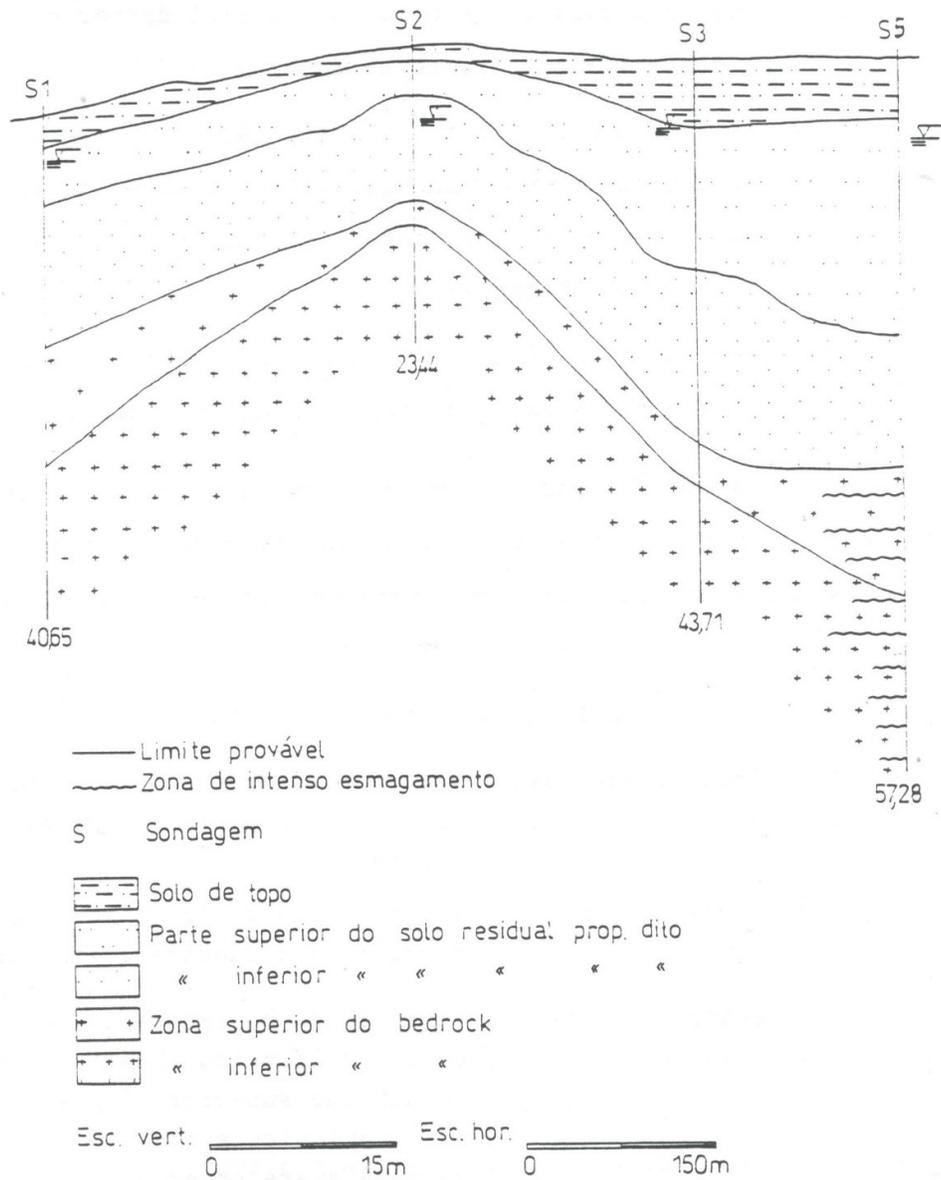


Figura 3.12. Corte geológico-geotécnico dos solos residuais de Jamba-la-Oma (Silva, 1974).

II – Granito alterado. Compacto e duro, revelando uma coloração amarela, que o distingue da rocha sã. O quartzo, a moscovite e a biotite apresentam aspeto fresco, mas os feldspatos perderam o brilho. No perfil II, a passagem ao granito arenitizado é brusca.

III – Granito são. Aflora no perfil I, passando gradualmente a granito alterado. No perfil II aparece sob a forma de uma bola na zona intermédia do talude.

É de anotar uma grande irregularidade nas profundidades de alteração dos três graus de alteração definidos.

Os estudos desenvolvidos por Braga permitiram, em 1988; a definição de três domínios de alteração, a saber:

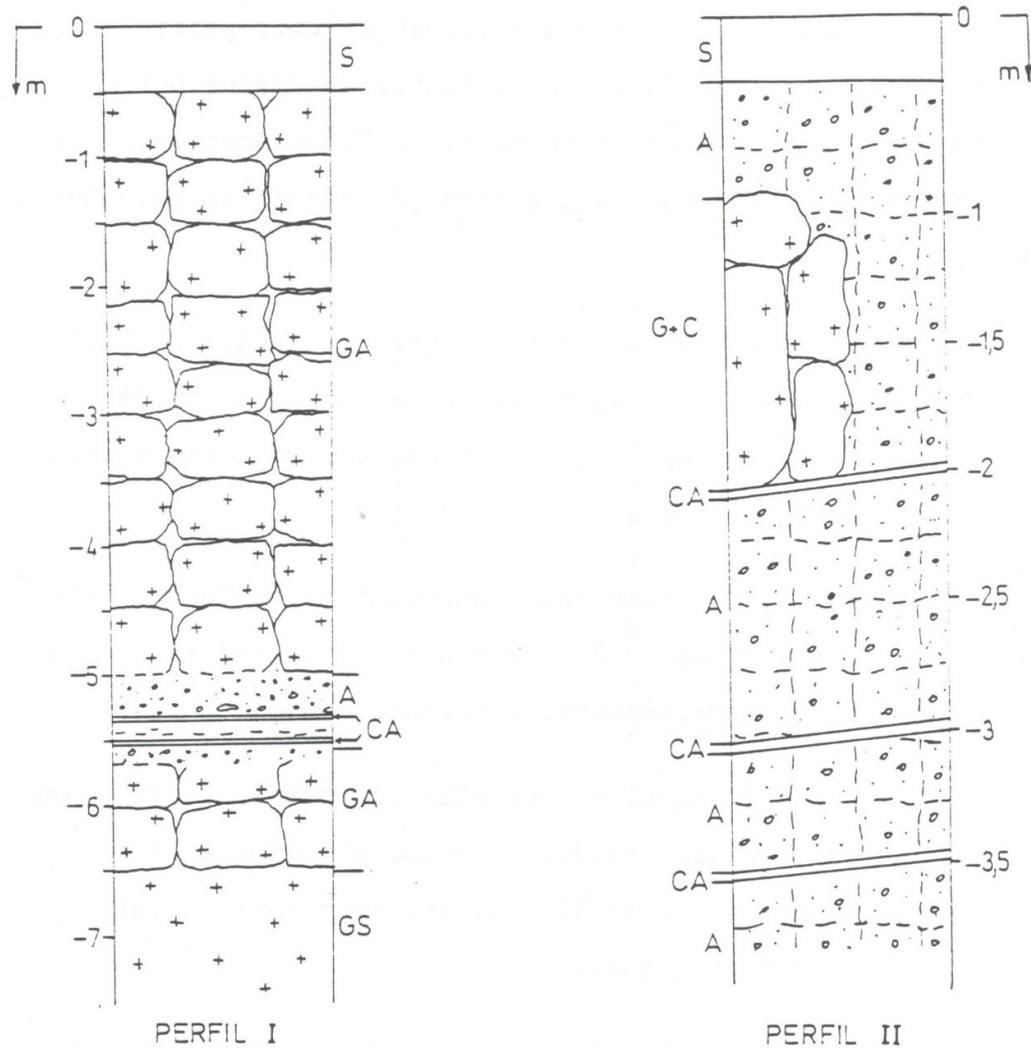


Figura 3.13. Perfis de alteração de granitos da região de Vila Praia de Âncora (Braga, 1985). Referido em Begonha (1989).

I – Rocha compacta que inclui a rocha sã (RS) da base dos perfis e os núcleos de bolas graníticas e, ainda, a rocha alterada compacta (RAC) que constitui as designadas capas de alteração.

II – Saibros com a estrutura original conservada (SEC) apresentando contato brusco com a rocha alterada compacta; no topo, o saibro pode por vezes modificar-se, constituindo uma zona argilificada com estrutura modificada, podendo servir como rocha-mãe do solo atual.

III – Solo (S) que na maior parte dos perfis resultam dos saibros por meteorização gradual, mas apresentando em alguns casos um contacto brusco.

Na figura 3.14 apresentam-se dois perfis estudados por Braga (1988) em que se pode anotar que: no perfil de Touriz a transição solo-saibro é gradual, enquanto no perfil da Senhora-a-Branca, o contacto é brusco.

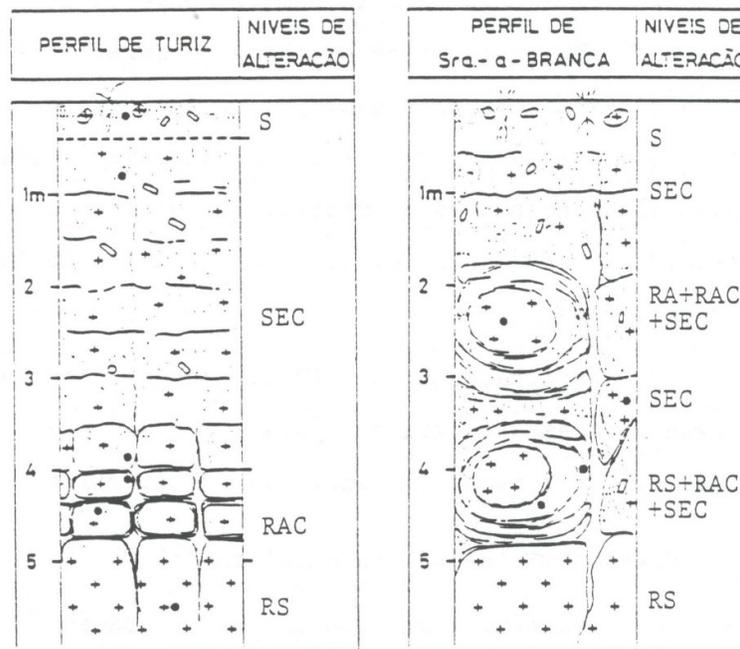


Figura 3.14. Diagramas esquemáticos dos perfis de meteorização de Turiz e de Senhora-a-Branca (Braga, 1985). Referido em Begonha (1989).

3.6.6. Descrição da alteração do maciço rochoso

Tal como acontece com uma rocha, portanto, também num fluxograma é possível apresentar muitas fases de alteração em um maciço rochoso (figura 6) No diagrama, a ênfase é coloca-se ênfase em dois aspetos em dois aspetos; uma é o comportamento do maciço rochoso com as diáclases originais, planos de estratificação e outras estruturas afetadas pela desintegração e dissolução; o outro é relativo às diferentes fases de descoloração, desintegração e decomposição de um bloco de rocha do maciço rochoso que está delimitado por descontinuidades. Anote-se que quer a figura 3.6 quer a 3.15 não apresentam uma escala de referência.

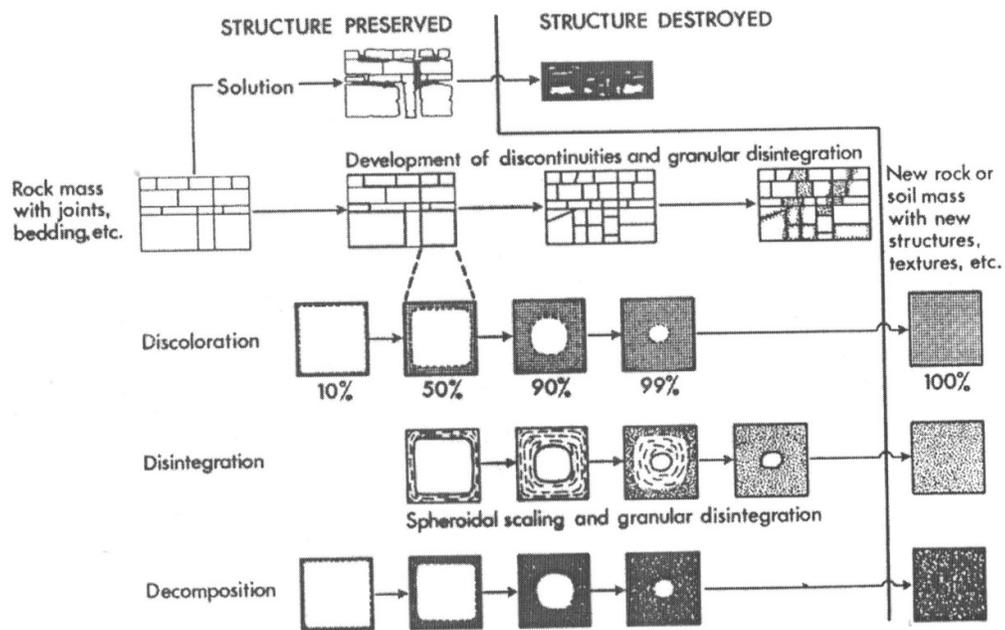


Figura 3.15. Diagrama de alteração em maciço rochoso (Dearman, 1995).

3.7. A Alteração das Rochas Graníticas e dos Doleritos

Nos climas temperados e tropicais os granitos e as rochas graníticas e os doleritos podem alterar-se de um modo que, no “fim de linha” dão origem a um solo residual que no limite pode não apresentar qualquer evidência da textura da rocha original:

A espessura desta camada de alteração pode variar de alguns metros a várias dezenas de metros como acontece, por exemplo, em Hong Kong.

Os blocos do maciço rochoso estão delimitados por superfícies de compartimentação, como por exemplo as diáclases. À medida que o maciço está mais perto da superfície, as diáclases podem começar, devido ao alívio de tensões, a incrementar a abertura, através da qual a água passa a ter um acesso privilegiado ao interior do maciço. Acontece que se existirem pelo menos três famílias de diáclases, dispostas perpendicularmente, ou quase, entre si, os blocos individuais podem começar a ser afetados individualmente. Tal vai fazer com que a ação da água, vento e gelo vai fazer que a alteração comece a fazer-se sentir de um modo mais acentuado nos vértices, um pouco menos nas arestas e bastante menos na face (Figura 3.16). A progressão da alteração, que se desenvolve de um modo centrípeto, faz com que possam aparecer “escamas” com alterações progressivamente crescente do interior para o exterior dos blocos. Essa alteração vai fazer com que a parte exterior dos blocos possa, numa fase avançada, ficar desagregada, diminuindo, assim, a dimensão do material sã. Numa fase bastante avançada da alteração pode aparecer um bloco residual de rocha envolvido por um solo residual (Figuras 3.17 e 3.18).

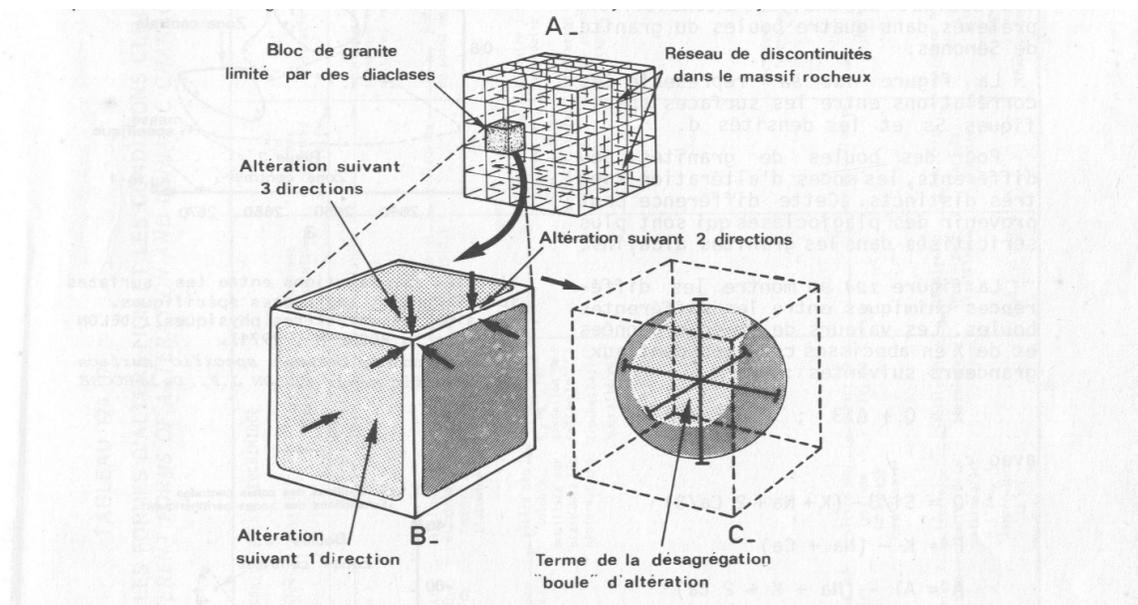


Figura 3.16. Esquema de representação do processo de alteração do granito em bola.



Figura 3.17. Blocos residuais de granito (Estação 2).



Figura 3.18. Blocos residuais de doleritos (Estação 2).

4. Trabalho de Campo

4.1. Introdução

Selecionadas as áreas para o trabalho de campo, depois de um reconhecimento da zona da Mapunda, com objetivo de precisar os locais para o estudo, segundo os objetivos propostos, assim foram utilizados, no trabalho de campo, vários instrumentos para medir a resistência e consistência da rocha, para medir a direção e inclinação das estruturas e os espaçamentos e aberturas das diaclases. Também foi utilizada máquina fotográfica para reportagem fotográfica, que sustente o realizado no campo (Figura 4.1).

A área da Pedreira foi selecionada por mim, pelo facto dos seus afloramentos apresentarem, graus de alteração diferenciados se apresentarem compartimentados. O trabalho de campo, nesta área, foi realizado com auxílio dos estudantes Elias Sacuessa, Fernando Tito e Lázaro Cambinda, com os quais se formou uma equipa que contribuiu para o bom êxito do trabalho. A carta geológica de base usada foi o mapa geológico, folhas nº 336 e 335 na escala de 1:100.000 da região de Sá da Bandeira, efetuada por Francisco Sousa do Vale e Margarida C. Simões, publicada pela Direção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas em 1971 em Luanda.

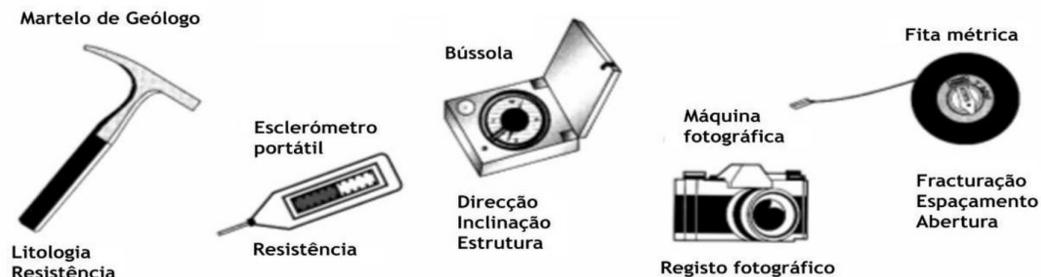


Figura 4.1 - Diferentes tipo de instrumentos utilizados no trabalho de campo (Extraído de Pereira, C. Manuel, 2002).

A segunda área de estudo foi selecionada pelo orientador Professor Doutor António Saraiva que, situa-se, também junto da Serra da Chela e muito próxima da fenda da Tundavala.

Definidos os locais de estudo, a pedreira situada na localidade da Mapunda, passou a ser referida como Estação 1 (com três subestações de estudo) e o local junto à estrada que conduz até à designada Fenda da Tundavala, passou a ser referida como Estação.

As coordenadas geográficas dos locais estudados estão descritas no quadro 4.1.



Figura 4.2 - Pedreira da Mapunda (Estação 1).

Coordenadas GPS das Estações de Estudo		
	Extremo Sul	Extremo Este
Pedreira da Mapunda (Estação 1)	14°54'56.37''	13°26'48.06''
	14°54'57.05''	13°26'46.25''
	14°54'58.15''	13°26'47.11''
Afloramento na Estrada de Acesso à Fenda da Tundavala (Estação 2)	14°51'17.58''	13°26'38.54''
	14°51'18.95''	13°26'37.71''
	14°51'19.98''	13°26'37.82''
	14°51'21.48''	13°26'38.30''

Quadro 4.1. Coordenadas GPS dos locais de estudos



Figura 4.3. Representação da Estação 1 (subestação a, b e c) (Extraído da Google Earth).



Figura 4.4 - Estação 2 junto à estrada para a Tundavala

Estação	Margem	Coordenadas do lugar	Orientação das diáclases	Pendor	Abertura das diáclases
E 2	Esquerda	S14°51'17.58''	1 – II a, N26°W	74°E	Fechada
		E13°26'38.54''			
		S14°51'18.95''	2 – II b, N24°E	80°W	Fechada
		E13°26'37.71''			
		S14°51'19.98''	3 – II c, N54°E	30°W	Fechada
		E13°26'37.82''			
		S14°51'21.48''	4 – II d, N30°W	SV	Fechada
E13°26'38.30''					

Quadro 4.2. Descrição das coordenadas do lugar, orientação, pendor e abertura das diaclases



Figura 4.5. Representação da Estação 2 com as subestação a, b, c e d (Extraído da Google Earth)

O trabalho realizado no campo foi completado com descrições dos afloramentos rochosos existentes nas duas estações, analisado e anotado as características das alterações das rochas e dos maciços, com base na classificação que foi desenvolvida pela SIMR (1978).

4.2. A Alteração das Rochas

Na estação 1, o estado de alteração das rochas aflorantes é bastante variável, tendo-se verificado a alternância de zonas com graus de alteração que vão do W1 (rocha sã) ao W5, (rocha completamente alterada). De uma forma geral, o maciço apresenta-se alterado, com evidências de alteração mais fortes na zona norte, que corresponde a zona de maior fragilidade do maciço. São predominantes as zonas com grau de alteração W3, sendo também muito recorrentes secções onde o maciço se mostra parcialmente friável (W4). Existe apenas uma zona onde o grau de alteração se pode considerar W2, que corresponde a zona de transição para o extremo sul da estação. É predominante a zona com grau de alteração W5, o granito aflorante apresenta grau de alteração bastante avançado, considerado que, de uma forma geral, como sector da estação onde o granito e o maciço rochoso está completamente alterado, verificando-se a transformação da rocha em solo residual com a textura completamente destruída, há um grande aumento de volume (Figura 4.4).

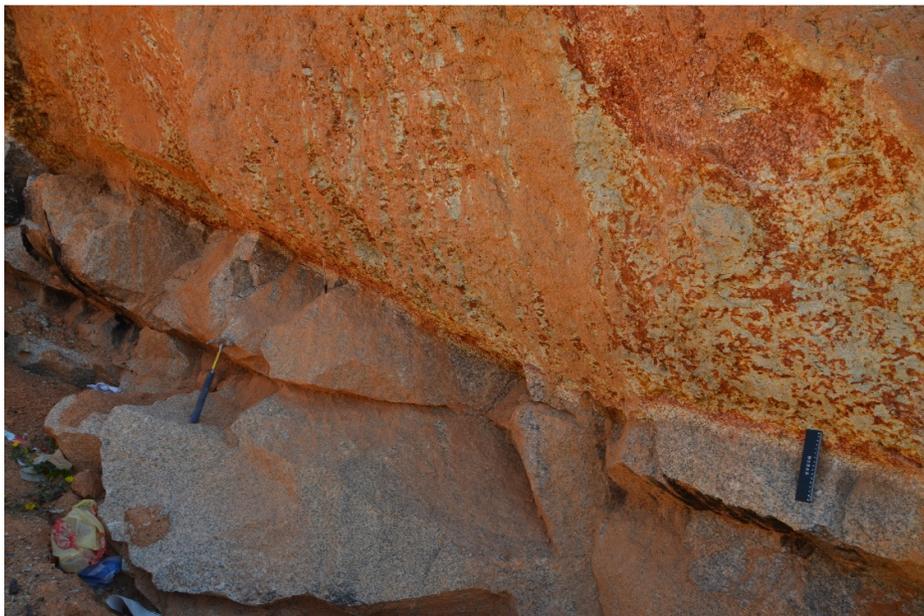


Figura 4.6. Contacto entre a rocha sã e a rocha muito alterada (Estação 1).

O extremo SE/SW da pedreira, a segunda e a terceira subestação, é o sector onde o grau de alteração é menor, onde se localiza o granito de tipo grão fino e as evidências de existência de diáclases de diferentes famílias (figura 4.5). Neste local as diaclases tem orientação, NE 262° vertical e 342° horizontal com pendor 30°. Acumuladas de maior humidade, e também porque aparenta corresponder a uma das últimas zonas da frente onde a exploração industrial do granito foi abandonada, estando portanto sujeita aos agentes erosivos há pouco tempo.



Figura 4.7. Granito de grão fino da estação 1 do sector SE/SW com diferentes diáclases

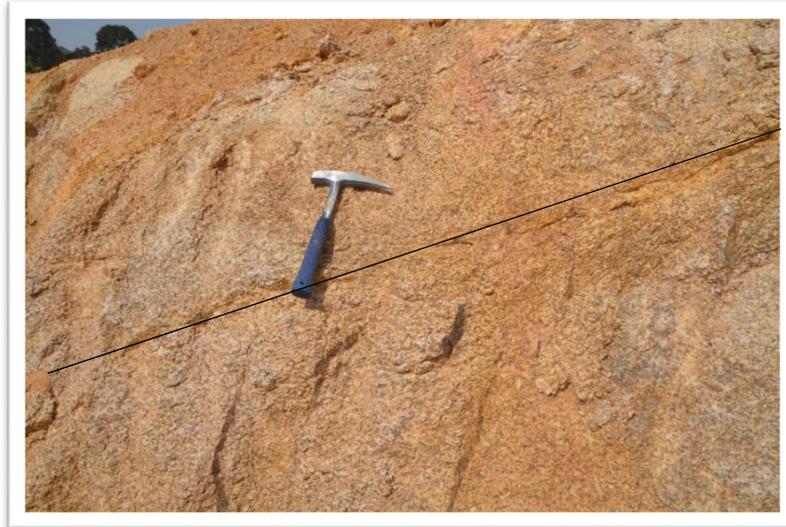


Figura 4.8. Granito porfiróide de grão médio bastante alterado com uma diáclase preenchida (Estação 2).

O afloramento da Estação 2, junto da estrada que direciona a Tundavala, as subestações diferenciam-se, completamente, em toda sua extensão: na primeira subestação, que maior atenção se deu, pela observância da existência de grande heterogeneidade do maciço rochoso e do tipo de rocha granítica que só neste sector aparece, sector norte, onde predomina o afloramento de rochas diabásica. Noutra extremo da estação, sector S/SW, observou-se a existência de granito com um grau de alteração que varia de W3 ao W5.



Figura 4.9. Disjunção esferoidal em dolerito (Estação 2).



Figura 4.10. Disjunção esferoidal em dolerito (Estação 2).



Figura 4.11. Disjunção esferoidal em dolerito (Estação 2).

Com efeito, neste sector aflora um granito de grão médio, de duas micas e textura porfiroide. Nas diferentes subestações da estação 2 observou-se a existência de diáclase de diferentes famílias, cuja orientação NE 302° horizontal e 352° vertical com pendur 40° .

4.3. Estudo da Fraturação

Segundo Conceição (2012), as descontinuidades, em particular as diáclases no caso dos granitos, condicionam fortemente as propriedades geotécnicas dos maciços rochosos, conferindo-lhes um comportamento, em termos de deformabilidade, resistência ao corte e permeabilidade substancialmente diferente da rocha que constitui esses maciços.

A metodologia utilizada no campo, para o registo da orientação, espaçamento, rugosidade, abertura e preenchimento das diáclases do granito, para medição de conjunto de parâmetros geológicos-geotécnicos nos dois locais estudados é baseada nas recomendações e classificações da International Society of Rock Mechanics (ISRM), publicadas em 1978 e 1981.

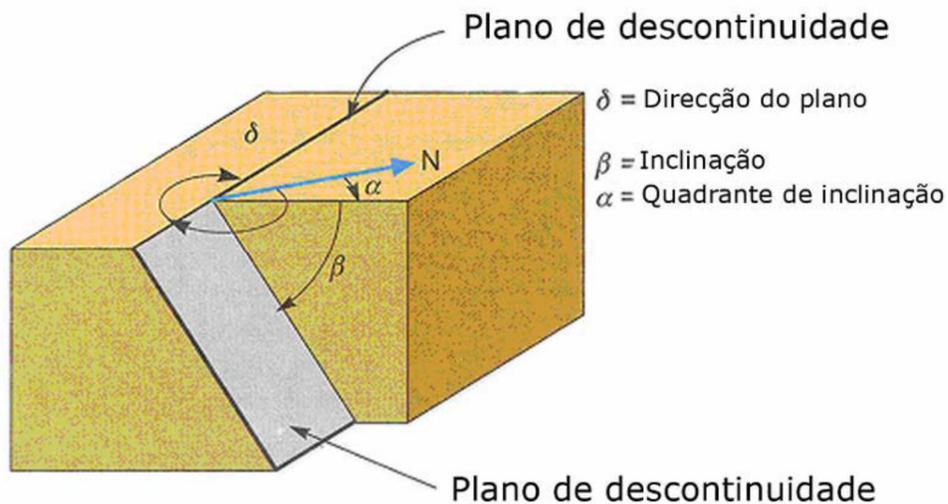


Figura 4.12. Orientação de uma descontinuidade (Pereira, C. Manuel, 2002).

4.3.1. Atitude ou orientação

A atitude ou orientação de uma descontinuidade é dada pela sua direção e pelo seu pendor (inclinação) (Figura 4.10). A direção é o ângulo entre a linha horizontal contida no plano e o norte geográfico. O pendor representa o declive máximo da superfície (ângulo β da figura

4.10). O pendor é medido com o clinómetro da bússola de geólogo num plano vertical perpendicular à direção da descontinuidade.

Segundo Conceição (op. cit.), para uma melhor caracterização do maciço rochoso, é conveniente efetuar o maior número de medições possível, pelo que após o trabalho, normalmente, se dispõe de uma quantidade significativa de dados que é necessário apresentar de forma apropriada para que seja possível a sua análise. Os diagramas mais utilizados na representação de dados de orientação são os diagramas de roseta e as projeção estereográfica.

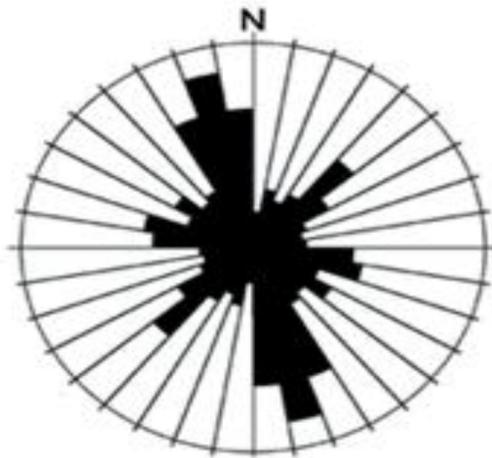


Figura 4.13. Exemplo de um diagrama de roseta. Extraído de Pereira, C. Manuel (2002).

O diagrama em roseta é na realidade um histograma com forma circular, pelo que a visualização das direções dominantes das descontinuidades é bastante imediata (Figura 4.11). Tem a desvantagem de proporcionar uma informação incompleta, já que não são representados os dados relativos à inclinação dos planos. As direções das diaclases estão representadas na circunferência do diagrama (Norte nos 0º, Sul nos 180º, no sentido dos ponteiros do relógio). A quantidade de dados correspondentes a um determinado intervalo de direções é dada pelo comprimento da respetiva pétala, desde o centro (0%) até a periferia (100%). (Conceição, op. cit.).

O diagrama de Schmidt-Lambert (Figura 4.12) faz a análise espacial das fraturas, por meio da utilização da direção e do pendor dos planos. A partir dela é possível realizar uma

estatística gráfica com os dados e definir a concentração máxima que representará o plano das fraturas médio para o maciço analisado.

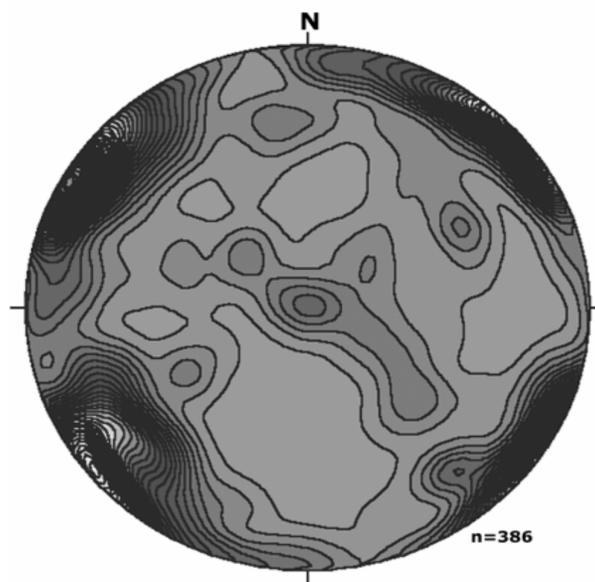


Figura 4.14. Diagrama de Schmidt-Lambert.

4.3.2. Espaçamento

O espaçamento corresponde à distância média, medida na perpendicular, entre duas descontinuidades pertencentes a mesma família (Quadro 4.2).

Este parâmetro pode alterar o comportamento global do maciço rochoso e determina o tamanho dos blocos de matriz rochosa que resultam da intersecção entre as diferentes famílias de descontinuidades. O espaçamento tem influência na resistência, na deformabilidade e na permeabilidade do maciço rochoso. Um espaçamento pequeno traduz-se numa perda de “coesão” do maciço rochoso, tendo em conta o valor medido mais frequente. O espaçamento pode ser caracterizado segundo o quadro 3a.2 (Lara Freire pag.30).

No afloramento, na estação 2 do local de estudo, é visível uma dispersão dos valores do espaçamento, uma vez que estes se encontram distribuídos, preferencialmente por três

das categorias estabelecidas, correspondentes a espaçamentos entre os 20-60 cm, 60-200 cm e 200-600 cm (Quadro 4.2), sendo que se pode admitir que, de uma forma genérica, o espaçamento toma valores acima dos 20 cm. Assim sendo, é possível afirmar que as descontinuidades têm um espaçamento que vai desde moderadamente afastadas até extremamente afastadas

Descrição	Espaçamento (mm)
Extremamente Próximas	<20
Muito Próximas	20 - 60
Próximas	60 - 200
Moderadamente Afastadas	200 - 600
Afastadas	600 - 2000
Muito afastadas	2000 - 6000
Extremamente Afastadas	>6000

Quadro 4.3. Descrição do espaçamento das descontinuidades.

4.3.3. Continuidade

A continuidade ou persistência de uma descontinuidade refere-se ao seu tamanho (Figura 4.10) e costuma ser estimada através da medição da extensão máxima que se observa no afloramento. Pode ser difícil de quantificar uma vez que pode ser maior do que o afloramento.

Dado que a superfície de descontinuidade é, em geral, uma superfície de baixa resistência, a sua dimensão em face da dimensão do problema em estudo é um fator extremamente importante. As descontinuidades mais extensas, como é fácil de compreender, são aquelas que mais condicionam os planos de rotura do maciço, podendo influenciar a resistência e a deformabilidade do mesmo. (Lara Freire pag.30).

No que diz respeito às descontinuidades, as diaclases têm uma continuidade superior a 3 m, sendo que a categoria correspondente ao intervalo entre 3-10 m é a mais frequente. Assim sendo a continuidade pode ser classificada como média (Quadro 4.3).

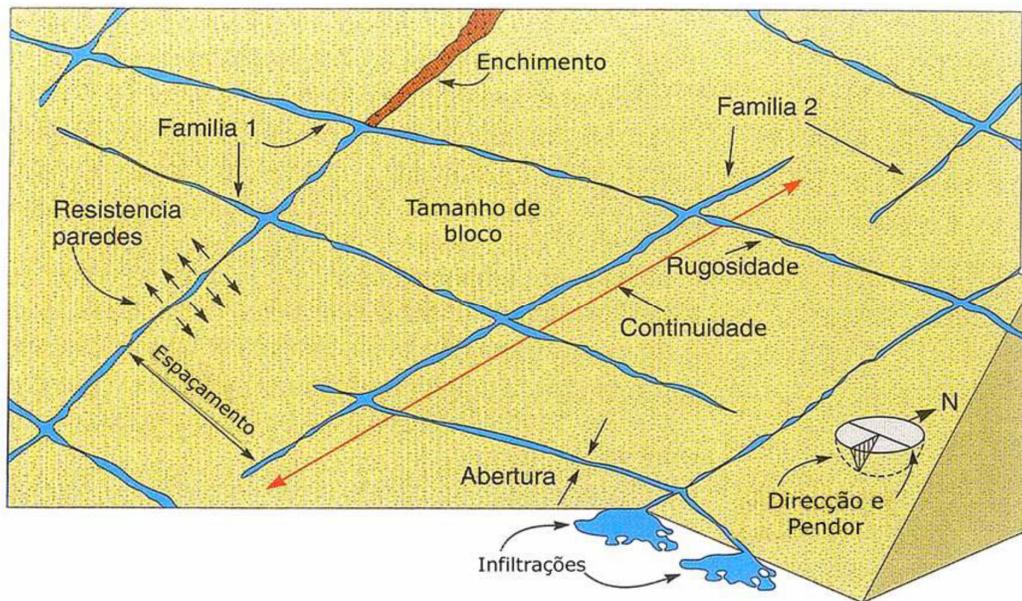


Figura 4.15. Representação esquemática das características das descontinuidades. Espaçamento, continuidade, rugosidade, abertura, enchimento, resistência das paredes e famílias das diáclases (Extraído de Pereira, C. Manuel, 2002).

A figura abaixo representa o afloramento da descontinuidade: espaçamento e continuidade de acordo com valor do traçado de comprimento é descrito no quadro 4.3.

Continuidade	Comprimento (m)
Muito Baixo	<1
Baixo	1 - 3
Média	3 - 10
Alta	10 - 20
Muito Alta	> 20

Quadro 4.4. Descrição da continuidade das descontinuidades.

4.4.4. Rugosidade

A superfície das paredes das discontinuidades e, em particular das diaclases, apresentam, em geral, irregularidades várias, como ondulações e asperidades.

A rugosidade (figuras 4.15 e 4.16) é um fator com especial incidência na resistência ao corte de uma discontinuidade, especialmente se esta não estiver preenchida. A rugosidade aumenta a resistência ao corte, que decresce com o aumento da abertura e, no geral, com a espessura do preenchimento. A importância deste parâmetro como fator favorável ao escorregamento diminui com o aumento da abertura e da espessura do enchimento.



Figura 4.16. Pormenor de algumas características das discontinuidades: espaçamento (amarelo) e continuidade (vermelho) (Estação 2).



Figura 4.17. Esquema representativo da rugosidade de uma diaclase.

4.4.5. Abertura e Preenchimento

A abertura corresponde à distância, medida na perpendicular, entre as paredes adjacentes de uma descontinuidade cujo espaço livre pode ser ocupado por ar ou água (Figura 4.17). O preenchimento diz respeito ao material que, tal como o nome indica, preenche o espaço correspondente à abertura. Este é constituído, normalmente, por materiais brandos argilosos ou material rochoso de natureza igual ou diferente da rocha envolvente.

Relativamente à abertura, esta pode variar muito, dependendo da zona do maciço onde se encontra, ou seja, é usual encontrarem-se diaclases com maior abertura junto da superfície topográfica do maciço e menor em profundidade, podendo mesmo chegar ao extremo de se encontrarem fechadas. Neste caso, o que se costuma quantificar é a abertura média.

As aberturas das diaclases podem ser resultado de vários processos geológicos, nomeadamente, movimentos gerados por tensões de tração, arrastamento de materiais de enchimento (argila, por exemplo), fenómenos de solução e processos de crioclastia. A abertura tem influência na resistência ao deslizamento já que a uma maior abertura corresponde uma diminuição de contactos entre as paredes da descontinuidade.

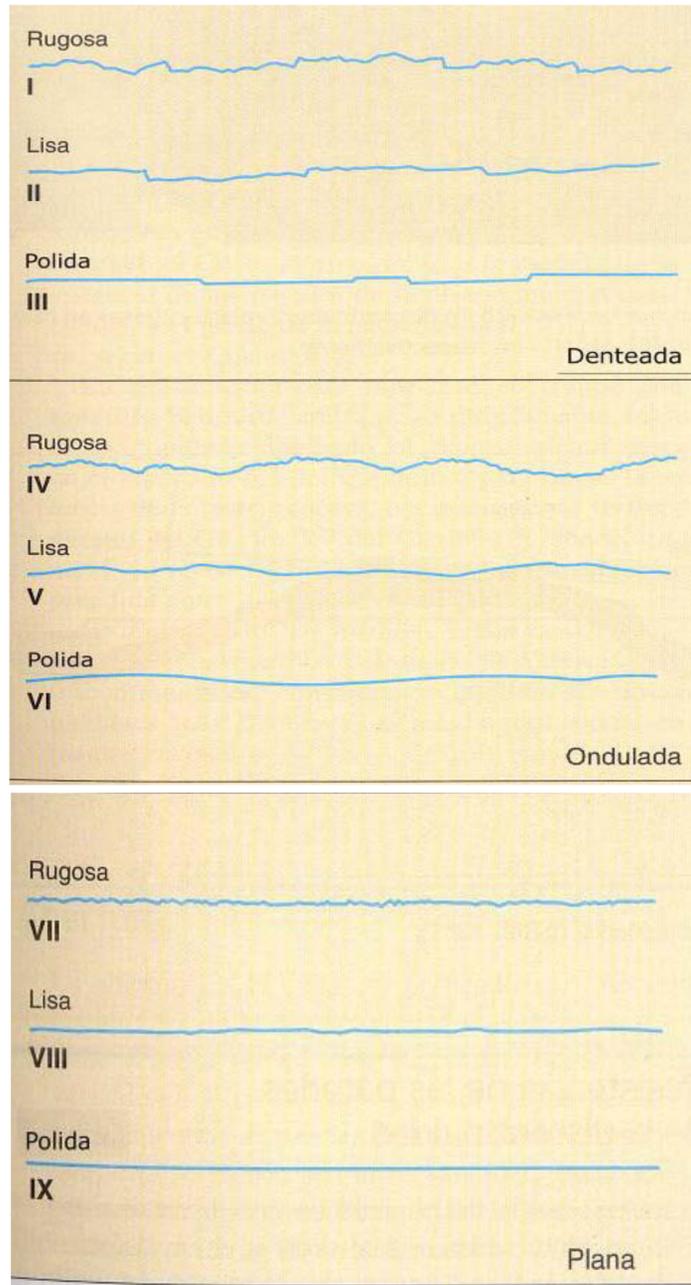


Figura 4.18. Classificação da rugosidade (Extraído de Pereira, C. Manuel, 2002).

O preenchimento encontrado nas diaclases do afloramento da estação 2 é semelhante ao existente no afloramento da estação 1, sendo mais abundante a existência de material argiloso (Figuras 4.18 e 4.19). O aumento de material argiloso vai contribuir para perda de coesão e também pode ser um indício de um maior grau de alteração. Na verdade, quando observado globalmente, este afloramento apresenta sinais significativos de alteração,

sendo recorrente a existência de locais onde todo o maciço rochoso se encontra transformado em solo. São também visíveis, não só nestes locais, como noutros.

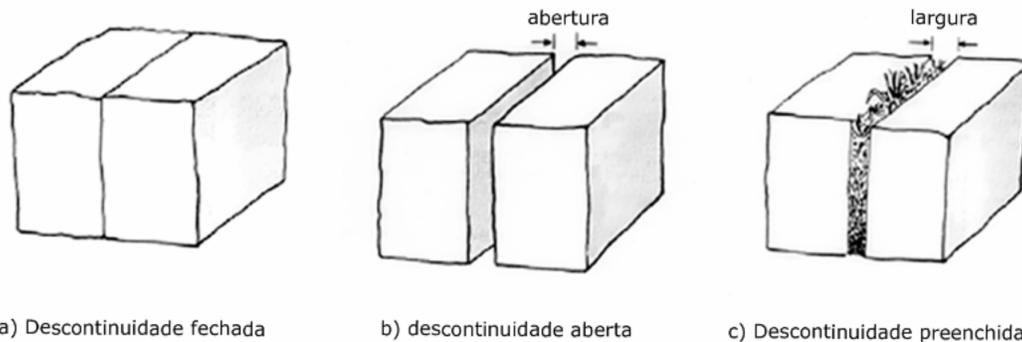


Figura 4.19. Representações esquemáticas da abertura e espessura (Pereira, 2002).

As aberturas das diaclases podem ser resultado de vários processos geológicos, nomeadamente, movimentos gerados por tensões de tração, arrastamento de materiais de enchimento (argila, por exemplo), fenómenos de solução e processos de crioclastia. A abertura tem influência na resistência ao deslizamento já que a uma maior abertura corresponde uma diminuição de contactos entre as paredes da descontinuidade.

O preenchimento encontrado nas diaclases do afloramento da estação 2 é semelhante ao existente no afloramento da estação 1, sendo mais abundante a existência de material argiloso. O aumento de material argiloso vai contribuir para perda de coesão e também pode ser um indício de um maior grau de alteração. Na verdade, quando observado globalmente, este afloramento apresenta sinais significativos de alteração, sendo recorrente a existência de locais onde todo o maciço rochoso se encontra transformado em solo. São também visíveis, não só nestes locais, como noutros.



Figura 4.20. Diaclases em granite preenchidas (Estação 2).



Figura 4.21. Diaclase em dolerito preenchida (Estação 2).

A medição da orientação (direção e pendor) das descontinuidades foi feita essencialmente na designada Estação 2 e nas rochas doleríticas, também designadas por diábases que evidenciam, de um modo muito acentuado, uma franca “disjunção” esferoidal.

As observações efetuadas permitiram determinar as coordenadas geológicas das principais falhas e que são:

As principais superfícies de compartimentação observadas foram:

- 1) N26°W, 74°E
- 2) N24°E, 80°W; N14°E, 60°W
- 3) N54°E, 30°W
- 4) N34°E, 80°E; N24°E, 80°E; N54°E, 80°E
- 5) N57°W, 80°N; N56°W, 20°N
- 6) N66°W, 40°N
- 7) N26°W, 20°W
- 8) N30°W, SV (subvertical).
- 9) N80°E, SV (subvertical)

5. Conclusões

O granito é um tipo comum de rocha ígnea ou rocha magmática (que ocupa maior parte do solo da região de Lubango) de grão fino, médio ou grosseiro, composta essencialmente pelos minerais quartzo, mica e feldspato, tendo como minerais acessórios mica (normalmente presente). A informação recolhida através do trabalho de campo nas duas áreas de estudo e estudo das bibliografias permite retirar as seguintes conclusões:

1. Os granitos que afloram as áreas de estudo são de granularidade fina, média e grossa, em grande destaque na estação 1 (pedreira da Mapunda).
2. Existe diferença no afloramento dos granitos nas duas áreas. A estação 2 é composta por dois tipos de granito; uma subestação com granito de grão médio mas, bastante alterado e outra subestação com o granito que se destaca as diabases, que, formando-se, próximo da superfície e num ambiente humedecido transforma-se em bola.
3. O padrão de fracturação do maciço rochoso nos afloramentos estudados pode ser descrito através da presença de três famílias de diaclases: uma sub-horizontal e duas sub-verticais.
4. Existe diferença no padrão de diaclases, já que os afloramentos graníticos apresentam-se de forma diferentes, principalmente na pedreira da Mapunda, que foi sujeita exploração como consequência dos blocos graníticos desmontados.
5. A meteorização é um processo bastante importante, pois a mesma dá lugar a erosão, com os elementos da dinâmica externa possibilita a deposição das partículas para formar o solo argiloso, que provém normalmente da alteração dos feldspatos, piroxénios e anfíbolos.
6. A formação do perfil do solo como resultado da meteorização da rocha mãe forma-se por horizonte, segundo a classificação de Moye, apresentando seis graus; VI – solo granítico, V – meteorização completa, IV – alta meteorização, III – meteorização moderada, II – fraca meteorização e I – rocha mãe.
7. Os granitos têm grande utilidade, não só para construção, mas também, serve como rocha ornamental, pavimentação, assentamento de estrutura de barragem e depois de alterada totalmente, transforma-se em solo argiloso, servindo para fabricação de tijolo de argila (adobe).

6. Recomendações

Face as potencialidades que o granito apresenta, é necessário estudos mais aprofundados, como resistência, dilatação, para determinar a sua durabilidade na construção.

Aconselhar as autoridades no sentido de sensibilizar as populações em acautelar a fabricação de adobes, porque pode provocar problemas ambientais, como o surgimento de ravinas.

7.Referências Bibliográficas

Abreu, S. P., (1990). Os Planos Municipais e a problemática do Ordenamento do Território fora dos perímetros urbanos. Ordenamento do Território: implicações para o planeamento urbano, Lisboa.

Alfonso, L. P. (1987). La organización Administrativa de la ordenación del território. Revista de Derecho Urbanistico, Outubro-Novembro-Dezembro.

Anon (1970). The logging of rock cores for engineering purposes. Engineering Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 3, pp. 1-24.

Anon (1972). The preparation of maps and plans in terms of engineering Geology. Engineering Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 5, pp. 293-382.

Anon (1977). The description of rock masses for engineering purposes. Engineering Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 10, pp. 355-388.

Anon (1979). Geotechnical Control Office Manual for Slopes. Hong Kong Government Printer, Hong Kong, 1st edition.

Anon (1981). Cartepillar Performance Handbook. Cartepillar Tractor Company. Illinois, USA.

Anon (1981b). Code of Practice for Site Investigations, British Standard BS5930:1981. British Standard Institute, London.

Anon (1981c). Rock and soil description and Classification for engineering Geological Mapping. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 2^a, 253-274.

Anon (1981d). Basic Geotechnical Description of Rock Masses. International Society of Rock Mechanics Commission on the Classification of Rock and Masses. International Society of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical Abstracts, 18, 85-110.

Anon (1988b). Geoguide 3: Guide to rock and soil description. Geotechnical Control Office, Hong Kong Government Printer, Hong Kong.

Anon (1990). Tropical residual soils. Engineering Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 23, pp. 1-101.

Anon (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Geological Society Engineering Group Working Party. Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, pp. 207-242.

Antunes, João (1995). Geografia 10^º ano - Planalto Editora, Lisboa.

Antunes, João (1999). Geografia 10^º - Ilustrações, Gabinete Gráfico - Plátano Editora.

Barets, A. et a. (1970). Geologie. Coefficient de Sécurité Mecanique des Terrain. Terrains de Fondation. Tome 1.

Bell, F. G. (1992). Engineering in Rock Masses. Butterworth Heinmann, Oxford.

Begonha, A. de Sá J. (1989). Alteração das rochas graníticas do norte e centro de Portugal. Tese de Metrado. Universidade Nova de Lisboa.

Bjerrum, L. (1967). Progressive failure of slopes of overconsolidated clays and clay shales. Proceedings of the Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 93, pp. 1-49.

Braga, M. (1988). Arenas e depósitos associados da bacia da drenagem do rio Cavado (Portugal). Contribuição para estudo da arenização. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.

Brooker, E. W. (1967). Strain energy behaviour of overconsolidated soil. Canadian Geotechnical Journal, 4, pp. 326-333.

Carrol, D. (1970). Rock Weathering. Plenum, New York.

CEMAT (2000). Conferência Europeia de Ministros responsáveis pelo Ordenamento do Território. Princípios Orientadores para o desenvolvimento territorial sustentável do Continente Europeu.

Conceição, S, F. Lara (2012). Estudo da Fracturação e Caraterização Tecnológica do Granito de Campia. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro.

Costa, B. J. (1973). Caraterização e constituição do solo. 4ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, pp. 13-96.

Curtis, C. D. (1976). Stability of minerals in surfasse weathering reactions: a general thermochemical approach. *Earth Surfaces Processes*, 1, pp. 63-70.

Cragg, D. J. & Ingman, J. (1995). Rock weathering description: current difficulties. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, pp. 277-286.

Dearman, W. R. (1974a). Weathering Classification in the characterisation of rock for engineering purposes in British practice. *Bulletin International Association of Engineering Geology*, 9, pp. 33-42.

Dearman, W. R. (1974b). The characterisation of rock for civil engineering practice in Britain. *Centenaire de la Societé Géologique de Belgique. Colloque Geologie de l'Ingenieur*, Liege, pp.1-75.

Dearman, W R. (1976)). Weathering Classification in the characterisation of rock. A revision". *Bulletin International Association of Engineering Geology*, nº 13, 1976.

Derman, W. R. (1995). Description and Classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, 267-276.

Derman, W. R., Turk, N., Irfan, T. Y. & Rowshani, H. (1987). Detection of rock material by sinic velocity zining. *Bulletin International Association of Engineering Geology*, pp. 35, 3-8.

Deere, D. U. & Patton, F. D. (1971). Slope stability in residual soils. Proceedings of 4th PanAmerican Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering, San Juan, Puerto Rico, 1, 876-170.

Delgado Rodrigues, J. (1978). About the quantitative determination of rock weatherability: a Case history. Proceedings of Third International Congress International Association of Engineering Geology, Madrid, II, 1, pp. 65-71.

Diniz, C. (2006). Unidades Mesológicas de Angola. 2ª Edição, IPAD, Lisboa.

Direcção Geral do Ordenamento do Território (1998). Carta Europeia do Ordenamento do Território, Lisboa.

Feio, Mariano (1946). O Relevo de Angola, Segundo Jessen. Boletim Portugal, p.267-294.

Feio, Mariano (1981). O Relevo do Sudoeste de Angola. Estudo da Geomorfologia. Memórias da Junta de Investigações Científicas do Ultramar, nº 67.

Ferreira, J. M. (1990). O Ordenamento do Território e as Áreas protegidas. DGOT, Lisboa.

Fitz Patrick, E. A. (1986). Soils, their formation. Classification and distribution. 2ª Edição, Hong Kong.

Fookes, P. G., Derman, W. R. & Franklin, J. A. (1971). Some engineering aspects of rock weathering with field examples from Dartmoor and elsewhere. Quarterly Journal of Engineering Geology, 4, pp. 139-185.

Fooks, P. G., Gourley, C. S. & Ohikere, C. (1988). Rock weathering in engineering time. Quarterly Journal of Engineering Geology, 21, pp. 33-57.

Fooks, P. G. & Hawkins, A. B. (1988). Limestone weathering: its engineering significance and a proposed Classification scheme. Quarterly Journal of Engineering Geology, 21, pp. 7-32.

Fooks, P. G. & Horswill, P. (1970). Discussion on engineering grade zones. Proceedings of Conference on In Situ Investigations in Soils and Rocks. Institution of Civil Engineers, London, pp. 53-57.

FTC (Faculdade de Tecnologia e Ciências (2008): Fundamentos de Geologia, 1ª edição.
Gamon, T. – “Discussion on a “Completely weathered granite-soil por rock?” by M. D. H.”
Quarterly Journal of Eng. Geol., Vol. 19.

Gaspar, J. (1987). A Ocupação e a Organização do Território. Análise Retrospectiva e Tendências Evolutivas. Fundação Calouste Gulbenkian.

Godard, A. (1965). Recherches de Geomorphologie en Ecosse de Nord-Oust. Strasburg, p. 701.

Godard, A. (1977). Pays et paysages du granite. Presses Universitaires de France.

Gomes A. & Chaminé H. I. (2010). Guia de Campo, Zona ribeirinha do Porto e Gaia. Dinâmica Geomorfológica. Congresso Nacional de Geomorfologia, Porto.

Gregotti, V. (1975). Território da arquitetura. São Paulo.

Hencher, S. R. & Martin, R. P. (1982a). The description and Classification of weathered rocks in Hong Kong for engineering purposes. Proceedings of 7th Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, 1, pp. 125-142.

Hencher, S. R. & McNicholl, D. P. (1995). Engineering effects of weathering on rock materials. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, pp. 253-266.

KI-ZERBO, josefe (1999). História de África. Publicações Europa América.

Júlio, Fragata (1997). Metodologia da investigação científica. Porto.

Júlio, Rui (coord.) (2009). Guia Metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal, Autoridade Nacional e Protecção Civil/Direcção Geral de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano/Instituto Geográfico Português.

Levêque, P. Ch. (1984). *Geologie Appliquée au Génie Civil, au Génie Nucléaire et à l'Environnement*. Technique et Documentation, Lavoisier.

Lee, S. G. & Freitas, M. H. (1989). A revision of the description and Classification of weathered granite and its application to granite in Korea. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 22, pp. 31-48.

Little, A. L. (1969). The engineering Classification of residual tropical soils. *Proceedings of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, pp. 1-10.

Lobo, M. da C. (1989). *Noções Fundamentais. Conceitos Técnicos. Habitação e seus Espaços de Vivência*. Direito do Urbanismo, INA.

Lopes, R. G. (1989). *Planeamento Municipal e Intervenção Autárquica no Desenvolvimento Local*. Lisboa.

Lumb, P. (1962). The properties of decomposed granite. *Géotechnique*, 12, pp. 226-243.

Martin, R. P. & Hencher, S. R. (1986). Principles for description and Classification of weathered rocks for engineering purposes. In: Hawkins, A. B. (ed) *Site Investigations Practice: Assessing BS5930*. Geological Society, London, *Engineering Geology Special Publication*, 2, pp. 299-308.

Moye, D. G. (1955). Engineering geology for the Snowy Mountain scheme. *Journal of Institution of Engineers, Australia*, 27, pp. 287-298.

Murthy, T. B. Siva. *Engineering Geology*, p.15.

NZ Geotechnical Society Inc. (2005). *Field Description of Soil and Rock*. December.

Ollier, C. D. (1984). *Weathering*. Longman.

Partidário, R. (1999). *Introdução ao Ordenamento do Território*. Universidade Aberta Lisboa.

Portas, N. (2003). Políticas Urbanas, Tendências, Estratégias e Oportunidades. Fundação Calouste Gulbenkian.

Portas, N. (1994). Geografia e Arquitetura no Território, Programa de Ação, parte II, Lisboa.

Price, D. G. (1995). Weathering and weathering processes. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, pp. 243-252.

Ramos, F. & Neiva, C. (2010). Algumas características geológicas do território do Macau. Recursos Geológicos.

Rocha-Filho, P., Antuenes, F. S. & Falcao, M. F. G. (1985). Quantitative influence of the weathering degree upon the mechanical properties of a young gneiss residual soil. First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soil, Brasília, 1, pp. 281-294.

Romana, Y. V. & Gogte, B. S. (1982). Quantitative studies of weathering in saprolitized charnockites associated with a landslip zone at the Porthimund Dam, India. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 19, pp. 246-249.

Roque, M. et al (2008). Geologia 12ª classe, Plural editora, Luanda

Rui, A. (2001). Ordenamento do Território, [s.i].

Ruxton, B. P. (1980). Slope problems in Hong Kong. A geological appraisal. Hong Kong Engineer, 8, nº. 6, pp. 31-39.

Ruxton, B. P. & Berry, L. (1957). Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong. Bulletin of the Geological Society of America, 68, pp. 1263-1292.

Sousa, G. de V. (1998). Metodologia da Investigação. Livraria Civilização Editora.

Soares, L. (1990). Arquiteto, Planos Diretores Municipais. Plátano Editora.

The Geological Society (1995) – The description and Classification of weathered rocks for engineering purposes

Outras Fontes

Fascículo de Filosofia do 3º ano (2001) ISCED – Huila.

Fascículo de Psicologia de Desenvolvimento (1995) ISCED – Huila.

Notas e Recensões – Os mantos de alteração e o modelado das regiões graníticas, ideias recentes e orientações de pesquisa.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/planejamento/urbano> , 2008.

<http://www.co2solucoes.com.br/glossario>.

[http://pt.wikipedia.org/wiki/ordenamento do terrt%c3%b3rio](http://pt.wikipedia.org/wiki/ordenamento_do_territorio).

<http://www.geologia.Ufpr.br/graduação2/estrutural/aulas5Fraturas.pdf>. 19/01/2016

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA51MAJ/Livro>. 22/01/2016

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Granito>

www.dgotdu.pt/cemat/cemat/site%20cemat/PODTSCE.pdf.